

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

โปรแกรมควบคุมการทำงานของกลไกที่ออกแบบ

;***** Program for CONTROL STEPPING MOTOR *****

;Date 25/06/2000

; ***** DEFINE PORT *****

; ----- 8255 PORT -----

PORT_A EQU 0F800H

PORT_B EQU 0F801H

PORT_C EQU 0F802H

CONT_P EQU 0F803H

; ----- INTERNAL RAM REGISTER -----

ORG 20H

MODE: DS 01D ;MODE OF MOTOR DIRECTION

;

MOTOR_STA: DS 01D ;MOTOR_STA.0 = '1' :ENABLE FOR DRIVE MOTOR

;MOTOR_STA.1 = '1' :DRIVE MOTOR TO INC. SPEED

;MOTOR_STA.1 = '0' :DRIVE MOTOR TO DEC. SPEED

WHEEL: DS 01D ;WHEEL.1 = '1' :FOUND POINT SENSOR

;WHEEL.2 = '1' :WAIT UNTIL SENSOR POINT DISAPPEAR.

;WHEEL.0 = '1' :WHEN FOUND 1st POINT THEN START COUNTER

SP_LV: DS 01D

PHASE: DS 01D

SWITCH_: DS 01D

;

ORG 30H

COUNT_R1: DS 01H

COUNT_R2: DS 01H

OP_0: DS 01H

```

OP_1:  DS  01H
OP_2:  DS  01H
OP_3:  DS  01H
TMP0:  DS  01H
TMP1:  DS  01H
TMP2:  DS  01H
TMP3:  DS  01H
FAC_0:  DS  01H
FAC_1:  DS  01H
BUF_0:  DS  01H
BUF_1:  DS  01H
R_DELAY: DS  01H
ROUND_C: DS  01D
,*****
; ***** CONSTANT *****
LV0  EQU  108D
LV1  EQU  116D
LV2  EQU  124D
LV3  EQU  132D
LV4  EQU  140D
LV5  EQU  150D
LV6  EQU  160D
LV7  EQU  170D
LV8  EQU  184D
LV9  EQU  200D
LV10 EQU  218D
LV11 EQU  240D
LV12 EQU  266D
LV13 EQU  300D
LV14 EQU  342D

```

```

LV15 EQU 400D
LV16 EQU 480D
LV17 EQU 600D
LV18 EQU 800D
LV19 EQU 1200D
LV20 EQU 1500D
LV21 EQU 2000D
LV22 EQU 3000D
LV23 EQU 6000D
;
ORG 0000H
LJMP ST_MAIN
;
ORG 000BH
LJMP T0_SV
;
ORG 0100H
;*****
;***** START PROGRAM *****
;*****
;
ST_MAIN: LCALL DELAY1
        MOV SP,#60H
        MOV IE,#00H
        SETB ET0
        SETB T1
        MOV P1,#0AAH
        MOV P2,#0AAH
;
;*** CLR INTERNAL RAM ***

```

```

        MOV    R0,#20H
LP_CLR_RM: MOV    A,#00H
        MOV    @R0,A
        INC    R0
        MOV    A,R0
        CJNE   A,#80H,LP_CLR_RM
;
CON_8255: ;***** INITIAL PORT 8255 *****
        ; PORTA = OUT , PORTB = OUT
        ; PORTC = IN
        MOV    DPTR,#CONT_P
        MOV    A,#89H
        MOVX   @DPTR,A
        ;
        MOV    DPTR,#PORT_A
        MOV    A,#0FFH
        MOVX   @DPTR,A
        ;
        MOV    DPTR,#PORT_B
        MOV    A,#0AAH
        MOVX   @DPTR,A
        ;
        ; CHECK DIRECTION
        MOV    DPTR,#PORT_C
        MOVX   A,@DPTR
        ;
        ANL    A,#00000010B
        CJNE   A,#00000010B,GMAIN_PG1
        MOV    MODE,#02D
        LJMP   MAIN_PG1

```

```
GMAIN_PG1: MOV  MODE,#01D
```

```
;
```

```
;----- MAIN PROGRAM 1 -----
```

```
*****
```

```
;----- MAIN PROGRAM 1 -----
```

```
; **** TURN SCREW CLOCKWISE FOR INCREASE WHEEL SPEED *****
```

```
; **** TURN SCREW COUNTERCLOCKWISE FOR DECREASE WHEEL SPEED *****
```

```
*****
```

```
MAIN_PG1:
```

```
MOV  DPTR,#PORT_C
```

```
MOVX A,@DPTR
```

```
;
```

```
ANL  A,#00000100B
```

```
CJNE A,#00000000B,MAIN_PG1
```

```
DRV_MTR1_INI:
```

```
SETB MOTOR_STA.1
```

```
MOV  R_DELAY,#15D
```

```
LCALL DRIVE_MT
```

```
JNB  SWITCH_0,DRV_MTR1_INI
```

```
CLR  SWTICH_0
```

```
CLR  MOTOR_STA.1
```

```
MOV  ROUND_C,#50D
```

```
TWO_RINI: MOV  R_DELAY,#15D
```

```
LCALL DRIVE_MT
```

```
LCALL DRIVE_MT
```

```
LCALL OFF_MOTOR
```

```
DJNZ ROUND_C,TWO_RINI
```

```
;
```

```

        LCALL ST_TIMER0
        CLR  SWITCH_0
        SJMP W_CRPM2
    ;
MAIN_LP1:
        JB   SWITCH_0,REVER_T2
        LCALL CHECK_RPM

MAIN_1:  JNB  MOTOR_STA.0,MAIN_LP1
    ;
        MOV  ROUND_C,#06D
M_LP1:  LCALL DRIVE_MT
        LCALL DRIVE_MT
        DJNZ ROUND_C,M_LP1
    ;
        CLR  WHEEL.3
        LCALL ST_TIMER0
        SJMP MAIN_LP1
    ;
;*****
;**** CHECK ROUND PER MINUTE OF WHEEL ****
;*****
CHECK_RPM: JB  WHEEL.2,CON_RPM1
            RET
CON_RPM1:  CLR  WHEEL.2
            SETB WHEEL.3
            MOV  OP_0,COUNT_R1
            MOV  OP_1,COUNT_R2
            LCALL LEVEL_RANGE
            MOV  COUNT_R1,#00H

```



```

MOV COUNT_R2,#00H

RET

;*****
;**** CHECK RPM > 100 AFTER TOUCH SWITCH ****
;*****

REVER_T2: CLR EA

CLR SWITCH_1
CLR SWITCH_0

MOV ROUND_C,#50D
SETB MOTOR_STA.0
CLR MOTOR_STA.1

TWO_RIN2: MOV R_DELAY,#15D

LCALL DRIVE_MT
LCALL DRIVE_MT
DJNZ ROUND_C,TWO_RIN2
LCALL OFF_MOTOR
CLR MOTOR_STA.0

;*****
;***** CHECK UNTIL RPM > 100 *****
;*****

W_CHKRP: LCALL ST2_TIMER0

W_CRPM2: LCALL CHECK_RPM

;

JB WHEEL.3,W_CHKRP1
SJMP W_CRPM2

;

W_CHKRP1: CLR WHEEL.3

JNB SWITCH_1,W_CHKRP
CLR SWITCH_1

LCALL ST2_TIMER0

```

```

        SJMP MAIN_LP1
    ;
;*****
;***** CHECK LEVEL RANGE *****
;*****
;INPUT:   OP_0,OP_1 : PULSE WIDTH
;OUTPUT:  SP_LV
;        MOTOR_STA.0,.1
;        R_DELAY
LEVEL_RANGE: PUSH OP_0
            PUSH OP_1
            MOV DPTR,#LV0
            MOV TMP0,DPL
            MOV TMP1,DPH
            LCALL SUB_16
            ;
            JNC CHK_LV1
            MOV SP_LV,#00D
            CLR MOTOR_STA.1
            SETB SWITCH_1 ;ENABLE RETURN TO MAIN LOOP
            LJMP RET_LVRG
CHK_LV1: POP OP_1
        POP OP_0
        ;
        PUSH OP_0
        PUSH OP_1
        MOV DPTR,#LV1
        MOV TMP0,DPL
        MOV TMP1,DPH
        LCALL SUB_16

```

```

;
JNC  CHK_LV2
MOV  SP_LV,#01D
CLR  MOTOR_STA.1
SETB SWITCH_.1 ;ENABLE RETURN TO MAIN LOOP
LJMP RET_LVRG
CHK_LV2: POP  OP_1
        POP  OP_0
;
PUSH  OP_0
PUSH  OP_1
MOV  DPTR,#LV2
MOV  TMP0,DPL
MOV  TMP1,DPH
LCALL SUB_16
;
JNC  CHK_LV3
MOV  SP_LV,#02D
CLR  MOTOR_STA.1
SETB SWITCH_.1 ;ENABLE RETURN TO MAIN LOOP
LJMP RET_LVRG
CHK_LV3: POP  OP_1
        POP  OP_0
;
PUSH  OP_0
PUSH  OP_1
MOV  DPTR,#LV3
MOV  TMP0,DPL
MOV  TMP1,DPH
LCALL SUB_16

```

```

;
JNC  CHK_LV4
MOV  SP_LV,#03D
CLR  MOTOR_STA.1
SETB SWITCH_1 ;ENABLE RETURN TO MAIN LOOP
LJMP RET_LVRG
CHK_LV4: POP  OP_1
        POP  OP_0
;
PUSH  OP_0
PUSH  OP_1
MOV  DPTR,#LV4
MOV  TMP0,DPL
MOV  TMP1,DPH
LCALL SUB_16
;
JNC  CHK_LV5
MOV  SP_LV,#04D
CLR  MOTOR_STA.1
SETB SWITCH_1 ;ENABLE RETURN TO MAIN LOOP
LJMP RET_LVRG
CHK_LV5: POP  OP_1
        POP  OP_0
;
PUSH  OP_0
PUSH  OP_1
MOV  DPTR,#LV5
MOV  TMP0,DPL
MOV  TMP1,DPH
LCALL SUB_16

```

```

;
JNC  CHK_LV6
MOV  SP_LV,#05D
CLR  MOTOR_STA.1
SETB SWITCH_1 ;ENABLE RETURN TO MAIN LOOP
LJMP RET_LVRG
CHK_LV6: POP  OP_1
        POP  OP_0
;
PUSH  OP_0
PUSH  OP_1
MOV  DPTR,#LV6
MOV  TMP0,DPL
MOV  TMP1,DPH
LCALL SUB_16
;
JNC  CHK_LV7
MOV  SP_LV,#06D
CLR  MOTOR_STA.1
SETB SWITCH_1 ;ENABLE RETURN TO MAIN LOOP
LJMP RET_LVRG
CHK_LV7: POP  OP_1
        POP  OP_0
;
PUSH  OP_0
PUSH  OP_1
MOV  DPTR,#LV7
MOV  TMP0,DPL
MOV  TMP1,DPH
LCALL SUB_16

```

```

;
JNC  CHK_LV8
MOV  SP_LV,#07D
CLR  MOTOR_STA.1
SETB SWITCH_.1 ;ENABLE RETURN TO MAIN LOOP
LJMP RET_LVRG
CHK_LV8: POP  OP_1
      POP  OP_0
;
      PUSH OP_0
      PUSH OP_1
      MOV  DPTR,#LV8
      MOV  TMP0,DPL
      MOV  TMP1,DPH
      LCALL SUB_16
;
JNC  CHK_LV9
MOV  SP_LV,#08D
CLR  MOTOR_STA.1
SETB SWITCH_.1 ;ENABLE RETURN TO MAIN LOOP
LJMP RET_LVRG
CHK_LV9: POP  OP_1
      POP  OP_0
;
      PUSH OP_0
      PUSH OP_1
      MOV  DPTR,#LV9
      MOV  TMP0,DPL
      MOV  TMP1,DPH
      LCALL SUB_16

```

```

;
JNC  CHK_LV10
MOV  SP_LV,#09D
CLR  MOTOR_STA.1
SETB SWITCH_1 ;ENABLE RETURN TO MAIN LOOP
LJMP RET_LVRG
CHK_LV10: POP  OP_1
        POP  OP_0
;
PUSH  OP_0
PUSH  OP_1
MOV  DPTR,#LV10
MOV  TMP0,DPL
MOV  TMP1,DPH
LCALL SUB_16
;
JNC  CHK_LV11
MOV  SP_LV,#10D
CLR  MOTOR_STA.1
SETB SWITCH_1 ;ENABLE RETURN TO MAIN LOOP
LJMP RET_LVRG
CHK_LV11: POP  OP_1
        POP  OP_0
;
PUSH  OP_0
PUSH  OP_1
MOV  DPTR,#LV11
MOV  TMP0,DPL
MOV  TMP1,DPH
LCALL SUB_16

```

```

;
JNC  CHK_LV12
MOV  SP_LV,#11D
CLR  MOTOR_STA.1
SETB SWITCH_1 ;ENABLE RETURN TO MAIN LOOP
LJMP RET_LVRG
CHK_LV12: POP  OP_1
        POP  OP_0
;
PUSH  OP_0
PUSH  OP_1
MOV  DPTR,#LV12
MOV  TMP0,DPL
MOV  TMP1,DPH
LCALL SUB_16
;
JNC  CHK_LV13
MOV  SP_LV,#12D
CLR  MOTOR_STA.1
SETB SWITCH_1 ;ENABLE RETURN TO MAIN LOOP
LJMP RET_LVRG
CHK_LV13: POP  OP_1
        POP  OP_0
;
PUSH  OP_0
PUSH  OP_1
MOV  DPTR,#LV13
MOV  TMP0,DPL
MOV  TMP1,DPH
LCALL SUB_16

```



```

;
JNC  CHK_LV14
MOV  SP_LV,#13D
CLR  MOTOR_STA.1
SETB SWITCH_.1 ;ENABLE RETURN TO MAIN LOOP
LJMP RET_LVRG
CHK_LV14: POP  OP_1
        POP  OP_0
;
PUSH  OP_0
PUSH  OP_1
MOV  DPTR,#LV14
MOV  TMP0,DPL
MOV  TMP1,DPH
LCALL SUB_16
;
JNC  CHK_LV15
MOV  SP_LV,#14D
CLR  MOTOR_STA.1
SETB SWITCH_.1 ;ENABLE RETURN TO MAIN LOOP
LJMP RET_LVRG
CHK_LV15: POP  OP_1
        POP  OP_0
;
PUSH  OP_0
PUSH  OP_1
MOV  DPTR,#LV15
MOV  TMP0,DPL
MOV  TMP1,DPH
LCALL SUB_16

```

```

;
JNC  CHK_LV16
MOV  SP_LV,#15D
CLR  MOTOR_STA.1
SETB SWITCH_1 ;ENABLE RETURN TO MAIN LOOP
LJMP RET_LVRG
CHK_LV16: POP  OP_1
        POP  OP_0
;
PUSH  OP_0
PUSH  OP_1
MOV  DPTR,#LV16
MOV  TMP0,DPL
MOV  TMP1,DPH
LCALL SUB_16
;
JNC  CHK_LV17
MOV  SP_LV,#16D
CLR  MOTOR_STA.1
SETB SWITCH_1 ;ENABLE RETURN TO MAIN LOOP
LJMP RET_LVRG
CHK_LV17: POP  OP_1
        POP  OP_0
;
PUSH  OP_0
PUSH  OP_1
MOV  DPTR,#LV17
MOV  TMP0,DPL
MOV  TMP1,DPH
LCALL SUB_16

```

```

;
JNC  CHK_LV18
MOV  SP_LV,#17D
CLR  MOTOR_STA.1
SETB SWITCH_1 ;ENABLE RETURN TO MAIN LOOP
LJMP RET_LVRG
CHK_LV18: POP  OP_1
        POP  OP_0
;
PUSH  OP_0
PUSH  OP_1
MOV  DPTR,#LV18
MOV  TMP0,DPL
MOV  TMP1,DPH
LCALL SUB_16
;
JNC  CHK_LV19
MOV  SP_LV,#18D
CLR  MOTOR_STA.1
SETB SWITCH_1 ;ENABLE RETURN TO MAIN LOOP
LJMP RET_LVRG
CHK_LV19: POP  OP_1
        POP  OP_0
;
PUSH  OP_0
PUSH  OP_1
MOV  DPTR,#LV19
MOV  TMP0,DPL
MOV  TMP1,DPH
LCALL SUB_16

```

```

;
JNC  CHK_LV20
MOV  SP_LV,#19D
SETB SWITCH_1 ;ENABLE RETURN TO MAIN LOOP
LJMP RET_LVRG2
CHK_LV20: POP  OP_1
        POP  OP_0
;
PUSH  OP_0
PUSH  OP_1
MOV   DPTR,#LV20
MOV   TMP0,DPL
MOV   TMP1,DPH
LCALL SUB_16
;
JNC  CHK_LV21
MOV  SP_LV,#08D
CLR  MOTOR_STA.1
SETB SWITCH_1 ;ENABLE RETURN TO MAIN LOOP
LJMP RET_LVRG
CHK_LV21: POP  OP_1
        POP  OP_0
;
PUSH  OP_0
PUSH  OP_1
MOV   DPTR,#LV21
MOV   TMP0,DPL
MOV   TMP1,DPH
LCALL SUB_16
;

```

```

JNC  CHK_LV22
MOV  SP_LV,#06D
CLR  MOTOR_STA.1
SETB SWITCH_1 ;ENABLE RETURN TO MAIN LOOP
LJMP RET_LVRG
CHK_LV22: POP  OP_1
        POP  OP_0
        ;
        PUSH OP_0
        PUSH OP_1
        MOV  DPTR,#LV22
        MOV  TMP0,DPL
        MOV  TMP1,DPH
        LCALL SUB_16
        ;
        JNC  CHK_LV23
        MOV  SP_LV,#04D
        CLR  MOTOR_STA.1
        SETB SWITCH_1 ;ENABLE RETURN TO MAIN LOOP
        LJMP RET_LVRG
CHK_LV23: POP  OP_1
        POP  OP_0
        ;
        PUSH OP_0
        PUSH OP_1
        MOV  DPTR,#LV23
        MOV  TMP0,DPL
        MOV  TMP1,DPH
        LCALL SUB_16
        ;

```

```

JNC  CHK_LV24
MOV  SP_LV,#02D
CLR  MOTOR_STA.1
SETB SWITCH_1 ;ENABLE RETURN TO MAIN LOOP
LJMP RET_LVRG
CHK_LV24: ;
MOV  SP_LV,#00H
SETB MOTOR_STA.1
;
RET_LVRG: POP  OP_1
POP  OP_0
;
MOV  A,SP_LV
MOV  DPTR,#TABLE
MOVC A,@A+DPTR
MOV  R_DELAY,A
SETB MOTOR_STA.0
RET
RET_LVRG2: POP  OP_1
POP  OP_0
CLR  MOTOR_STA.0
CLR  WHEEL.3
LCALL OFF_MOTOR
RET

;***** ROUTINE DRIVE MOTOR *****
;INPUT  MOTOR_STA.1
;      MODE

;OUTPUT  TMP0 = 0FFH : TOUCH SWITCH

```

```

DRIVE_MT:  JB  MODE.1,MODE2_C
;-----
MODE1_C:   JB  MOTOR_STA.1,MOTOR_DRV1
;
          LJMP MOTOR_DRV2
;-----
MODE2_C:   JNB MOTOR_STA.1,MOTOR_DRV1
;
          LJMP MOTOR_DRV2
;*****
RET_MDV11: MOV  TMP0,#00H
          RET
OUT_MDRV11: MOV  TMP0,#0FFH
          RET

;***** CLOCK WISE *****
MOTOR_DRV1:
          MOV  DPTR,#PORT_A
          JB  PHASE.0,PHM1_2
          JB  PHASE.1,PHM1_3
          JB  PHASE.2,PHM1_4
          JB  PHASE.3,PHM1_5
          JB  PHASE.4,PHM1_6
          JB  PHASE.5,PHM1_7
          JB  PHASE.6,GPHM1_8
          JB  PHASE.7,PHM1_1
          SJMP PHM1_1
GPHM1_8:  LJMP PHM1_8

```

```

PHM1_1:  MOV  A,#11111110B
          MOVX @DPTR,A
          MOV  PHASE,#01H
          LCALL M_DELAY1
          LCALL CHECK_SW
          JB   ACC.0,OUT_MDRV11
          JB   WHEEL.2,RET_MDV11
          ;

PHM1_2:  MOV  A,#11111100B
          MOVX @DPTR,A
          MOV  PHASE,#02H
          LCALL M_DELAY1
          LCALL CHECK_SW
          JB   ACC.0,OUT_MDRV1
          JB   WHEEL.2,RET_MDV1
          ;

PHM1_3:  MOV  A,#11111101B
          MOVX @DPTR,A
          MOV  PHASE,#04H
          LCALL M_DELAY1
          LCALL CHECK_SW
          JB   ACC.0,OUT_MDRV1
          JB   WHEEL.2,RET_MDV1
          ;

PHM1_4:  MOV  A,#11111001B
          MOVX @DPTR,A
          MOV  PHASE,#08H
          LCALL M_DELAY1
          LCALL CHECK_SW

```



```

        JB  ACC.0,OUT_MDRV1
        JB  WHEEL.2,RET_MDV1
        ;
PHM1_5:  MOV  A,#11111011B
        MOVX @DPTR,A
        MOV  PHASE,#10H
        LCALL M_DELAY1
        LCALL CHECK_SW
        JB  ACC.0,OUT_MDRV1
        JB  WHEEL.2,RET_MDV1
        ;
PHM1_6:  MOV  A,#11110011B
        MOVX @DPTR,A
        MOV  PHASE,#20H
        LCALL M_DELAY1
        LCALL CHECK_SW
        JB  ACC.0,OUT_MDRV1
        JB  WHEEL.2,RET_MDV1
        ;
PHM1_7:  MOV  A,#11110111B
        MOVX @DPTR,A
        MOV  PHASE,#40H
        LCALL M_DELAY1
        LCALL CHECK_SW
        JB  ACC.0,OUT_MDRV1
        JB  WHEEL.2,RET_MDV1
        ;
PHM1_8:  MOV  A,#11110110B
        MOVX @DPTR,A
        MOV  PHASE,#80H

```

```

        LCALL M_DELAY1
        LCALL CHECK_SW
        JB  ACC.0,OUT_MDRV1
        JB  WHEEL.2,RET_MDV1
        ;
RET_MDV1:  MOV  TMP0,#00H
        RET
        ;
OUT_MDRV1: SETB  SWITCH_0
        RET
;*****
RET_MDV22: MOV  TMP0,#00H
        RET
OUT_MDRV22: MOV  TMP0,#0FFH
        RET
;*****
;***** COUNTER CLOCK WISE *****
;*****
MOTOR_DRV2: MOV  DPTR,#PORT_A
        ;
        JB  PHASE.0,PHM2_1
        JB  PHASE.1,GPHM2_8
        JB  PHASE.2,GPHM2_7
        JB  PHASE.3,PHM2_6
        JB  PHASE.4,PHM2_5
        JB  PHASE.5,PHM2_4
        JB  PHASE.6,PHM2_3
        JB  PHASE.7,PHM2_2
        SJMP PHM2_1

```

```

GPHM2_8:  Ljmp  PHM2_8
GPHM2_7:  Ljmp  PHM2_7
;
PHM2_1:   MOV   A,#11110110B
          MOVX  @DPTR,A
          MOV   PHASE,#80H
          LCALL M_DELAY1
          LCALL CHECK_SW
          JB    ACC.0,OUT_MDRV22
          JB    WHEEL.2,RET_MDV22
          ;
PHM2_2:   MOV   A,#11110111B
          MOVX  @DPTR,A
          MOV   PHASE,#40H
          LCALL M_DELAY1
          LCALL CHECK_SW
          JB    ACC.0,OUT_MDRV2
          JB    WHEEL.2,RET_MDV2
          ;
PHM2_3:   MOV   A,#11110011B
          MOVX  @DPTR,A
          MOV   PHASE,#20H
          LCALL M_DELAY1
          LCALL CHECK_SW
          JB    ACC.0,OUT_MDRV2
          JB    WHEEL.2,RET_MDV2
          ;
PHM2_4:   MOV   A,#11111011B
          MOVX  @DPTR,A
          MOV   PHASE,#10H

```

```

        LCALL M_DELAY1
        LCALL CHECK_SW
        JB  ACC.0,OUT_MDRV2
        JB  WHEEL.2,RET_MDV2
        ;
PHM2_5:  MOV  A,#11111001B
        MOVX @DPTR,A
        MOV  PHASE,#08H
        LCALL M_DELAY1
        LCALL CHECK_SW
        JB  ACC.0,OUT_MDRV2
        JB  WHEEL.2,RET_MDV2
        ;
PHM2_6:  MOV  A,#11111101B
        MOVX @DPTR,A
        MOV  PHASE,#04H
        LCALL M_DELAY1
        LCALL CHECK_SW
        JB  ACC.0,OUT_MDRV2
        JB  WHEEL.2,RET_MDV2
        ;
PHM2_7:  MOV  A,#11111100B
        MOVX @DPTR,A
        MOV  PHASE,#02H
        LCALL M_DELAY1
        LCALL CHECK_SW
        JB  ACC.0,OUT_MDRV2
        JB  WHEEL.2,RET_MDV2
        ;
PHM2_8:  MOV  A,#11111110B

```

```

MOVX  @DPTR,A
MOV   PHASE,#01H
LCALL M_DELAY1
LCALL CHECK_SW
JB    ACC.0,OUT_MDRV2
JB    WHEEL.2,RET_MDV2
RET_MDV2: MOV  TMP0,#00H
        RET
        ;
OUT_MDRV2: SETB SWITCH_.0
        RET
        ;
;*****
;***** CHECK SWITCH *****
;*****
CHECK_SW: PUSH  DPH
        PUSH  DPL
        MOV   DPTR,#PORT_C
        MOVX  A,@DPTR
        ;
        ANL   A,#00001000B
        CJNE  A,#00000000B,NOT_SW
        ; CHECK DEC. SPEED
        JNB   MOTOR_STA.1,NOT_SW
        MOV   A,#01D
        POP   DPL
        POP   DPH
        RET
NOT_SW:  MOV   A,#00H
        POP   DPL

```

```

        POP    DPH
        RET

OFF_MOTOR: MOV    DPTR,#PORT_A

        MOV    A,#0FFH
        MOVX   @DPTR,A
        MOV    PHASE,#00H
        RET

;*****
;***** START CHECK SENSOR *****
;*****

ST_SENSOR: MOV    DPTR,#PORT_C

        MOVX   A,@DPTR
        ;
        JNB    ACC.0,FOUND_HOLE
        SJMP   ST_SENSOR
        ;

FOUND_HOLE: MOVX   A,@DPTR
        JNB    ACC.0,FOUND_HOLE
        ;
        MOV    COUNT_R1,#00H
        MOV    COUNT_R2,#00H
        LCALL  ST_TIMER0
        RET

;*****
;***** TIMER0 SERVICE ROUTINE *****
;*****

T0_SV:  CLR    ET0

        CLR    TF0
        CLR    TR0
        PUSH   ACC

```

```

        PUSH    DPH
        PUSH    DPL
TO_RET: ;
        MOV     DPTR,#PORT_C
        MOVX    A,@DPTR
        JB      ACC.0,CLR_WH
        JB      WHEEL.1,ST_TT0
        SETB    WHEEL.1
        SJMP    ST_TT0
CLR_WH: JB      WHEEL.1,END_HSEN
        SJMP    ST_TT0
        ;
END_HSEN: JNB    WHEEL.0,FRST_HOLE
        SETB    WHEEL.2
        CLR     WHEEL.0
        CLR     WHEEL.1
        SJMP    NTT0
FRST_HOLE: SETB    WHEEL.0
        CLR     WHEEL.1
        MOV     COUNT_R1,#00H
        MOV     COUNT_R2,#00H
        ;
ST_TT0: MOV     DPH,COUNT_R2
        MOV     DPL,COUNT_R1
        INC     DPTR
        MOV     COUNT_R2,DPH
        MOV     COUNT_R1,DPL
        ;
        MOV     A,COUNT_R1
        CJNE    A,#64H,ST_TT1

```

```

MOV    A,COUNT_R2
CJNE   A,#19H,ST_TT1
CLR    WHEEL.0
CLR    WHEEL.1
SETB   WHEEL.2
SJMP   NTT0
ST_TT1: LCALL  ST2_TIMER0
NTT0:   POP    DPL
        POP    DPH
        POP    ACC
        RETI

;*****
;**** START TIMER0 =500 uSEC ****
;*****
ST_TIMER0: ANL   TCON,#0CFH
            ANL   TMOD,#0F0H
            ORL   TMOD,#01H
            MOV   TL0,#0CH
            MOV   TH0,#0FEH
            ORL   TCON,#10H
            SETB  ET0
            SETB  EA
            RET

;**** START TIMER0 =500 uSEC ****
ST2_TIMER0:
            MOV   TL0,#0CH
            MOV   TH0,#0FEH
            SETB  TR0
            SETB  ET0

```



```

        SETB  EA
        RET

;*****
;***** CALCULATION ROUTINE *****
;*****
SUB_16:  CLR   C
        MOV   A,OP_0
        SUBB  A,TMP0      ;low byte first
        MOV   OP_0,A
        MOV   A,OP_1
        SUBB  A,TMP1      ;HIGH byte AND carry
        MOV   OP_1,A
        RET

;*****
;***** TABLE OF PULSE WIDTH *****
;*****
TABLE: DB  9D,9D,10D,11D,11D,12D,13D,14D,15D,17D,19D
        DB  21D,24D,28D,34D,42D,56D,84D,166D

;*****
;***** DELAY ROUTINE *****
;*****
; REG.  R5,R6,R7

DELAY50M: MOV   R6,#100D      ; 50 MSEC
DEL1:     MOV   R7,#250D
        DJNZ  R7,$
        DJNZ  R6,DEL1
        RET
DELAY1:   MOV   R6,#100D      ; 31 mSEC

```

```
LL1:  MOV  R7,#156D      ;((R2*2)+3)R1
      DJNZ R7,$
      DJNZ R6,LL1
      RET
DELAY2: MOV  R6,#200D      ; 20 mSEC
LL22:  MOV  R7,#50D       ;(R2*2+3)R1
      DJNZ R7,$
      DJNZ R6,LL22
      RET
DELAY100U: MOV  R6,#01D    ; 100 uSEC
LL2:   MOV  R7,#50D       ;(R2*2+3)R1
      DJNZ R7,$
      DJNZ R6,LL2
      RET
M_DELAY1: MOV  R6,R_DELAY
DELM1: MOV  R7,#50D
      DJNZ R7,$
      DJNZ R6,DELM1
      RET
END
```

ภาคผนวก ข

ตารางบันทึกผลการทดสอบ

ตาราง ข-1 แสดงความเร็วรอบของกังหันลมในสภาวะอยู่ตัว เมื่อกระแสลมที่พัดเข้าปะทะกังหันลม
มีความเร็วเพิ่มขึ้น

ความถี่ (Hz)	ความเร็วลม (m/s)	เวลา (sec)												
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
15	4.43	97.0	96.1	95.7	94.7	98.4	93.4	92.0	94.1	96.4	95.5	93.5	94.4	92.4
20	5.82	95.8	94.3	96.7	96.1	97.1	97.6	95.5	96.7	98.2	97.1	98.6	95.5	95.6
25	6.98	98.3	98.5	97.4	98.7	96.9	97.1	94.7	95.4	97.4	93.2	97.2	96.7	94.3
30	8.57	93.4	97.1	93.8	93.3	93.8	96.8	96.1	94.8	96.0	96.8	94.2	96.9	94.9

ตาราง ข-2 แสดงความเร็วรอบของกังหันลมในสภาวะอยู่ตัว เมื่อกระแสลมที่เข้าพัดปะทะกังหันลม
มีความเร็วลดลง

ความถี่ (Hz)	ความเร็วลม (m/s)	เวลา (sec)												
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
30	8.35	97.5	96.4	95.7	94.4	99.3	94.6	95.6	94.1	96.4	95.5	93.5	94.4	92.4
25	7.03	96.5	94.7	97.9	95.1	94.3	96.3	98.7	96.7	98.2	97.1	98.6	95.5	99.0
20	5.82	94.1	96.7	97.8	97.2	98.6	97.2	94.9	95.4	97.4	93.2	97.2	96.7	94.6
15	4.36	96.1	98.3	95.5	95.1	96.8	96.7	99.4	94.8	95.8	96.8	94.2	96.9	95.9

ตาราง ข-3 แสดงค่าความเร็วรอบของกังหันลม เมื่อมีกระแสลมพัดกรรโชกเข้าปะทะในขณะ
 กังหันลมอยู่นิ่ง ทำการทดสอบที่ความถี่ของอินเวอร์เตอร์ 30 Hz (ความเร็วลม 8.62 m/s)

เวลา (sec)	ความเร็วรอบ (rpm)					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	333.0	354.9	329.1	350.8	353.9	344.3
10	864.9	848.9	845.1	841.5	848.1	849.7
15	670.9	652.9	664.7	644.1	637.4	654.0
20	560.4	549.1	563.5	525.0	544.3	548.5
25	466.7	480.8	493.9	441.1	477.1	471.9
30	413.1	427.8	441.9	378.8	428.5	418.0
35	353.7	382.5	392.5	301.9	377.3	361.6
40	332.9	389.8	340.2	228.1	329.2	324.0
45	282.7	261.1	291.3	158.9	258.2	250.4
50	215.7	182.7	210.5	97.0	182.2	177.6
55	129.8	116.1	143.6	97.8	114.4	120.3
60	98.3	99.8	124.6	94.7	101.2	103.7
65	91.7	97.4	105.4	96.8	98.1	97.9
70	95.4	95.7	95.4	93.7	94.6	95.0
75	97.7	97.4	91.6	95.4	97.8	96.0
80	98.4	98.5	96.7	91.9	95.2	96.1
85	97.8	97.4	95.8	91.8	97.1	96.0
90	99.6	92.7	96.7	96.7	98.3	96.8
95	98.3	96.5	91.9	98.4	96.8	96.4
100	97.4	97.1	93.7	96.8	90.7	95.1
105	96.8	94.6	94.2	95.6	92.1	94.7
110	98.5	91.9	90.8	90.6	95.7	93.5
115	96.7	91.0	94.7	98.4	97.8	95.7
120	98.2	96.8	97.9	97.3	96.7	97.4

ตาราง ข-4 แสดงค่าความเร็วรอบของกังหันลม เมื่อมีกระแสลมพัดกรร โขกเข้าปะทะในขณะ
 กังหันลมอยู่หนึ่ง ทำการทดสอบที่ความถี่ของอินเวอร์เตอร์ 25 Hz (ความเร็วลม 6.98 m/s)

เวลา (sec)	ความเร็วรอบ (rpm)					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	185.6	159.0	159.9	161.4	145.7	162.3
10	603.4	603.0	606.4	606.9	585.8	601.1
15	390.9	454.0	444.9	402.9	456.9	429.9
20	279.6	325.9	303.4	293.5	317.4	304.0
25	200.2	225.0	269.6	202.7	226.0	224.7
30	138.6	162.7	156.8	137.0	157.8	150.6
35	98.1	106.4	100.2	91.3	102.3	99.7
40	92.0	96.4	92.2	97.6	96.4	94.9
45	97.7	99.6	93.3	97.1	95.2	96.6
50	97.7	94.1	94.4	94.9	97.5	95.7
55	93.4	97.0	93.3	91.1	95.4	94.0
60	90.9	97.0	93.3	95.3	96.2	94.5
65	96.1	93.3	95.6	90.2	96.7	94.4
70	97.1	90.8	97.4	93.2	90.0	93.7
75	97.1	95.6	94.6	91.3	94.1	94.5
80	97.1	96.5	96.5	94.1	98.4	96.5
85	96.6	98.6	90.5	97.7	94.8	95.6
90	99.4	94.5	91.9	99.8	95.8	96.3
95	91.2	90.5	96.3	96.5	94.8	93.9
100	93.5	90.5	99.5	95.1	90.2	93.8
105	92.6	98.7	93.0	90.1	95.4	94.0
110	94.0	91.9	95.4	91.8	94.4	93.5
115	97.3	94.2	96.4	96.7	97.5	96.4
120	93.8	94.6	90.4	93.2	98.2	94.0

ตาราง ข-5 แสดงการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของกังหันลม เมื่อมีกระแสลมพัดกรร โขกเข้าปะทะ
ในขณะที่กังหันลมอยู่นิ่ง ทำการทดสอบที่ความถี่ของอินเวอร์เตอร์ 20 Hz (ความเร็วลม
5.85 m/s)

เวลา (sec)	ความเร็วรอบ (rpm)					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	88.6	76.0	88.2	80.7	85.4	83.8
10	194.5	170.5	151.6	150.2	169.2	167.2
15	295.9	276.5	304.8	288.1	308.5	294.8
20	200.7	223.1	214.1	200.8	237.8	215.3
25	145.4	156.7	140.8	164.9	175.0	156.6
30	98.1	99.2	102.8	120.5	119.2	108.0
35	90.2	99.2	97.3	101.6	87.1	95.1
40	96.4	91.3	91.3	92.1	93.2	92.9
45	94.5	91.9	98.3	97.5	94.0	95.2
50	94.8	94.1	96.2	93.4	98.2	95.3
55	91.1	96.7	93.3	98.6	97.1	95.4
60	92.8	97.5	93.0	97.5	94.6	95.1
65	92.8	92.6	98.2	95.4	97.8	95.4
70	98.9	98.0	91.3	98.2	95.4	96.4
75	92.4	99.2	93.2	97.6	95.6	95.6
80	96.2	98.5	94.2	99.4	91.0	95.9
85	93.0	90.8	92.4	89.5	92.0	91.5
90	93.0	96.1	90.4	90.5	90.4	92.1
95	97.7	92.1	98.0	97.8	95.7	96.3
100	95.7	90.1	94.6	98.7	95.2	94.9
105	91.8	95.8	95.3	97.0	93.2	94.6
110	90.5	94.4	91.5	93.5	96.8	93.3
115	96.7	90.6	97.5	97.5	97.4	95.9
120	94.4	91.1	96.5	93.4	96.9	94.5

ตาราง ข-6 แสดงการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของกังหันลม เมื่อมีกระแสลมพัดกรรโชกพัดเข้าปะทะ ในขณะที่ความเร็วรอบอยู่ในสภาวะคงตัว ทดสอบ โดยเปลี่ยนความถี่ของอินเวอร์เตอร์จาก 15 Hz (ความเร็วลม 4.46 m/s) เป็น 20 Hz (ความเร็วลม 5.82 m/s)

เวลา (sec)	ความเร็วรอบ (rpm)					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย
0	95.7	94.3	97.1	99.5	96.6	96.6
5	102.4	101.3	100.8	103.8	100.9	101.8
10	93.5	95.4	96.4	95.4	93.4	94.8
15	93.5	97.8	98.7	97.8	96.8	96.9
20	99.7	98.4	96.2	96.1	97.4	97.6
25	94.2	96.3	94.3	94.8	93.5	94.6
30	99.4	94.1	98.5	97.9	99.6	97.9
35	90.5	97.5	97.6	99.4	94.6	95.9
40	90.5	96.3	91.4	95.6	96.2	94.0
45	93.6	94.2	93.2	94.4	97.1	94.5
50	99.7	94.5	97.5	98.9	92.6	96.6
55	90.0	96.8	96.3	92.4	94.8	94.1
60	91.2	97.2	98.2	97.6	96.8	96.2
65	94.3	98.3	95.4	94.7	94.7	95.5
70	97.5	96.5	91.8	98.1	96.2	96.0
75	97.2	94.1	94.6	97.2	94.0	95.4
80	93.3	98.0	97.8	94.7	98.5	96.5
85	94.4	93.7	96.1	97.1	93.0	94.9
90	97.9	94.8	95.0	96.2	94.1	95.6
95	93.3	96.7	97.5	98.0	96.0	96.3
100	94.4	94.5	93.7	93.1	92.5	93.6
105	97.7	96.1	95.9	91.9	96.8	95.7
110	97.1	93.2	97.8	94.5	98.2	96.2
115	94.7	97.8	98.1	97.9	94.0	96.5
120	99.5	94.7	95.7	92.4	96.8	95.8

ตาราง ข-7 แสดงการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของกังหันลม เมื่อมีกระแสลมพัดกรรโชกเข้าปะทะ
 กังหันลม ในขณะที่ความเร็วรอบอยู่ในสภาวะคงตัว ทดสอบโดยเปลี่ยนความถี่ของอิน
 เวอร์เตอร์จาก 15 Hz (ความเร็วลม 4.49 m/s) เป็น 25 Hz (ความเร็วลม 6.95 m/s)

เวลา (sec)	ความเร็วรอบ (rpm)					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย
0	98.6	95.2	93.7	98.1	93.8	95.9
5	124.8	148.9	110.8	124.6	132.5	128.3
10	96.3	94.8	93.6	94.2	92.4	94.3
15	98.7	97.4	96.2	97.6	97.0	97.4
20	95.4	96.7	98.8	95.9	98.0	97.0
25	97.8	99.4	97.3	96.7	96.5	97.5
30	94.3	92.8	92.5	97.5	94.1	94.2
35	92.0	94.3	96.7	96.8	94.6	94.9
40	99.3	93.9	98.6	99.7	97.8	97.9
45	91.0	96.2	97.8	93.7	95.8	94.9
50	97.5	98.7	97.8	95.6	97.0	97.3
55	98.4	95.9	96.5	93.7	95.4	96.0
60	96.6	91.3	91.9	97.4	93.1	94.1
65	92.7	90.9	97.9	95.6	97.1	94.8
70	91.7	96.5	98.2	98.3	94.8	95.9
75	97.5	93.7	96.4	96.7	98.3	96.5
80	93.2	94.4	98.7	98.3	90.0	94.9
85	91.1	96.5	96.7	94.2	92.1	94.1
90	95.9	98.3	94.6	97.8	98.3	97.0
95	94.8	97.2	94.2	99.1	92.0	95.5
100	97.3	96.9	98.7	94.7	96.7	96.9
105	96.4	92.9	92.8	97.4	95.4	95.0
110	97.5	91.5	95.8	94.2	93.1	94.4
115	95.2	96.8	94.3	97.3	97.2	96.2
120	90.2	94.0	98.5	96.8	92.9	94.5

ตาราง ข-8 แสดงการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของกังหันลม เมื่อมีกระแสลมพัดกรร โขกเข้าปะทะ
ในขณะที่ความเร็วรอบอยู่ในสภาวะคงตัว ทดสอบ โดยเปลี่ยนความถี่ของอินเวอร์เตอร์
จาก 15 Hz (ความเร็วลม 4.41 m/s) เป็น 30 Hz (ความเร็วลม 8.57 m/s)

เวลา (sec)	ความเร็วรอบ (rpm)					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย
0	97.5	94.8	96.7	98.6	94.3	96.4
5	191.8	174.5	189.3	190.9	179.8	185.3
10	112.4	104.6	108.5	110.0	104.3	108.0
15	98.3	97.0	90.6	94.3	98.3	95.7
20	97.0	97.3	96.0	95.6	94.2	96.0
25	99.6	97.1	92.8	97.8	96.1	96.7
30	97.4	96.3	96.4	95.4	94.5	96.0
35	98.6	96.3	98.9	96.0	98.9	97.7
40	95.8	95.0	95.3	99.8	94.1	96.0
45	98.2	92.6	95.3	94.6	92.5	94.6
50	92.7	89.1	90.9	93.2	93.4	91.9
55	96.4	93.8	94.1	95.7	94.5	94.9
60	94.2	90.4	97.0	95.0	90.1	93.3
65	97.9	94.0	97.5	98.7	95.1	96.6
70	94.4	96.2	94.5	95.4	99.7	96.0
75	94.2	94.5	98.6	96.3	96.1	95.9
80	91.1	91.8	93.0	98.9	94.9	93.9
85	96.9	97.6	97.0	94.9	98.1	96.9
90	90.1	97.5	97.5	95.0	97.9	95.6
95	90.2	96.0	98.8	97.6	99.0	96.3
100	95.0	96.7	92.7	91.1	98.7	94.8
105	98.3	99.5	97.9	93.5	96.8	97.2
110	91.5	99.4	98.2	98.4	94.5	96.4
115	96.3	90.3	95.4	93.1	93.8	93.8
20	98.2	93.2	94.2	98.5	97.2	96.3

ภาคผนวก ค

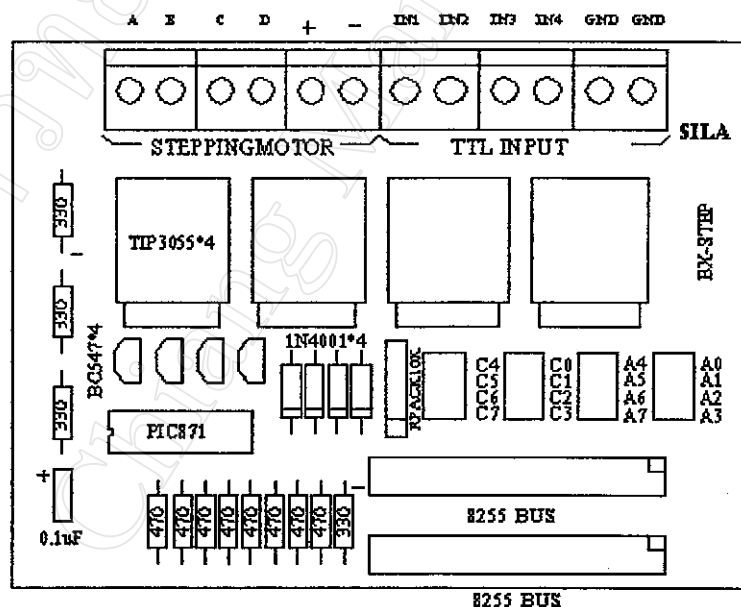
คู่มือการใช้งานบอร์ดขับสเต็ปมอเตอร์และ
บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ANT-32 V3.0 (บริษัทศิริเสรี จำกัด)

ก.1 บอร์ดขับสเต็ปมอเตอร์ (Ex-Step 4 Stepper Motor Driver Board)

การนำไปใช้งาน

Ex- Step 4 Stepper Motor Driver Board เป็นบอร์ดขับสเต็ปมอเตอร์ สามารถใช้งานกับมอเตอร์ที่ต้องการกระแสได้สูงสุด 5 แอมป์ ภายในบอร์ดมีขั้วสำหรับต่อสเต็ปมอเตอร์ทั้ง 4 จุด (4 เฟส) และขั้วไฟบวกลบของสเต็ปมอเตอร์ นอกจากนั้นยังมีขั้วอินพุต 4 จุด พร้อมทั้งไฟบวกลบของชุดอินพุต สำหรับชุดจ่ายไฟของสเต็ปมอเตอร์และชุดจ่ายไฟของสวิตช์อินพุตจะแยกอิสระจากกัน จึงช่วยตัดปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวนและปัญหาอื่นๆ ที่เข้ามารบกวนระบบควบคุมของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

การเลือกพอร์ตใช้งานของบอร์ดสามารถเลือกได้โดยการปรับ Jumper Select Port ตามรูปแสดงตำแหน่งต่างๆ บนบอร์ด ดังแสดงในรูปที่ ก-1 และวงจรภายในของบอร์ดขับสเต็ปมอเตอร์แสดงไว้ในรูปที่ ก-2



รูปที่ ก-1 แสดงตำแหน่งต่างๆ บนบอร์ดขับสเต็ปมอเตอร์



รูปที่ ๓-๒ แสดงวงจรภายในของบอร์ดจัสตีฟโมเด็ม

ก.2 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ANT-32 V3.0

ANT-32 เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์นำไปใช้งานในลักษณะ Embedded Controller กล่าวคือ เป็นบอร์ดที่ถูกรอกแบบมาเพื่อควบคุมโดยเฉพาะ โดยถูกติดตั้งอยู่ในเครื่องมือเครื่องจักรกล เครื่องใช้ไฟฟ้า รวมทั้งระบบอัตโนมัติต่างๆ บอร์ดนี้สามารถใช้กับ CPU เบอร์ที่กล่าวมาแล้วได้ทั้งสิ้น ANT-32 ได้ถูกรอกแบบและมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนปัจจุบันเป็นเวอร์ชันที่ 3 ซึ่งประกอบไปด้วยวงจรส่วนของ Watchdog Timer ,Battery Backup และ Power Fail Detector ใช้ชิพ MAX691 วงจร Real Time Clock ใช้ชิพ DS1202

คุณสมบัติของบอร์ด ANT-32

1. เป็นบอร์ดคอนโทรลเลอร์ใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 (8031/8032) ใช้ CPU เบอร์ 80C32 ทำงานที่ความถี่สัญญาณนาฬิกา 11.0592 MHz
2. ใช้งานหน่วยความจำบนบอร์ดได้ 3 ตำแหน่งด้วยกัน คือ
 - 2.1 U2 เป็นหน่วยความจำโปรแกรม (Program Memory) ใช้กับ EPROM ขนาด 8-32 Kbyte เบอร์ 2764, 27128 หรือ 27256
 - 2.2 U3 เป็นหน่วยความจำข้อมูล (Data Memory) ใช้กับ RAM ขนาด 8Kbyte เบอร์ 6264 หรือ 32 Kbyte เบอร์ 62256 สามารถแบคอัพข้อมูลได้โดยใช้แบตเตอรี่ลิเทียม
 - 2.3 U4 ใช้หน่วยความจำโปรแกรมและข้อมูล (Program and Data Memory) ใช้กับ EPROM, RAM หรือ EEPROM ขนาด 8-32 Kbyte โดยใช้ EPROM เบอร์ 2764, 27256 ใช้ RAM เบอร์ 6264, 62256 หรือ EEPROM เบอร์ 2864 (A), 28256 (A)
3. มีพอร์ต I/O เบอร์ 8255 จำนวน 2 ตัว (48บิต) สำหรับต่อไปใช้งานภายนอก
4. มีพอร์ต LCD สำหรับการต่อใช้งานกับ LCD แบบ Dot Matrix
5. มีวงจร Serial Interface Driver RS 232 ด้วยชิพเบอร์ MAX 232 สำหรับการต่อเข้ากับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์
6. มีวงจร Watchdog Timer ,Powerup /down Reset ด้วยชิพเบอร์ MAX 691
7. มีวงจร RTC (Real Time Clock) ใช้ชิพเบอร์ DS1202
8. มีคอนเน็คเตอร์สำหรับ PORT 1 ของไมโครคอนโทรลเลอร์โดยเฉพาะ
9. มีคอนเน็คเตอร์สำหรับ System Bus ทำให้ขยายระบบได้ง่าย และสามารถเข้ากับบอร์ดขยายต่างๆ ที่มีขึ้นในอนาคต

10. สามารถเลือกเบอร์และชนิดหน่วยความจำ หรือกำหนดคุณสมบัติต่างๆของบอร์ดได้ด้วยจัมป์เปอร์
11. สามารถพัฒนาโปรแกรมได้ทั้งภาษาเบสิก และแอสเซมบลี โดยใช้ซอฟต์แวร์ BASIC32 และ REM31

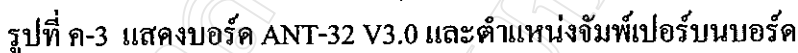
แนวทางในการพัฒนาโปรแกรม

การใช้งานบอร์ด ANT-32 ผู้ใช้จำเป็นต้องเขียนโปรแกรมควบคุมที่เรียกกันว่า มอนิเตอร์โปรแกรมขึ้นมาโดยเฉพาะเพื่อทำให้งานที่ต้องการพัฒนาสำเร็จได้ ในขั้นตอนการพัฒนานี้เองที่เป็นจุดเด่นของ ANT-32 โดยมีโปรแกรมให้เลือก 2 ลักษณะด้วยกันคือ REM31 และ BASIC32 หลักการของทั้งสองโปรแกรมก็เพื่อให้ผู้ใช้นำ EPROM ที่บรรจุโปรแกรมนี้ไปเสียบลงบนบอร์ด ANT-32 ที่ตำแหน่งหน่วยความจำ U2 (EPROM) แล้วทำการต่อสาย SERIAL PORT ระหว่างบอร์ด ANT-32 กับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ (PC, XT, AT, PS/2) จากนั้นที่เครื่อง PC ให้ใช้โปรแกรมสำหรับการสื่อสารข้อมูลอนุกรม (ให้มาพร้อม REM 31 และ BASIC32) ผู้ใช้สามารถติดต่อกับบอร์ด ANT-32 ได้ตามลักษณะของโปรแกรมที่ใช้ดังนี้

REM 31 (8031 REMOTE MONITOR) ใช้พัฒนาโปรแกรมด้วยภาษาแอสเซมบลี ด้วย REM31 ผู้ใช้จะมีชุดคำสั่งในการพัฒนาโปรแกรมถึง 19 คำสั่ง ลักษณะคำสั่งคล้ายคลึงกับคำสั่ง DEBUG ของ DOS ทำให้ผู้ที่คุ้นเคยอยู่ก่อนแล้วจะใช้งานได้ง่ายขึ้น REM31 ใช้กับ CPU ได้ทั้งเบอร์ 8031 และ 8032

BASIC 32 (8032 BASIC INTERPRETER) ใช้พัฒนาโปรแกรมด้วยภาษาเบสิก กับ CPU 8032 ภาษาเบสิกตัวนี้ก็คือตัวเดียวกับ BASIC-52 ของ INTEL นั่นเอง โดย BASIC32 นี้ยังไม่เปลี่ยนแปลงและเพิ่มเติมคำสั่งใหม่เข้าไปเพื่อให้เหมาะกับบอร์ด ANT-32 ยิ่งขึ้น

และในกรณีนี้ผู้ใช้มี EPROM EMULATOR (EE-232) สามารถใช้พัฒนาโปรแกรมได้ทั้งภาษาแอสเซมบลีโดยใช้โปรแกรม 8051 ASSEMBLER หรือภาษาซี โดยใช้โปรแกรม 8051C COMPILER ซึ่งทั้งสองโปรแกรมจำเป็นต้องใช้เครื่อง PC ช่วยในการพัฒนาโปรแกรมด้วยเช่นกัน



1. จัมพ์เปอร์ EA สำหรับเลือกใช้นหน่วยความจำโปรแกรม (Program Memory) ตำแหน่งแอดเดรสเริ่มต้น 0000H เป็น INT. (Internal) หรือ EXT. (External)

3. จัมป์เปอร์ U2 SIZE สำหรับเลือกขนาดหน่วยความจำโปรแกรม U2 (EPROM) เป็น 16 KByte (2764, 27128) หรือ 32 KByte (27256)

5. จัมป์เปอร์ U4 SIZE สำหรับเลือกชนิดหน่วยความจำ U4 เป็น EPROM (หน่วยความจำโปรแกรม) หรือ RAM (หน่วยความจำข้อมูล)

7. จัมพ์เปอร์ WD สำหรับเลือก EN. (Enable)/DIS. (Disable) วงจร WATCHDOG

8. จัมป์เปอร์ PF สำหรับเลือก EN. (Enable) / DIS. (Disable) วงจร POWER FAIL DETECTOR (MAX691)

หมายเหตุ จัมป์เปอร์ BACKUP , ED และ PF จะใช้งานได้ก็ต่อเมื่อเสียบใช้งานชิพ MAX691 ด้วย

การปรับจัมป์เปอร์เลือกหน่วยความจำ

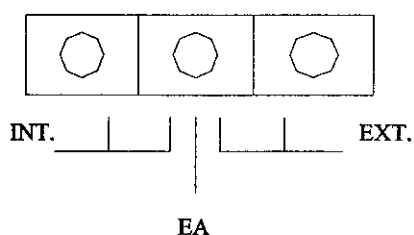
ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 8031 (32) สามารถต่อกับหน่วยความจำภายนอกได้ถึง 128 KByte โดยแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ 64 KByte เป็นหน่วยความจำโปรแกรม (Program Memory) และอีก 64 KByte เป็นหน่วยความจำข้อมูล (Data Memory) ซึ่งหน่วยความจำทั้งสองส่วนนี้มีตำแหน่งแอดเดรสที่ 0000H-FFFFH เหมือนกัน แต่จะถูกแยกออกจากกันด้วยสัญญาณควบคุมที่ต่างกัน โดยสัญญาณ PSEN[®] ใช้ควบคุมในการอ่านหน่วยความจำโปรแกรม (EPROM) สัญญาณ RD[®] และ WR [®] ใช้ควบคุมการอ่านและเขียนหน่วยความจำข้อมูลและพอร์ทอินพุต/เอาต์พุต และสำหรับการอ่านหน่วยความจำโปรแกรมและข้อมูล (Program and Data Memory) ใช้สัญญาณ GET[®] ซึ่งสัญญาณนี้ได้จากการ AND สัญญาณ PSEN[®] และ RD[®] หน่วยความจำส่วนนี้สามารถใช้ได้กับ EPROM หรือ RAM

สำหรับบอร์ด ANT-32 ได้จัดหน่วยความจำออกเป็น 3 ส่วนด้วยกันคือ

1. U2 เป็นหน่วยความจำโปรแกรม (Program Memory) แอดเดรส 0000H-7FFFH
2. U3 เป็นหน่วยความจำข้อมูล (Data Memory) แอดเดรส 0000H-7FFFH
3. U4 เป็นหน่วยความจำโปรแกรมและข้อมูล (Program and Data Memory) แอดเดรส 8000H-F7FFFH

ส่วนแอดเดรส F800H-FFFFH ใช้เป็นตำแหน่งของพอร์ทอินพุต/เอาต์พุต หน่วยความจำ U2,U3 และU4 สามารถเลือกขนาด (Size) และชนิด (Type) ได้ด้วยจัมป์เปอร์ดังต่อไปนี้

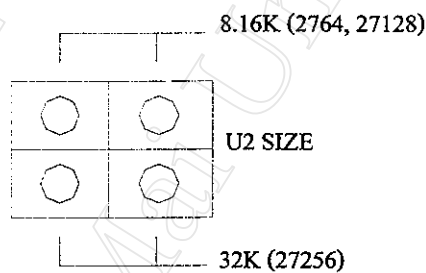
การเลือกใช้หน่วยความจำโปรแกรมภายใน/ภายนอก (จัมป์เปอร์ EA)



รูปที่ ค-4 การเลือกใช้หน่วยความจำโปรแกรมภายใน/ภายนอก (จัมป์เปอร์ EA)

จากรูปที่ ค-4 ในการใช้งานหน่วยความจำโปรแกรมแอดเดรสเริ่มต้น 0000H สามารถเลือกใช้หน่วยความจำส่วนนี้ได้ด้วยจัมป์เปอร์ EA ทั้งแบบใช้หน่วยความจำโปรแกรมภายใน (Internal Program Memory) สำหรับ CPU เบอร์ 8051 , 8052 , 8751 , 8752 , 8052 AHBASIC โดยปรับจัมป์เปอร์นี้ที่ตำแหน่ง INT. (Internal) หรือใช้หน่วยความจำโปรแกรมภายนอก (External Program Memory) สำหรับ CPU เบอร์ 8031, 8032 ปรับจัมป์เปอร์นี้ไปที่ตำแหน่ง EXT. (External)

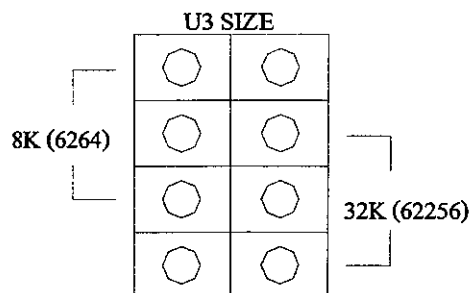
การเลือกขนาดหน่วยความจำ U2 (จัมป์เปอร์ U2 SIZE)



รูปที่ ค-5 แสดงการเลือกขนาดหน่วยความจำ U2 (จัมป์เปอร์ U2 SIZE)

จากรูปที่ ค-5 จัมป์เปอร์ U2 SIZE สำหรับการเลือกขนาดหน่วยความจำโปรแกรม (Program Memory) ตำแหน่ง U2 แอดเดรสเริ่มต้นที่ 0000H เป็น EPROM ใช้ได้ 3 ขนาดคือ 8, 16 KByte (เบอร์ 2764, 27128) หรือ 32 KByte (เบอร์ 27256)

การเลือกหน่วยความจำ U3 (จัมป์เปอร์ U3 SIZE)



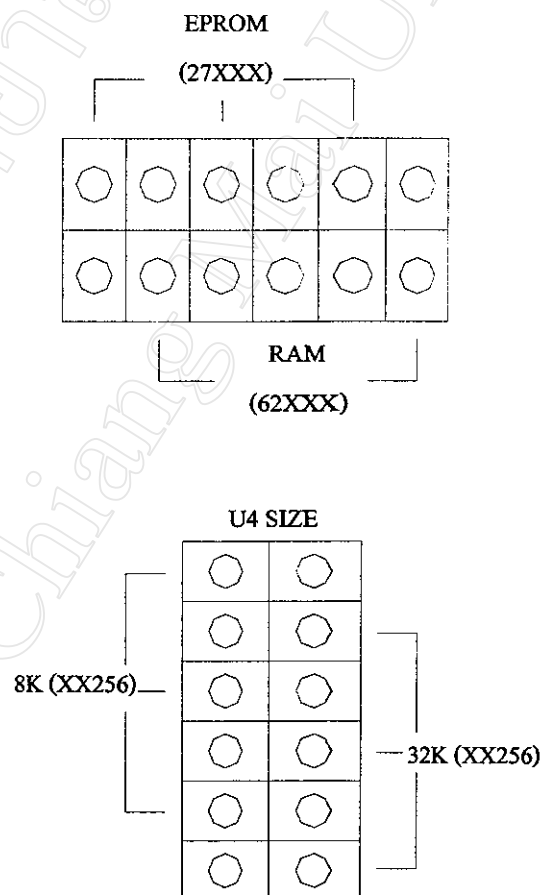
รูปที่ ค-6 แสดงการเลือกหน่วยความจำ U3 (จัมป์เปอร์ U3 SIZE)

จากรูปที่ ค-6 จัมป์เปอร์ U3 SIZE สำหรับเลือกขนาดหน่วยความจำข้อมูล (Data Memory) ตำแหน่ง U3 แอดเดรสเริ่มต้นที่ 0000H เป็น RAM ใช้ได้ 2 ขนาดคือ 8 Kbyte (เบอร์ 6264) หรือ 32 Kbyte (เบอร์ 62256)

หมายเหตุ หน่วยความจำ U3 (RAM) นี้สามารถสำรองข้อมูลในช่วงไฟดับ (BACKUP) ได้โดยบนบอร์ด ANT-32 ต้องมีชิพ MAX691 แบตเตอรี่ลิเทียม และจัมป์เปอร์ BACKUP ต้องอยู่ที่ ตำแหน่ง ON

การเลือกชนิดหน่วยความจำ U4 (จัมป์เปอร์ U4 TYPE)

จัมป์เปอร์ U4 TYPE สำหรับเลือกชนิดหน่วยความจำโปรแกรมข้อมูล (Program Data Memory) ตำแหน่ง U4 แอดเดรสเริ่มต้นที่ 8000H เป็น EPROM (27XXX) หรือ RAM (62XXX) และขนาดของ U4 เลือกได้ด้วยจัมป์เปอร์ U4 SIZE



รูปที่ ค-7 การเลือกหน่วยความจำ U4 (จัมป์เปอร์ U4 SIZE)

จากรูปที่ ค-7 จัมป์เปอร์ U4 SIZE สำหรับเลือกขนาดหน่วยความจำโปรแกรมและข้อมูล (Program and Data Memory) ตำแหน่ง U4 (เลือกเป็น EPROM หรือ RAM ด้วยจัมป์เปอร์ U4) ได้ 2 ขนาดคือ 8 KByte (EPROM เบอร์ 2764, RAM เบอร์ 6264) หรือ 32 Kbyte (EPROM เบอร์ 27256, RAM เบอร์ 62256)

หมายเหตุ การใช้งานหน่วยความจำขนาด 32 KByte ที่ตำแหน่ง U4 นี้จะสามารถใช้ได้ 30 KByte (แอดเดรส 8000H-F7FFH) เท่านั้น

TTL I/O (8255)

8255 Programmable Peripheral Interface (PPI) เป็นชิพพอร์ทแบบขนานที่เป็นที่นิยมใช้งานกันมากมาย สำหรับบอร์ด ANT-32 ใช้พอร์ท 8255 จำนวน 2 ตัวทำหน้าที่เป็นพอร์ททำให้มีพอร์ทอินพุต/เอาต์พุตถึง $24 \times 2 = 48$ บิต โดยแบ่งเป็น USER PORT 1 และ 2 มีตำแหน่งแอดเดรสดังนี้

1. USER PORT (U10) แอดเดรส $F800H + 8255 \text{ offset addr} = \text{actual addr}$

Port A ตำแหน่งแอดเดรส $F800H + 00H = F800H$

Port B ตำแหน่งแอดเดรส $F800H + 01H = F801H$

Port C ตำแหน่งแอดเดรส $F800H + 02H = F802H$

Mode Port ตำแหน่งแอดเดรส $F800H + 03H = F803H$

2. USER PORT 2 (U11) แอดเดรส $FC00H + 8255 \text{ offset addr} = \text{actual addr}$

PORT A ตำแหน่งแอดเดรส $FC00H + 00H = FC00H$

PORT B ตำแหน่งแอดเดรส $FC00H + 01H = FC01H$

PORT C ตำแหน่งแอดเดรส $FC00H + 02H = FC02H$

Mode Port ตำแหน่งแอดเดรส $FC00H + 03H = FC03H$

ก่อนที่จะใช้งานพอร์ท 8255 ผู้ใช้ต้องทำการกำหนดโหมดการทำงาน (Configuration) ของพอร์ท A, B และ C ให้เป็นพอร์ทอินพุต หรือเอาต์พุต โดยทำการเขียนค่า Control Code ไปที่ Mode Port ซึ่ง Mode Port นี้สามารถเขียนได้เท่านั้นไม่สามารถอ่านได้ ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะการทำงานในโหมด 0 ซึ่งเป็นโหมดที่ใช้งานสะดวกและง่ายต่อการทำความเข้าใจ ดังแสดงค่า Control Code ดังตาราง ค-1

ตาราง ก-1 8255 Mode 0 Configuration

Port A (PA0-PA7)	Port C 1/4 (PC4-PC7)	Port B (PB0-PB7)	Port C 3/4 (PC0-PC3)	Control code (hex)
Output	output	output	output	80H
Output	output	output	input	81H
Output	output	input	output	82H
Output	output	input	input	83H
Output	input	output	output	88H
Output	input	output	input	89H
Output	input	input	output	8AH
Output	input	input	input	8BH
Input	output	output	output	90H
Input	output	output	input	91H
Input	output	input	output	92H
Input	output	input	input	93H
Input	input	output	output	98H
Input	input	output	input	99H
Input	Input	input	output	9AH
Input	Input	input	input	9BH

DEMO TTL I/O PROGRAM

```

100 REM TTLIO.BAS
110 REM TEST 8255 PORT ON ANT-32 V2.0
120 REM SILA RESEARCH CO., LTD.
130 PA = 0F800H : PB = 0F801H : PC = 0F802H : PP = 0F803H
140 QA = 0FC00H : QB = 0FC01H : QC = 0FC02H : QP = 0FC03H
150 XBY (PP) = 80H : XBY (QP) = 80H : REM SET CONTROL CODE
160 FOR M = 101 TO 1 STEP -25
170 FOR I = 0 TO 7
180 J = 2 ** I : K = 2 ** (7-I)

```

```

190  XBY (PA) = J : XBY (PB) = J : XBY (PC) = J
200  XBY (QA) = K : XBY (QB) = J : XBY (QC) = K
210  FOR L = 0 TO M : NEXT L
220  NEXT I
230  FOR I = 7 TO 0 STEP -1
240  J = 2 ** I : K = 2 ** (7 - I)
250  XBY (PA) = J : XBY (PB) = K : XBY (PC) = J
260  XBY (QA) = K : XBY (QB) = J : XBY (QC) = K
270  FOR L = 0 TO M : NEXT L
280  NEXT I
290  NEXT M
300  GOTO 160

; FILENAME      TTLIO . ASM
; DESCRIPTION    TEST 8255 USER PORT 1 & 2
; HARDWARE      ANT -32  VERSION 2.0  BOARD
; ASSEMBLER     SXA 51 ON PC-DOS
; COMPANY       SILA RESEARCH CO., LTD.

                ORG      8100 H      ; STARTING ADDR FOR REM31
; ***** VARIABLE SET *****
                ** USER PORT 1 **

UP 1A      EQU  0F800H      ; PORT A
UP 1B      EQU  0F801H      ; PORT B
UP 1C      EQU  0F802H      ; PORT C
UP 1P      EQU  0F803H      ; MODE PORT

; ***** TTLIO MAIN *****

TTLIO : MOV  A , # 80H      ; SET CONTROL CODE
        MOV  DPTR , # UP 1 P      ; USER PORT 1
        MOVX @DPTR , A      ; PA, PB . PC = OUTPUT
        MOV  DPTR , # UP 2 P      ; USER PORT 2
        MOVX @DPTR , A      ; PA, PB, PC = OUTPUT

```

```

TTLI01 : MOV  R2 ,#HIGH 10001      ; R2R3 DELAY
          MOV   R3 ,# LOW 10001

          MOV   R6 ,# 01 H           ; DEFULT BIT PATTERN 1
          MOV   R7 ,# 80 H           ;
          MOV   B ,# 8               ; LOOP = 8

TTLI02 : MOV   A ,R6
          MOV   DPTR ,#UP 1A
          MOVX  @DPTR ,A
          MOV   DPTR ,#UP 1C
          MOVX  @DPTR ,A
          MOV   DPTR ,#UP 2 B
          MOVX  @DPTR ,A
          RL    A                    ; ROTATE LEFT
          MOV   R6 ,A

          MOV   A ,R7
          MOV   DPTR ,#UP 1 B
          MOVX  @DPTR ,A
          MOV   DPTR ,UP2A
          MOVX  @DPTR ,A
          RR    A
          MOV   R7 ,A
          LCALL DELAY                ; DELAY
          DJNZ  B ,#8                ; LOOP =8

TTLI03 : MOV   A ,R6
          MOV   DPTR ,#UP 1A
          MOVX  @DPTR ,A
          MOV   DPTR ,#UP 1C
          MOVX  @DPTR ,A

```

```

MOV      DPTR, # UP 2B
MOVX     @DPTR, A
RR        A                      ; ROTATE RIGHT
MOV      R6, A

MOV      A, R7
MOV      DPTR, #UP 1B
MOVX     @DPTR, A
MOV      DPTR, #UP 2A
MOVX     @DPTR, A
MOV      DPTR, # UP 2C
MOVX     @DPTR, A
RL        A                      ; ROTATE LEFT
MOV      R7, A
LCALL    DELAY                  ; DELAY
DJNZ     B, TTLI03
SJMP     TTLI 01                ; LOOP AGAIN

; ***** DELAY SUB. *****
DELAY:   MOV      A, R2
MOV      R0, A
MOV      A, R3
MOV      R1, A
DELAY1:  XCH      A, R1          ; R0R1 = R0R1-1
JNZ      DELAY 2
DEC      R0
DELAY2:  DEC      A
XCH      A, R1
MOV      A, R0
ORL      A, R1
JNZ      DELAY 1

```


RET

END

LCD PORT

บอร์ด ANT-32 จะมี LCD PORT ให้พร้อมสำหรับการต่อใช้งานโดยสามารถต่อเข้ากับ LCD Module แบบ Dot Matrix ได้ทันที ซึ่งจะใช้ขาสัญญาณทั้งหมด 14 ขา และสำหรับการใช้งาน LCD Port นั้น จะมีการจัดวงจรในแบบ Memory Map ซึ่งจะช่วยให้การเขียนโปรแกรมทำได้ง่าย โดยจะมองเห็นตำแหน่งต่างๆที่สรุปได้ดังนี้

Address	ลักษณะของ PORT ที่ติดต่อ
FA00H	สำหรับเขียนคำสั่ง (RS=0 R/W=0)
FA01H	สำหรับอ่านค่า BUSY (RS=0 R/W=1)
FA02H	สำหรับเขียนข้อมูล (RS=1 R/W=0)
FA03H	สำหรับอ่านข้อมูล (RS=1 R/W=1)

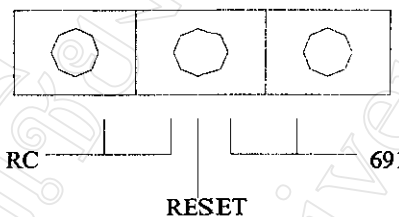
การอ่านค่า LCD แบบ Dot Matrix นี้ จะสามารถเลือกรุ่นใดๆก็ได้ โดยมีจำนวนตัวอักษรต่อบรรทัด และจำนวนบรรทัดตามที่ต้องการ เพราะสายสัญญาณที่ใช้จะเป็นแบบเดียวกันหมดจะแตกต่างกันที่โปรแกรมเท่านั้น การนับหมายเลขขั้วต่อของ LCD Port จะไม่เหมือนการนับทั่วไป จึงควรดูให้แน่ใจก่อนการต่อใช้งาน อีกประการหนึ่ง หมายเลขตัวต่อที่ด้าน LCD ก็มักจะมีหลายแบบ คือ อาจจะเป็นแถวคู่หรือแถวเดี่ยวก็ได้ แต่ทั้งนี้หมายเลข 1-14 ของขาสัญญาณก็จะตรงกันหมด กล่าวคือต่อหมายเลขให้ตรงเป็นใช้ได้ รายละเอียดของการใช้งานตัว LCD นี้ให้อ่านเพิ่มเติมได้จากคู่มือของ LCD อีกที

Optional Microprocessor Supervisory Circuits

MAX 691 Microprocessor Supervisory Circuits เป็นชิพของ MAXIM ใช้สำหรับจัดการเกี่ยวกับ การมอนิเตอร์เพาเวอร์ซัพพลาย (Power Supply Monitoring) และการควบคุมแบตเตอรี่ (Battery Control) ซึ่งเป็นวงจรในส่วนที่มีความสำคัญอย่างยิ่งกับระบบไมโครโปรเซสเซอร์ อันได้แก่ Microprocessor Reset, Power Fail Detector, CMOS RAM Write Protection และ Watchdog Timer ในที่นี้จะขอกล่าวถึง รายละเอียดต่างๆของ MAX691 (U8) เท่าที่จำเป็นต่อการใช้งานกับบอร์ด ANT-32 เท่านั้น

Microprocessor Reset (จัมป์เปอร์ RESET)

สัญญาณรีเซต CPU บนบอร์ด ANT-32 สามารถเลือกใช้ได้จาก 2 แหล่งคือ RC (จาก วงจร R/C รีเซต) หรือ 691 (จากวงจรรีเซตของ MAX691) โดยจัมป์เปอร์ RESET ดังแสดงในรูปที่ ค-8



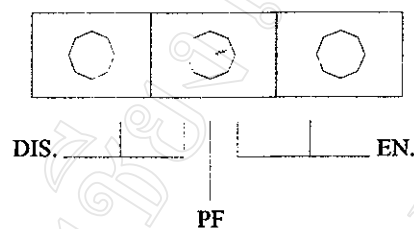
รูปที่ ค-8 แสดงการใช้จัมป์เปอร์ RESET

ถ้าไม่ได้ใช้งาน MAX 691 ให้ปรับจัมป์เปอร์ไปตำแหน่ง RC วงจร R/C รีเซตจะทำการ รีเซต CPU ในช่วง Power Up เท่านั้น ส่วนสัญญาณรีเซต CPU ของ MAX 691 จะทำการรีเซต CPU ในช่วง Power Up และ Power Down โดยที่ขา RESET จะเป็นลอจิก “1” เมื่อแรงดัน Vcc ตกต่ำกว่า 4.5 โวลต์และจะเป็นลอจิก “0” หลังจากแรงดัน Vcc สูงกว่า 4.75 โวลต์ประมาณ 50 มิลลิเซคคัน (ms) ซึ่งก็หมายความว่า CPU จะถูกรีเซตเมื่อเริ่มจ่ายไฟด้วยพัลส์ที่มีความกว้าง 50ms และจะถูกรีเซตอีกครั้งเมื่อไฟตก นอกจากนี้แล้วขา RESET จะถูกใช้เมื่อเลือกใช้งาน Watchdog Timer ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

Power Fail Detector (จัมป์เปอร์ PF)

วงจรตรวจสอบแรงดันไฟตก (Power Fail Detector) สำหรับระบบไมโครฯ นับว่ามีความสำคัญมากกับระบบที่ต้องการเก็บค่าพารามิเตอร์หรือข้อมูลบางอย่างลง RAM ก่อนที่ระบบจะหยุดทำงาน เพื่อที่ว่าเมื่อระบบเริ่มทำงานใหม่อีกครั้งจะนำเอาข้อมูลที่เก็บไว้ก่อนไฟดับมาประมวลผลเพื่อใช้งานต่อไป โครงสร้างภายในของวงจรนี้เป็นวงจร Voltage Comparator โดยแรงดันอินพุตที่ต้องการตรวจสอบจากภายนอกเข้าที่ขา PFI (Power Fail Input) นำมาเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง (Reference Voltage) 1.3 โวลต์ ซึ่งขาเอาต์พุตคือ ขา PFO (Power Fail Output) จะเป็นลอจิก “0” เมื่อแรงดันที่ขา PFI ต่ำกว่า 1.3 โวลต์ ขา PFI รับแรงดันมาจากวงจร Voltage Divider ภายนอกซึ่งก็คือ Rx และ Ry โดยทำการตรวจสอบแรงดัน Vcc 5 โวลต์ ค่าอัตราส่วนของวงจร Voltage Divider สามารถกำหนดได้จากหลักการที่ว่าแรงดันที่ขา PFI จะตกลงถึงค่า 1.3

โวลต์ก่อนที่แรงดัน +5 โวลต์ จากแหล่งจ่ายไฟจะตกลงถึง 4.75 โวลต์ โดยปกติแล้วขา PFO จะต่อเข้ากับอินเทอร์รัพท์ของ CPU เพื่อที่ว่าเมื่อเกิดสถานะ ไฟตก CPU จะถูกอินเทอร์รัพท์เพื่อให้ CPU ไปทำขบวนการนำเอาข้อมูลที่จำเป็นเก็บลงใน RAM ก่อนที่แรงดัน Vcc จะตกลงต่ำกว่า 4.75 โวลต์ และที่แรงดันนี้เองที่ CPU จะถูกรีเซตอีกครั้ง (Power Down Reset)



รูปที่ ค-9 แสดงการใช้จัมป์เปอร์ PF

จากรูปที่ ค-9 ขา PFO ของ MAX691 จะต่อเข้ากับ INTI ของ CPU สามารถเลือกใช้งานวงจร Power Fail Detector นี้ได้ด้วยจัมป์เปอร์ PF โดยปรับไปที่ EN. (Enable) หรือไม่ใช้งานโดยปรับไปที่ DIS. (Disable)

การคำนวณหาค่า Rx, Ry

กำหนดค่าแรงดัน Vcc ในขณะไฟตกในช่วงที่ CPU ยังสามารถทำงานได้ที่ 4.8 โวลต์ และเพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณจึงกำหนดค่า Ry = 10K สามารถคำนวณหาค่า Rx ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} Rx &= (4.8 - 1.3) / (1.3 / Ry) \\ &= 3.5 / (1.3 / 10 \text{ K}) \\ &= 26.923 \text{ K} \end{aligned}$$

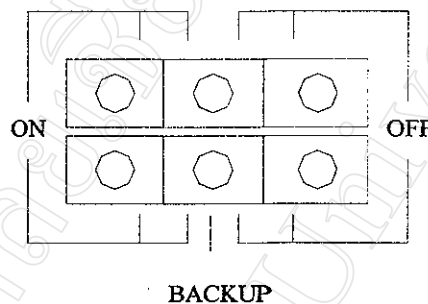
เลือกใช้ค่า Rx = 27 K, Ry = 10K

หมายเหตุ ค่าแรงดัน 4.8 โวลต์นี้สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามลักษณะของงานที่ใช้

CMOS RAM Write Protection (จัมป์เปอร์ BACKUP)

การสำรองข้อมูล (Data Backup) ของ CMOS RAM (U3) และ RTC (DS1202) ในช่วงไฟดับสำหรับบอร์ด ANT-32 ใช้ MAX 691 จัดการในส่วนของแบตเตอรี่ และสัญญาณ Chip Enable ของ RAM โดย MAX691 รับแรงดันจากแบตเตอรี่ลิเธียม 3 โวลต์เข้าที่ขา Vbatt และแรงดัน Vout จาก MAX691 ต่อเข้าที่ขา Vcc ภายใน MAX691 และจะต่อเข้ากับขา Vbatt เมื่อแรงดัน Vcc ต่ำกว่าแรงดันของแบตเตอรี่ ดังนั้นแบตเตอรี่จะถูกใช้งานเฉพาะในช่วงที่ไฟดับเท่านั้น

สำหรับ CMOS RAM เพื่อป้องกันข้อมูลสูญหายในขณะไฟดับ MAX691 ได้ออกแบบวงจรควบคุมสัญญาณ Chip Enable ของ RAM โดยที่ขา CE IN ของ MAX691 รับสัญญาณ Chip Enable มาจากวงจร Address Decoder และสัญญาณที่ขา CE OUT จาก MAX691 จะต่อเข้ากับ Chip Enable ของ RAM สัญญาณที่ขา CE OYT จะเป็นไปตามสัญญาณที่ขา CE IN ก็ต่อเมื่อแรงดัน Vcc สูงเกิน 4.65 โวลต์ และจะเป็นลอจิก “1” เมื่อแรงดัน Vcc ต่ำกว่า 4.65 โวลต์ เพื่อป้องกัน CPU เขียนค่าข้อมูลที่ไม่วัดต้องลง RAM ในระหว่าง Power Up และ Power Down



รูปที่ ค-10 แสดงการใช้จัมป์เปอร์ BACKUP

การสำรองข้อมูลของ RAM (U3) สามารถเลือก ON/OFF ได้ด้วยจัมป์เปอร์ BACKUP ซึ่งมีอยู่ 2 ตัว ส่วน RTC นั้นจะทำการสำรองข้อมูลตลอดเวลาไม่สามารถ OFF ได้

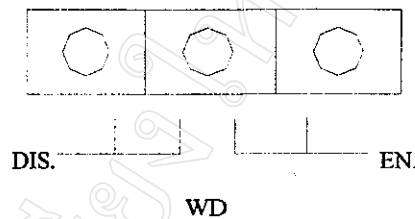
Watchdog Timer (จัมป์เปอร์ WD)

Watchdog Timer เป็นวงจรที่ทำหน้าที่ตรวจสอบการทำงานของระบบไมโครฯ ว่าทำงานในสถานะปกติหรือไม่ ถ้าระบบทำงานผิดปกติหรือเกิดการแฮงค์ วงจรส่วนนี้จะทำการรีเซ็ต CPU ให้เริ่มทำงานใหม่อีกครั้ง Watchdog Timer จึงมีความสำคัญและจำเป็นมากสำหรับระบบไมโครฯซึ่งเป็นการเพิ่มเสถียรภาพการทำงานของระบบให้ดียิ่งขึ้น

หลักการทำงานของ Watchdog Timer

ตามปรกติ CPU ต้องส่งสัญญาณไปกระตุ้นที่ขา WDI (Watchdog Input) ของ MAX691 โดยใช้พอร์ต P1.7 ที่ขา OSC IN และ OSC SEL ของ MAX691 ไม่ได้ต่อใช้งาน (ปล่อยลอยไว้) CPU ต้องทำการเปลี่ยนสถานะ (Toggle) ที่ขา WDI ทุกๆ 1.6 วินาที (Watchdog Timeout Period = 1.6วินาที) โดยใช้คำสั่ง CPL P1.7 เพื่อให้แน่ใจว่าซอฟต์แวร์ได้ทำงานอย่างถูกต้อง ถ้าฮาร์ดแวร์หรือซอฟต์แวร์เกิดทำงานผิดพลาด ซึ่งมีผลทำให้สถานะที่ขา WDI ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลาที่กำหนดไว้ MAX691 จะส่งสัญญาณรีเซ็ตเป็นพัลส์บวกที่ขา RESET กว้าง

50 ms เพื่อรีเซ็ตให้ CPU กลับไปทำงานใหม่อีกครั้ง และที่ขา RESET นี้จะส่งพัลส์รีเซ็ตออกมา ทุกๆ 1.6 วินาทีจนกว่าจะมีการเปลี่ยนสถานะที่ขา WDI อีกครั้ง



รูปที่ ค-11 แสดงการใช้งาน Watchdog Timer

จากรูปที่ ค-11 การใช้งาน Watchdog Timer สามารถเลือกใช้งานได้ด้วยจัมป์เปอร์ WD โดยปรับไปที่ EN. (Enable) เมื่อต้องการใช้งานหรือปรับไปที่ DIS. (Disable) เมื่อไม่ต้องการใช้และในกรณีต้องการเปลี่ยนค่า Watchdog Timeout Period เป็นค่าอื่น สามารถกระทำได้โดยต่อสายจัมป์ที่ขา OSC SEL (ขา 8) ต่อดลง Ground และเพิ่มคาปาซิเตอร์ Cx ที่ขา 7 ตามตำแหน่งที่พิมพ์ไว้บนบอร์ด ANT-32 ซึ่งจะมีผลทำให้ค่าความกว้างของพัลส์รีเซ็ต (Reset Timeout Period) เปลี่ยนไปตามค่า Cx ด้วยดังแสดงไว้ในตาราง ค-2

ตาราง ค-2 แสดงการเลือกค่า Reset Pulse Width และ Watchdog Timeout

OSC SEL ขา 8	OSC IN ขา 7	Watchdog Timeout Period		Reset Timeout Period
		Normal	After Reset	
Floating	Floating	1.6 sec	1.6 sec	50 ms
Low	Cx	$(400\text{ms}/47\text{pF})C_x$	$(1.6\text{sec}/47\text{pF})C_x$	$(200\text{ms}/47\text{pF}) C_x$

ตัวอย่าง ต้องการใช้งาน Watchdog Timer โดยกำหนดค่า Timeout Period = 1 วินาที
ค่า Cx สามารถคำนวณโดยใช้สูตร

$$\begin{aligned}
 C_x &= (\text{Timeout Period } 47 \text{ pF}) / 400 \text{ ms} \\
 &= (1 \text{ sec} \times 47 \text{ pF}) / 0.4 \text{ sec} \\
 &= 117.5 \text{ pF}
 \end{aligned}$$

เลือกใช้ค่า $C_x = 100 \text{ pF}$

ค่า Watchdog Timeout Period สำหรับการใช้งานปกติ (Normal) และหลังจาก CPU ถูกรีเซต (Immediately After Reset) ค่า Reset Timeout Period เมื่อใช้ค่า Cx 100 pF หาได้จาก สูตรที่แสดงไว้ในตารางที่ 2 ดังนี้

$$\begin{aligned}\text{Watchdog Timeout Period (Normal)} &= (400\text{ms}/47\text{pF}) \times 100\text{pF} \\ &= 0.85 \text{ sec}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Watchdog Timeout Period (After Reset)} &= (1.6\text{sec}/47\text{pF}) \times 100\text{pF} \\ &= 3.4 \text{ sec}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Reset Timeout Period} &= (200\text{ms}/47\text{pF}) \times 100\text{pF} \\ &= 0.43 \text{ sec}\end{aligned}$$

คำแนะนำสำหรับการใช้งาน Watchdog Timer

ในการเขียนโปรแกรมเพื่อใช้งาน Watchdog Timer ควรจะพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษา แอสเซมบลี ซึ่งเมื่อเริ่มเขียนโปรแกรมต้องไม่ใช้ Watchdog Timer โดยปรับจัมป์เปอร์ WD ไปที่ DIS.(Disable) และเมื่อเขียนโปรแกรมจนได้โปรแกรมที่ทำงานได้ตามที่ต้องการแล้วจึงทำการ แทรกคำสั่ง CPL P1.7 โดยประมาณหรือใช้วิธีคำนวณดูว่า CPU จะวนกลับมาทำคำสั่งนี้ภายใน เวลาไม่เกินค่าของ Watchdog Timeout Period ปรับจัมป์เปอร์ WD ไปที่ EN. (Enable) เพื่อใช้งาน Watchdog Timer ผู้ใช้สามารถตรวจสอบว่า CPU ได้กลับมาทำคำสั่งนี้ในช่วงเวลาที่กำหนดหรือไม่ โดยสังเกตจากการทำงานของโปรแกรม ถ้า CPU กลับมาทำคำสั่งนี้ภายในเวลาที่กำหนด โปรแกรมจะทำงานได้ตามปกติเหมือนกับการทำงานของโปรแกรมก่อนที่จะใช้งาน Watchdog Timer แต่ถ้า CPU ทริก Watchdog Timer ไม่ทันตามเวลาที่กำหนด จะสังเกตเห็นว่า CPU จะถูก รีเซตโดยจะกลับไปทำงานในส่วนต้นของโปรแกรมตลอดเวลา หรืออาจใช้ลอจิกโพรบ ออสซิลโลสโคป ตรวจสอบสัญญาณที่ขา P1.7 ของ CPU โดยต้องให้ระยะห่างระหว่างพัลส์แต่ละ ลูกไม่เกินค่า Watchdog Timeout Period

OPTIONAL REAL TIME CLOCK & CALENDAR

สำหรับการใช้งานระบบไมโครฯ ที่มีเวลาเกี่ยวข้องกับตัว จำเป็นต้องมีวงจรในส่วนที่ทำหน้าที่เป็น RTC (Real Time Clock) คือนาฬิกาเวลาจริง ซึ่งบอร์ด ANT-32 ใช้ชิพ RTC เบอร์ DS1202 Serial Timekeeper Chip ของ DALLAS SEMICONDUCTOR โดยคู่ร่วมกับอุปกรณ์ ภายนอกเพียงเล็กน้อยและที่สำคัญคือ ไม่ต้องทำการปรับแต่ง ซึ่งเมื่อจะใช้ RTC นี้ต้องมีชิพ DS1202 และ MAX691 รวมทั้งคริสตอล 32.768 KHz และแบตเตอรี่ลิเทียมบนบอร์ด ANT-32 ด้วย

Command Address (HEX)	Write = W Read = R	Range Data (BCD)	7	6
--------------------------	-----------------------	---------------------	---	---

Command Address (HEX)	Write = W Read = R	Range Data (BCD)	7	6
--------------------------	-----------------------	---------------------	---	---

Register	Function	Command Address (HEX)	Write = W Read = R	Range Data (BCD)	Register Definition							
					7	6	5	4	3	2	1	0
0	Seconds	80	W	00 to 59	CH	10 sec			sec			
		81	R									
1	Minutes	82	W	00 to 59	0	10 min			min			
		83	R									
2	12 HRS	84	W	01 to 12	12/	0	AP	HR	Hour			
	24 HRS	85	R	00 to 23	24	0	10	HR				
3	Date	86	W	01 to 31	0	0	10 Date		Date			
		87	R									
4	Month	88	W	01 to 12	0	0	0	10M	Month			
		89	R									
5	Day	8A	W	01 to 07	0	0	0	0	Day			
		8B	R									
6	Year	8C	W	00 to 99	10 Year				Year			
		8D	R									
7	Write	8E	W	00 to 80	WP	Always Zero						
	Protect	8F	R									

Demo Clock / Calendar Program

```

100  REM ***** RTC.BAS *****
110  REM TEST DS1202 RTC ON ANT-32 V2.0
120  REM BEFORE RUNING TS PROGRAM
130  REM USER MUST BE XDOWN RTCSUB.HEX
140  REM SILA RESEARCH CO.,LTD.
150  PORT1=PORT1.AND.OBFH : REM RST®="0"
160  PORT1=PORT1.OR.20H : REM SCLK="1"
170  COMBYTE=18H :DATABYTE=19H : REM INTERNAL RAM
180  GOSUB 1010 : REM SET TIME
190  XBY (OFC03H)=81H : REM READ SECOND
200  REM
210  REM SECOND CHANGE CHECK
220  DBY (COMBYTE)=81H : REM READ SECOND
230  CALL 903AH
240  B=DBY (DATABYTE)
250  IF B=A THEN GOTO 230
260  A=B
270  GOSUB 2000 : REM TIME DISPLAY
280  GOTO 230
290  REM
1000 REM ----- SET TIME SUBROUTINE -----
1010 REM SET HOUR=0 , MIN = 0 , SEC = 0
1020 DBY (COMBYTE) = 8EH : REM WRITE PROTECTION "OFF"
1030 DBY (DATABYTE)=00H : CALL 9000H
1040 DBY (COMBYTE) = 80H : REM WRITE SEC AND CLR CHFLAG
1050 DBY (DATABYTE) = 00H : CALL 9000H
1060 DBY (COMBYTE) = 82H : REM WRITE MINUTE
1070 DBY (DATABYTE) = 00H : CALL 9000H

```



```

1080  DBY (COMBYTE) = 84H    :  REM WRITE HOUR
1090  DBY (DATABYTE) = 00H   :  CALL 9000H
1100  DBY (COMBYTE) = 8EH    :  REM WRITE PROTECTION "ON"
BY (DATABYTE) = 80H    :  CALL 9000H
1110  RETURN
1130  REM
2000  REM ----- TIME DISPLAY SUBROUTINE -----
2010  REM OUTPUT : USER PORT2 PA=HOUR ,PB=MIN ,PC=SEC
2020  REM OUTPUT :CRT
2030  XBY (0FC00H) =A :  REM OUTSEC TO PA
2040  DBY (COMBYTE) = 83H :  REM READ MINUTE
2050  CALL 903AH
2060  XBY (0FC01H) =DBY (DATABYTE) :  REM OUT MIN TO PB
2070  DBY (COMBYTE) = 85H :  REM READ HOUR
2080  CALL 903AH
2090  XBY (0FC02H) =DBY (DATABYTE) :  REM OUTHOUR TO PC
2100  PHO. XBY (0FC02h) , :  REM PRINT HOUR
2110  PHO. XBY (0FC01H) , :  REM PRINT MINUTE
2120  PHO. XBY (0FC00H) :  REM PRINT SECOND
2130  RETURN

```

```

; FILENAME      RTCSUB.ASM
; DESCRIPTION    RTC SUBROUTINE FOR BASIC CALL
; HARDWARE      ANT-32 VERSION 2.0 BOARD
; ASSEMBLER     SXA51 ON PC-DOS
; COMPANY       SILA RESEARCH CO., LTD.

```

```

          ORG 9000H                                ;STARTING ADDR FOR ASSEM
; P 1.4 = I/O DATA
; P 1.6 = RST®
; P 1.5 = SCLK

```

```

; ***** BYTEWR SUB . *****
; WRITE SINGLE BYTE TO STC
; IN    = 18H COMMAND
;      = 19H DATA
; REG = A, B, R6, R7
BYTEWR : SETB    RSO                ;SELECT REG BANK-3
         SETB    RS1
         MOV     R6, 18H            ;COMMAND BYTE
         MOV     R7, 19H            ;DATA BYTE
         CLR     P1.4              ;COMMAND BYTE "WRITE"
         LCALL   DELAY
         SETB    P1.6              ; RST® = "1"
         LCALL   DELAY
         MOV     B, #8              ;SEND COMMAND
         CLR     C
BYTEWR1: MOV     A, R6
         RRC     A
         MOV     R6, A
         MOV     P1.4, C
         LCALL   SCLKRW
         DJNZ    B, BYTEWR1
         MOV     B, #8              ;SEND DATA BYTE
         CLR     C
BYTEWR2: MOV     A, R7
         RRC     A
         MOV     R7, A
         MOV     P1.4, C            ; RST® = "0"
         LCALL   DELAY
         CLR     RSO                ;SERECT REG BANK-0

```

```

        CLR        RS1
        RET
;***** BYTERD SUB. *****
; READ SINGLE BYTE FROM STC
; IN = 18H COMMAND
; OUT = 19H DATA
; REG = A,B,R6,R7
BYTERD:  SETB      RS0                ; SELECT REG BANK-3
        SETB      RS1
        MOV        R6,18H            ; COMMAND BYTE
        SETB      P 1.4              ; COMMAND BYTE "READ"
        LCALL     DELAY
        SETB      P 1.6              ; RST ® = "1"
        LCALL     DELAY
        MOV        B,#88             ; SEND COMMAND
        CLR        C
BYTERD1: MOV        A,R6
        RRC        A
        MOV        R6,A
        MOV        P 1.4,C
        LCALL     SCLKCOM
        DJNZ      B,BYTERD 1
        MOV        B,#8              ; RECEIVE DATA BYTE
        MOV        R7,#0             ; CLEAR DATA BUFFER
BYTERD 2: LCALL     SCLKRW
        MOV        A,R7
        MOV        C,P 1.4          ; READ SERIAL DATA
        RRC        A
        MOV        R7,A

```

```

        DJNZ      B , BYTERRD 2
        CLR       P 1. 6           ; RST ® = "0"
        LCALL     DELAY
        MOV       19 H , R7        ; DATA BYTE
        CLR       RS0              ; SELECT REG BANK = 0
        CLR       RS1
        RET

```

```

; ***** SCLKCOM SUB. *****
; SERIAL CLOCK FOR WRITE COMMMAND
; A RISING EDGE
; FOLLOWED BY A FALLING EDGE

```

```

SCLKCOM:  CLR      P 1. 5
          LCALL     DELAY
          SETB      P 1. 5
          LCALL     DELAY
          RET

```

```

; ***** SCLKRW SUB. *****
; SERIAL CLOCK FOR READ / WRITE DATA
; A RISING EDGE
; FOLLOWED BY A FALLING EDGE

```

```

SCLKRW :  SETB      P 1. 5
          LCALL     DELAY
          CLR       P 1. 5
          LCALL     DELAY
          RET

```

```
; ***** DELAY SUB. *****
```

```
; PLUSE DELAY
```

```
; REG = R1
```

```
DELAY:    MOV        R1,#5
           DJNZ       R1,S
           RET
           END
```

```
; FILENAME      RTC.ASM
```

```
; DESCRIPTION    TEST DS1202 SERIAL TIMEKEEPER CHIP
```

```
; HARDWARE       ANT-32 VERSION 2.0 BOARD
```

```
; ASSEMBLER      SXA51 ON PC-DOS
```

```
; COMPANY        SILA RESEARCH CO., LTD.
```

```
ORG       8100H      ; STARTING ADDR FOR REM31
```

```
; ***** VARIABLE SET *****
```

```
; ** USER PORT 2 **
```

```
UP2A      EQU        OFC00H      ;PORT A
UP2B      EQU        OFC01H      ;PORT B
UP2C      EQU        OFC02H      ;PORT C
UP2P      EQU        OFC03H      ;MODE PORT
```

```
; ***** MAIN *****
```

```
; P1.4 = I/O DATA
```

```
; P1.6 = RST®
```

```
; P1.5 = SCLK
```

```
MAIN:     CLR         P1.6        ;RST® = "0"
           SETB        P1.5        ;SCLK = "1"
```

```

        LCALL    DELAY
        LCALL    SETTIME
        MOV      DPTR, #UP 2P ; SET CONTROL CODE
        MOV      A, #80H      ; PA, PB PC = OUTPUT
        MOVX     @DPTR, A
MAIN1:   LCALL    TDISP      ; TIME DISPLAY
        LJMP     MAIN1      ; LOOP AGAIN
; ***** SETTIME SUB. *****
SETTIME: MOV      R6, #8EH    ; WRITE PROTECTION COMMAND
        MOV      R7, #00H
        LCALL    BYTEWR

        MOV      R6, #80H    ; WRITE SECOND AND CLR CHFLAG
        MOV      R7, #00H    ; SEC = 0
        LCALL    BYTEWR

        MOV      R6, #82H    ; WRITE MINUTE
        MOV      R7, #00H    ; MIN = 0
        LCALL    BYTEWR
        MOV      R6, #84H    ; WRITE HOUR
        MOV      R7, #00H    ; HOUR = 0
        LCALL    BYTEWR

        MOV      R6, #8EH    ; WRITE PROTECTION "ACTIVE"
        MOV      R7, #80H
        LCALL    BYTEWR
        RET

; ***** BYTEWR SUB. *****
; WRITE SINGLE BYTE TO STC

```

```

; IN    = R6 COMMAND
        = R7 DATA
; REG = A,B,R6,R7

BYTEWR:  CLR      P1.4      ; COMMAND BYTE "WRITE"
         LCALL    DELAY
         SETB     P1.6      ; RST® = "1"
         LCALL    DELAY
         MOV      B,#8      SEND COMMAND
BYTEWR1: MOV      A,R6
         RRC      A
         MOV      R6,A
         MOV      P1.4,C
         LCALL    SCLKRW
         DJNZ     B,BYTEWR1

         MOV      B,#8      ;SEND DATA BYTE
         CLR      C
BYTEWR2: MOV      A,R7
         RRC      A
         MOV      R7,A
         MOV      P1.4,C
         LCALL    SCLKRW
         DJNZ     B,BYTEWR2

         CLR      P1.6      ; RST® = "0"
         LCALL    DELAY
         RET

; ***** SCLKCOM SUB. *****
; SERIAL CLOCK FOR WRITE COMMAND
; A FALLING EDGE

```

; FOLLOWED BY A RISING EDGE

```
SCLKCOM:  CLR      P 1.5
           LCALL    DELAY
           SETB     P 1.5
           LCALL    DELAY
           RET
```

; ***** SCLKRW SUB. *****

; SERIAL CLOCK FOR READ/WRITE DATA

; A RISING EDGE

; FOLLOWED BY A FALLING EDGE

```
SCLKRWB:  SETB     P 1.5
           LCALL    DELAY
           CLR      P 1.5
           LCALL    DELAY
           RET
```

; ***** DELAY SUB. *****

; PULSE DELAY

; REG = R1

```
DELAY:    MOV      R 1,#5
           DJNZ     R 1,S
           RET
```

; ***** TDISP SUB. *****

; TIME DISPLAY

; AT 8255 USER PORT 1

; PA (HOURS), PB (MINUTES), PC (SECONDS)

```

TDISP:  MOV      R6, #81H          ; READ SECOND
        LCALL    BYTERD
        MOV      DPTR, #UP2A      ; OUT SEC TO PORT A
        MOV      A, R7
        MOVX     @DPTR, A
        MOV      R6, #83H        ; READ MIUTE
        LCALL    BYTERD
        MOV      DPTR, #UP2B      ; OUT MIN TO PORT B
        MOV      A, R7
        MOVX     @DPTR, A
        MOV      R6, #85H        ; READ HOUR
        LCALL    BYTERD
        MOV      DPTR, #UP2C      ; OUT HOUR TO PORT C
        MOV      A, R7
        MOVX     @DPTR, A
        RET
        END

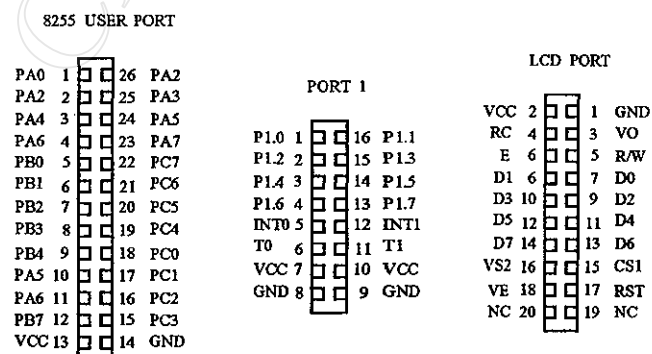
```

ANT-32 SPECIFICATION

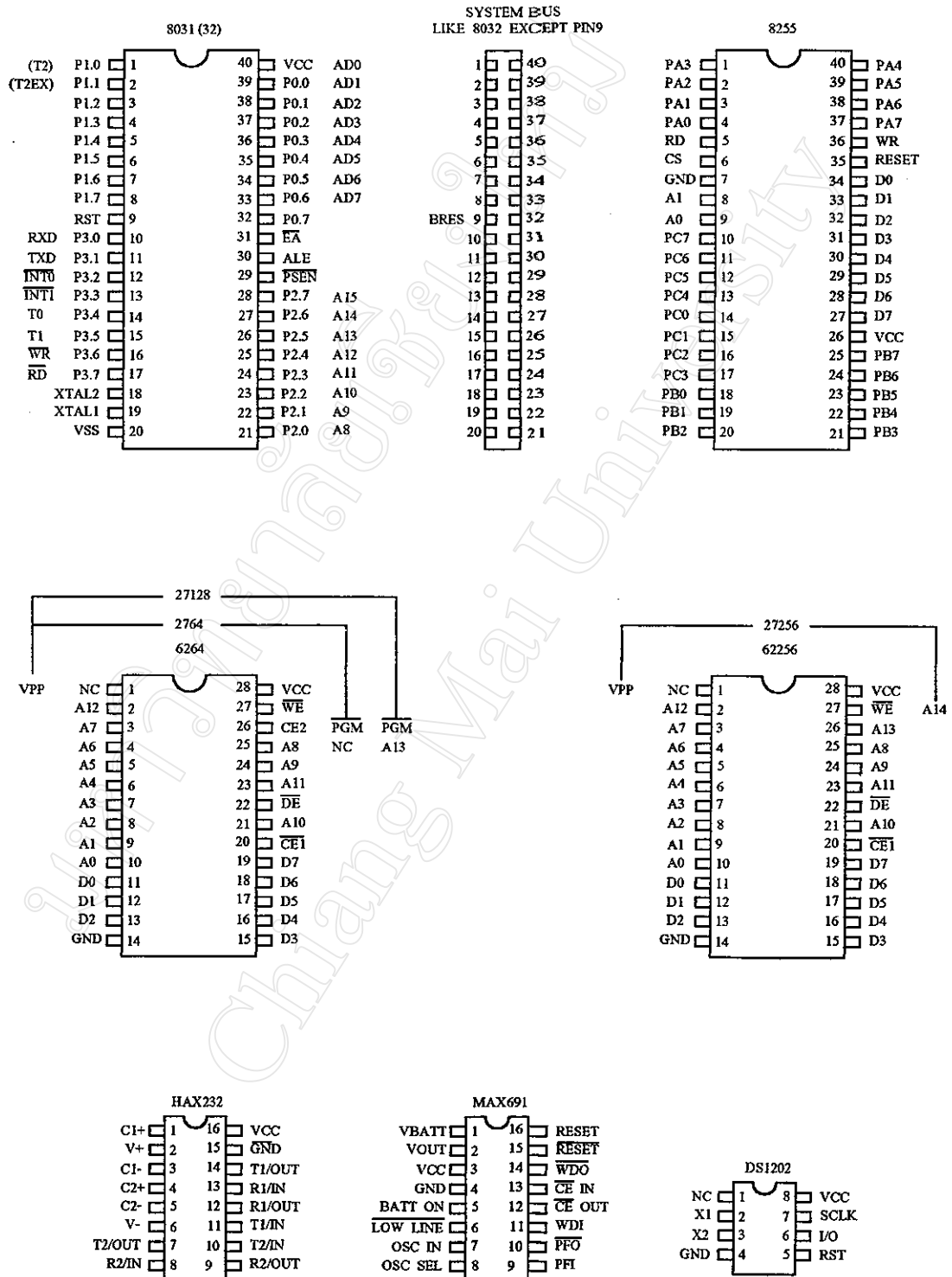
CPU	80C32 CHMOS 8-bits Microcontroller
CLOCK SPEED	11.0592 MHz
INTERNAL RAM	256 Byte
PROGRAM MEMORY	U2 8-32 Kbyte : 2764 27128 27256 (EPROM)
	default = 28 pins socket
DATA MEMORY	U3 8-32 KByte : 6264 62256 (RAM –backup)
	default = 28 pins socket
PROGRAM & DATA MEMORT	U4 8-32 Kbyte : 2764 27256 (EPROM)
	6264 62256 (RAM)
	2864 28256 (EEPROM)
	default = 6264 8Kbyte RAM
INTERNAL PORT	12 bits I/O (PORT 1 T0 T1 INT0 INT1)
PORT	USER PORT 1,2 48 bits 8255 I/O
	LCD PORT (NOT MATRIX ONLY)
SERIAL INTERFACE	RS232C user MAX232 chip
BACKUP, WATCHDOG, PF DETECTOR	use MAX691 chip (option)
REAL TIME CLOCK	use DS1202 chip (option)
DATA RETENTION TIME	over 4 Years for RAM and RTC
CONNECTOR	40 pins - System Expansion
	26 pins x 2 - User Port 1,2
	16 pins - Internal Port
	14 pins - LCD Port
	3 pins - RS232C Port
	2 pins - 5VDC Power Supply
POWER CONSUMTION	+5 DVC 168 mA (approximate)
SIZE	10.2 cm. ×14.2 cm.

ANT-32 MEMORY MAP

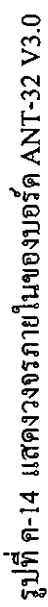
0000H	U2 (0000H-7FFH) CODE PROGRAM EPROM 2764 27128 27256	U3 (0000H-7FFFH) DATA MEMORY RAM (BACKUP) 6264 62256									
8000H	U4 (8000H-F7FFFH) CODE AND DATA MEMORY <table> <tr> <td>EPROM</td><td>EEPROM</td><td>RAM</td></tr> <tr> <td>2764</td><td>2864</td><td>6264</td></tr> <tr> <td>27256</td><td>28256</td><td>62256</td></tr> </table>		EPROM	EEPROM	RAM	2764	2864	6264	27256	28256	62256
EPROM	EEPROM	RAM									
2764	2864	6264									
27256	28256	62256									
F800H	U10 (F800H-F9FFFH) 8255 USER PORT1										
FA00H	(FA00H-FBFFFH) LCD PORT										
FC00H	U11 (FC00H-FDFFFH) 8255 USER PORT 2										
FE00H	RESERVE										
FFFFH											



รูปที่ ก-13 แสดงรายละเอียดของ Connector และ Chip



รูปที่ ก-13 แสดงรายละเอียดของ Connector และ Chip (ต่อ)

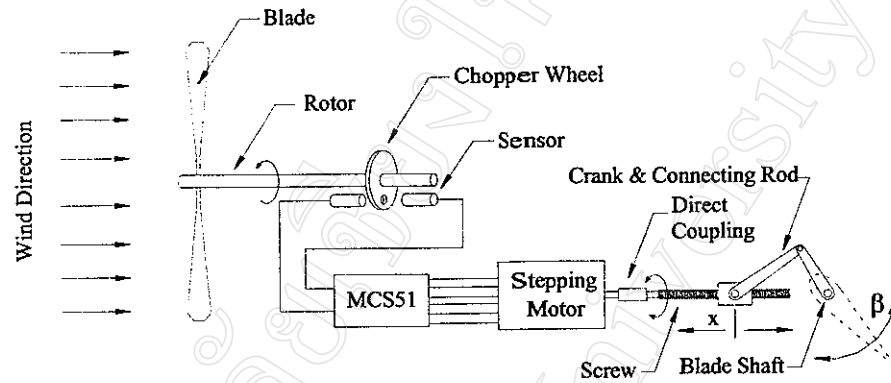


รูปที่ จ-14 แสดงวงจรภายในของบอร์ด ANT-32 V3.0

ภาคผนวก ง

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของส่วนประกอบภายในกลไกที่ออกแบบ

การหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบกลไกปรับมุมพิทช์ใบพัดของกังหันลมที่ออกแบบ โดยแยกพิจารณาเป็นส่วนประกอบย่อยๆ ดังแสดงในรูปที่ ง-1 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ ง-1 ระบบกลไกปรับมุมพิทช์ใบพัดของกังหันลมที่ออกแบบเขียนในรูปอย่างง่าย

ง.1 ส่วนควบคุม

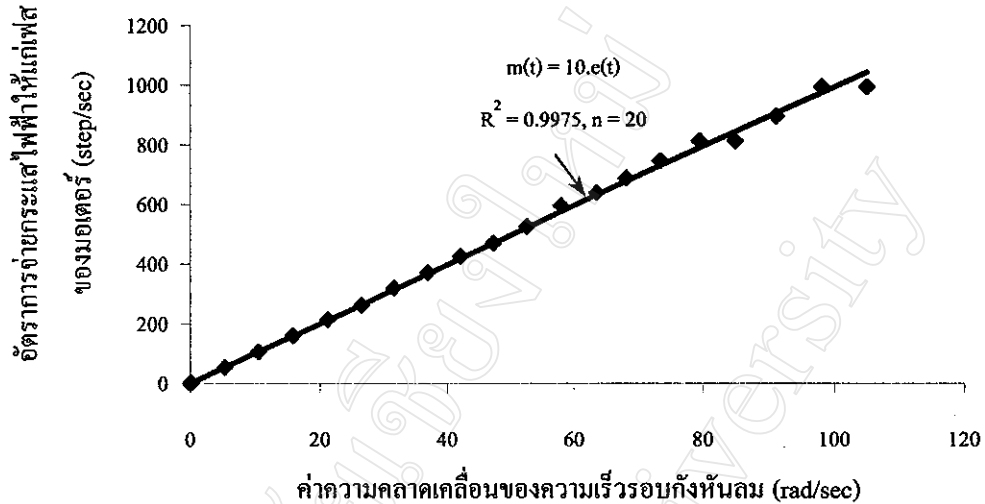
ส่วนควบคุมระบบการทำงานของกลไกที่ออกแบบ คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ซึ่งใช้สำหรับควบคุมการทำงานของสเต็ปปีงมอเตอร์ โดยลักษณะการทำงานของส่วนควบคุมจะขึ้นอยู่กับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เขียนขึ้น

จากตาราง ง-1 โปรแกรมสำหรับกลไกปรับมุมพิทช์ใบพัดของกังหันลม ได้ถูกออกแบบให้ทำการเปรียบเทียบค่าความเร็วรอบของกังหันลมซึ่งวัดได้จากเซนเซอร์กับความเร็วรอบที่กำหนดไว้ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เมื่อค่าความเร็วรอบของทั้งสองส่วนมีค่าต่างกันจะทำให้เกิดสัญญาณความคลาดเคลื่อน ($e(t) = |\Omega_{act} - \Omega_{set}|$) ขึ้น และไมโครคอนโทรลเลอร์จะใช้ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นดังกล่าวในการควบคุมทิศทางและความเร็วรอบของสเต็ปปีงมอเตอร์ ซึ่งความเร็วรอบของสเต็ปปีงมอเตอร์สามารถควบคุมได้จากการกำหนดช่วงเวลา/เฟสของสเต็ปปีงมอเตอร์ โดยได้ถูกกำหนดไว้ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และอัตราการหมุนของสเต็ปปีงมอเตอร์ในตาราง ง-1 คือ ส่วนกลับของค่าช่วงเวลา/เฟสของสเต็ปปีงมอเตอร์

ตาราง ง-1 แสดงรายละเอียดของค่าที่กำหนดในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้ควบคุมการทำงานของสเต็ปปีงมอเตอร์ภายในกลไกปรับมุมพิชชีโบพัดของกังหันลมที่ออกแบบ

$ \Omega_{act} - \Omega_{set} $ (rpm)	$ \Omega_{act} - \Omega_{set} $ (rad/sec)	ค่าหน่วยเวลาเฟสของ สเต็ปปีงมอเตอร์ ($\times 10^{-3}$ sec)	อัตราการหมุนของ สเต็ป ปีงมอเตอร์ (step/sec)
1000	104.720	1.007	993.103
934	97.808	1.007	993.103
868	90.897	1.119	893.889
809	84.718	1.23	812.698
757	79.273	1.23	812.698
700	73.304	1.342	745.028
650	68.068	1.454	687.761
606	63.460	1.566	638.669
552	57.805	1.678	596.119
500	52.360	1.901	526.027
450	47.124	2.125	470.684
400	41.888	2.348	425.878
351	36.757	2.683	372.665
300	31.416	3.13	319.445
251	26.285	3.801	263.089
200	20.944	4.695	212.988
150	15.708	6.26	159.75
100	10.472	9.389	106.506
50	5.236	18.554	53.898
0	0.000	Infinity	0

รายละเอียดในตาราง ง-1 สามารถนำมาพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความคลาดเคลื่อนของความเร็วรอบของกังหันลม ($e(t)$) และอัตราการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่เฟสของสเต็ปปีงมอเตอร์ได้ ($m(t)$) ดังแสดงในรูปที่ ง-2



รูปที่ ง-2 กราฟแสดงลักษณะการทำงานของส่วนควบคุม

จากรูปที่ ง-2 จะได้สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความคลาดเคลื่อนของความเร็วรอบของกึ่งหันลมและอัตราการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่เฟสของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ คือ

$$m(t) = 10.(e(t)) \quad \dots\dots\dots(ง.1)$$

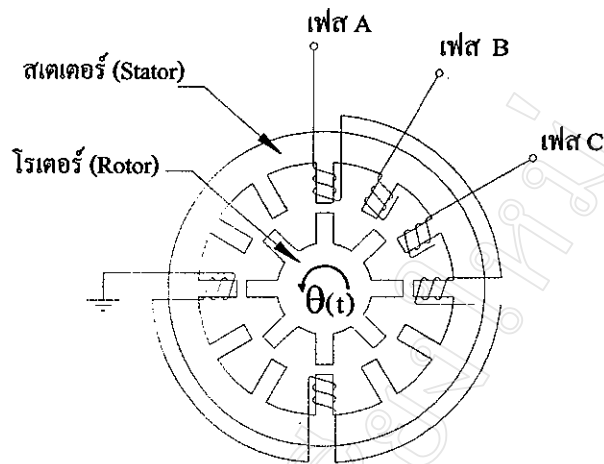
โดยที่

$e(t)$ คือ ความคลาดเคลื่อนของความเร็วรอบของกึ่งหันลม, rad/sec

$m(t)$ คือ อัตราการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่เฟสของสเต็ปปิ้งมอเตอร์, step/sec

ง.2 สเต็ปปิ้งมอเตอร์

สเต็ปปิ้งมอเตอร์เป็นอุปกรณ์ทางกลที่ขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า โดยมีการขับเคลื่อนเป็นขั้น การหมุนของเฟลมอเตอร์จะหมุนเป็นขั้นซึ่งมีขนาดมุมการหมุนเท่ากันเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน คอยล์ (Coil) หลายอันภายในมอเตอร์ โดยการทำงานจะมีการส่งกระแสผ่านคอยล์อันหนึ่งก่อนและตัดกระแสจากคอยล์อันนั้น แล้วจึงจ่ายกระแสให้คอยล์ต่อไปอย่างเป็นลำดับ (ตะวัน สุจริตกุล, 2532) ซึ่งความเร็วรอบการหมุนของมอเตอร์จะขึ้นอยู่กับความเร็วในการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่แต่ละ คอยล์ของมอเตอร์เรียงตามลำดับต่อเนื่องกันไป ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ ง-3



รูปที่ ง-3 ตัวอย่างแสดงลักษณะการทำงานของสเต็ปปีงมอเตอร์ แบบ 3 เฟส
ที่มา : ตะวัน สุจริตกุล (2532)

ระบบควบคุมที่ออกแบบได้ใช้สเต็ปปีงมอเตอร์ชนิดที่มีคอยล์ภายในสี่ชุด หรือเรียกว่า สเต็ปปีงมอเตอร์แบบสี่เฟส ซึ่งมีขนาดของมุมในแต่ละเฟสเท่ากับ 1.8 องศา (1.8 องศา / 1 สเต็ป) หรือ 0.031 เรเดียน ดังนั้นจะได้ความสัมพันธ์ คือ

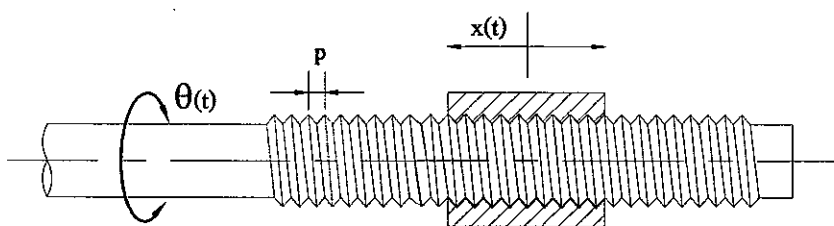
$$\theta = 0.031m \quad \dots\dots\dots(ง.2)$$

โดยที่

θ คือ มุมการหมุนของสเต็ปปีงมอเตอร์, rad

m คือ จำนวนการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่เฟสของสเต็ปปีงมอเตอร์, step

ง.3 สกรูขับสไลเดอร์



รูปที่ ง-4 ส่วนประกอบและรายละเอียดของสกรูขับสไลเดอร์

จากรูปที่ ง-4 เมื่อสกรูหมุนไป 1 รอบ หรือ 2π เรเดียน จะทำให้สไลเดอร์ซึ่งขบกับเกลียวของสกรูเคลื่อนที่ไปเป็นระยะทางเท่ากับระยะพิทช์ของสกรู (p) และสามารถแสดงความสัมพันธ์ในรูปของสมการได้ดังต่อไปนี้

$$x = \frac{p\theta}{2\pi} \quad \dots\dots\dots(ง.2)$$

โดยที่

x = ระยะการเคลื่อนที่ของสไลเดอร์ซึ่งขบกับสกรู, m

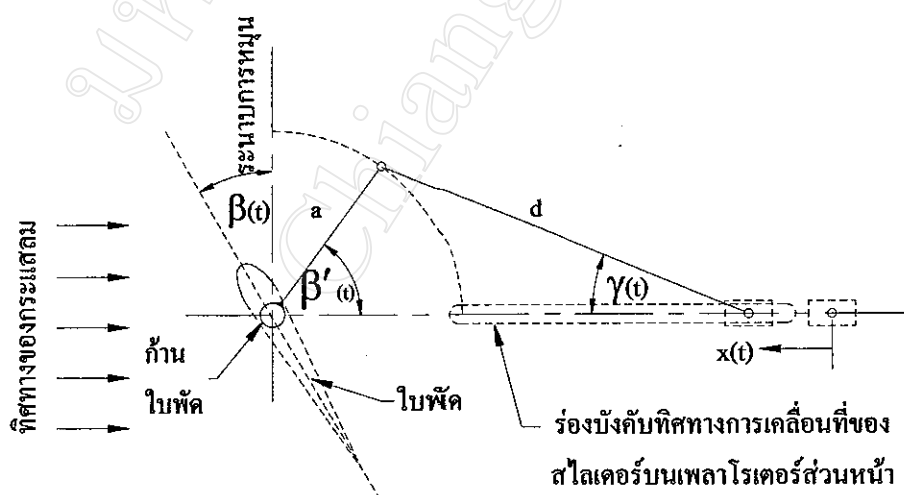
θ = มุมการหมุนของเพลาสกรู, rad

p = ระยะพิทช์ของสกรู, m

กลไกสำหรับทดสอบ ได้ถูกออกแบบให้สกรูขับสไลเดอร์มีระยะพิทช์ 1 มิลลิเมตร หรือ 0.001 เมตร ดังนั้นจากสมการ (ง.2) จะได้สมการของชุดสกรูขับสไลเดอร์ที่ออกแบบ คือ

$$x = \frac{0.001}{2\pi} \cdot \theta = 1.592 \times 10^{-4} \theta \quad \dots\dots\dots(ง.3)$$

ง.4 แกรงค์และคอนเนคติงรอด



รูปที่ ง-5 ส่วนประกอบและรายละเอียดของแกรงค์และคอนเนคติงรอด

จากรูปที่ ง-5 จะได้ความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$x = d + a - d \cos \gamma - a \cos \beta'$$

$$x = d(1 - \cos \gamma) + a(1 - \cos \beta') \quad \dots\dots\dots(ง.4)$$

โดยที่

x = ระยะการเคลื่อนที่ของสไลเดอร์, m

d = ขนาดความยาวของคอนเนคตังรูด, m

a = ขนาดความยาวของแตรงค์, m

γ = มุมระหว่างแนวการเคลื่อนที่ของสไลเดอร์กระทำกับคอนเนคตังรูด, rad

β' = มุมระหว่างแนวการเคลื่อนที่ของสไลเดอร์กระทำกับแตรงค์, rad

เนื่องจาก

$$\sin \gamma = \frac{a}{d} \sin \beta' \quad \dots\dots\dots(ง.5)$$

และ

$$\cos \gamma = \sqrt{1 - \sin^2 \gamma} \quad \dots\dots\dots(ง.6)$$

แทนค่าสมการ (ง.5) ลงในสมการ (ง.6)

$$\cos \gamma = \sqrt{1 - \left(\frac{a}{d}\right)^2 \sin^2 \beta'} \quad \dots\dots\dots(ง.7)$$

แทนค่าสมการ (ง.7) ลงในสมการ (ง.4)

$$x = d\left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{a}{d}\right)^2 \sin^2 \beta'}\right) + a(1 - \cos \beta') \quad \dots\dots\dots(ง.8)$$

จากคุณสมบัติของอนุกรมไบนอมิเยล (Binomial Series) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

(Kreyszing, 1993)

$$\begin{aligned}\frac{1}{(1-Z)^m} &= (1+Z)^{-m} = \sum_{n=0}^{\infty} \binom{-m}{n} Z^n \\ &= 1 - mZ + \frac{m(m+1)Z^2}{2!} - \frac{m(m+1)(m+2)Z^3}{3!} + \dots \quad \text{.....(จ.9)}\end{aligned}$$

ดังนั้นจากสมการ (จ.8) และสมการ (จ.9) จะได้ความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$(1 \pm E^2)^{1/2} = 1 \pm \frac{1}{2}E^2 - \frac{E^4}{2 \cdot 4} \pm \frac{1 \cdot 3E^6}{2 \cdot 4 \cdot 6} - \frac{1 \cdot 3 \cdot 5E^8}{2 \cdot 4 \cdot 6 \cdot 8} \pm \dots \quad \text{.....(จ.10)}$$

โดยที่

$$E = \left(\frac{a}{d} \right) \sin \beta' \quad \text{.....(จ.10.1)}$$

ในทางปฏิบัติโดยทั่วไปจะใช้เพียงสองเทอมแรกของสมการ (จ.10) (Mabie and Reinholtz, 1987) ดังนั้นจากสมการ (จ.10) และ(จ.10.1) จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$\sqrt{1 - \left(\frac{a}{d} \right)^2 \sin^2 \beta'} = 1 - \frac{1}{2} \left(\frac{a}{d} \right)^2 \sin^2 \beta' \quad \text{.....(จ.11)}$$

แทนสมการ (จ.11) ลงในสมการ (จ.8)

$$x = L \left(1 - \left(1 - \frac{1}{2} \left(\frac{a}{d} \right)^2 \sin^2 \beta' \right) \right) + a(1 - \cos \beta')$$

$$x = L \left(\frac{1}{2} \left(\frac{a}{d} \right)^2 \sin^2 \beta' \right) + a(1 - \cos \beta')$$

$$x = \frac{a^2}{2d} \sin^2 \beta' + a(1 - \cos \beta') \quad \text{.....(จ.12)}$$

และเนื่องจาก

$$\sin^2 \beta' = 1 - \cos^2 \beta' \quad \text{.....(จ.13)}$$

ดังนั้นเมื่อแทนค่าสมการ (จ.13) ลงในสมการ(จ.12) จะได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$x = \frac{a^2}{2d} - \frac{a^2}{2d} \cos^2 \beta' + a - a \cos \beta'$$

$$\frac{a^2}{2d} (\cos^2 \beta') - a (\cos \beta') + \left(x - \frac{a^2}{2d} - a \right) = 0 \quad \text{.....(จ.14)}$$

กำหนดให้

$$I = \frac{a^2}{2d} \quad \text{.....(จ.14.1)}$$

$$II = a \quad \text{.....(จ.14.2)}$$

$$III = x - \frac{a^2}{2d} - a \quad \text{.....(จ.14.3)}$$

แทนค่าสมการ (จ.14.1) (จ.14.2) และ (จ.14.3) ลงในสมการ (จ.14) จะได้ความสัมพันธ์

ดังนี้

$$I(\cos^2 \beta') + II(\cos \beta') + III = 0 \quad \dots\dots\dots(จ.15)$$

เพราะฉะนั้น

$$\cos \beta' = \frac{-II + \sqrt{II^2 - 4(I \times III)}}{2 \times I}$$

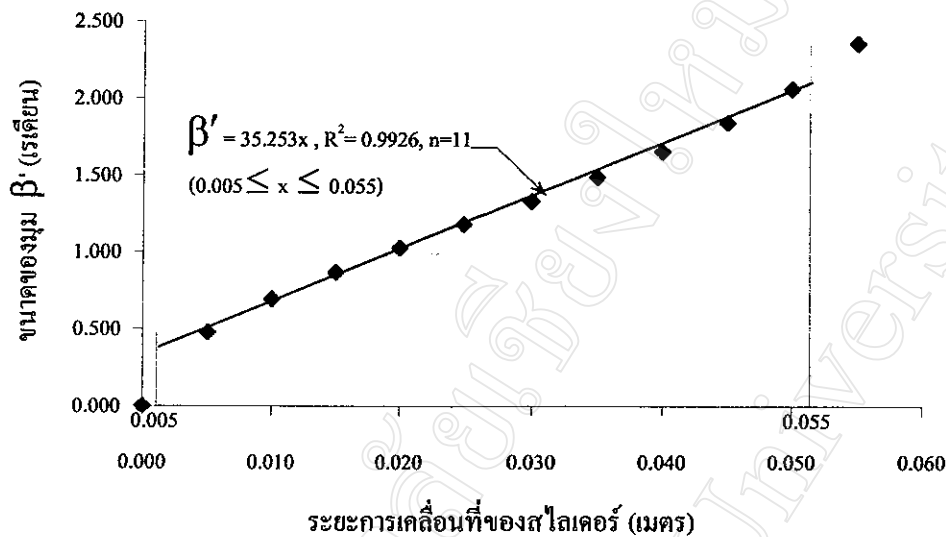
$$\beta' = \cos^{-1} \left[\frac{-II + \sqrt{II^2 - 4(I \times III)}}{2 \times I} \right] \quad \dots\dots\dots(จ.16)$$

กลไกสำหรับทดสอบ ได้ถูกออกแบบให้แรงค์และคอนเนคตติ้งรูดมีขนาดความยาว 30 มิลลิเมตร และ 60 มิลลิเมตร ตามลำดับ ดังนั้นจากสมการ (จ.16) สามารถคำนวณขนาดของมุม β' ได้ดังแสดงในตาราง จ-2

ตาราง จ-2 แสดงผลการคำนวณขนาดของมุม β' ของกลไกที่ออกแบบ

x (เมตร)	I	II	III	Cos(β')	β' (องศา)	β' (เรเดียน)
0.000	0.008	0.030	-0.038	1.000	0.000	0.000
0.005	0.008	0.030	-0.033	0.887	27.532	0.481
0.010	0.008	0.030	-0.028	0.769	39.747	0.694
0.015	0.008	0.030	-0.023	0.646	49.778	0.869
0.020	0.008	0.030	-0.018	0.517	58.895	1.028
0.025	0.008	0.030	-0.013	0.380	67.637	1.180
0.030	0.008	0.030	-0.008	0.236	76.345	1.332
0.035	0.008	0.030	-0.003	0.082	85.316	1.489
0.040	0.008	0.030	0.003	-0.085	94.884	1.656
0.045	0.008	0.030	0.008	-0.268	105.542	1.842
0.050	0.008	0.030	0.013	-0.472	118.195	2.063
0.055	0.008	0.030	0.018	-0.709	135.154	2.359

และจากผลการคำนวณ สามารถนำมาพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนที่ของสไลเดอร์และขนาดของมุม β' ได้ดังแสดงในรูปที่ ง-6



รูปที่ ง-6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนที่ของสไลเดอร์และขนาดของมุม β'

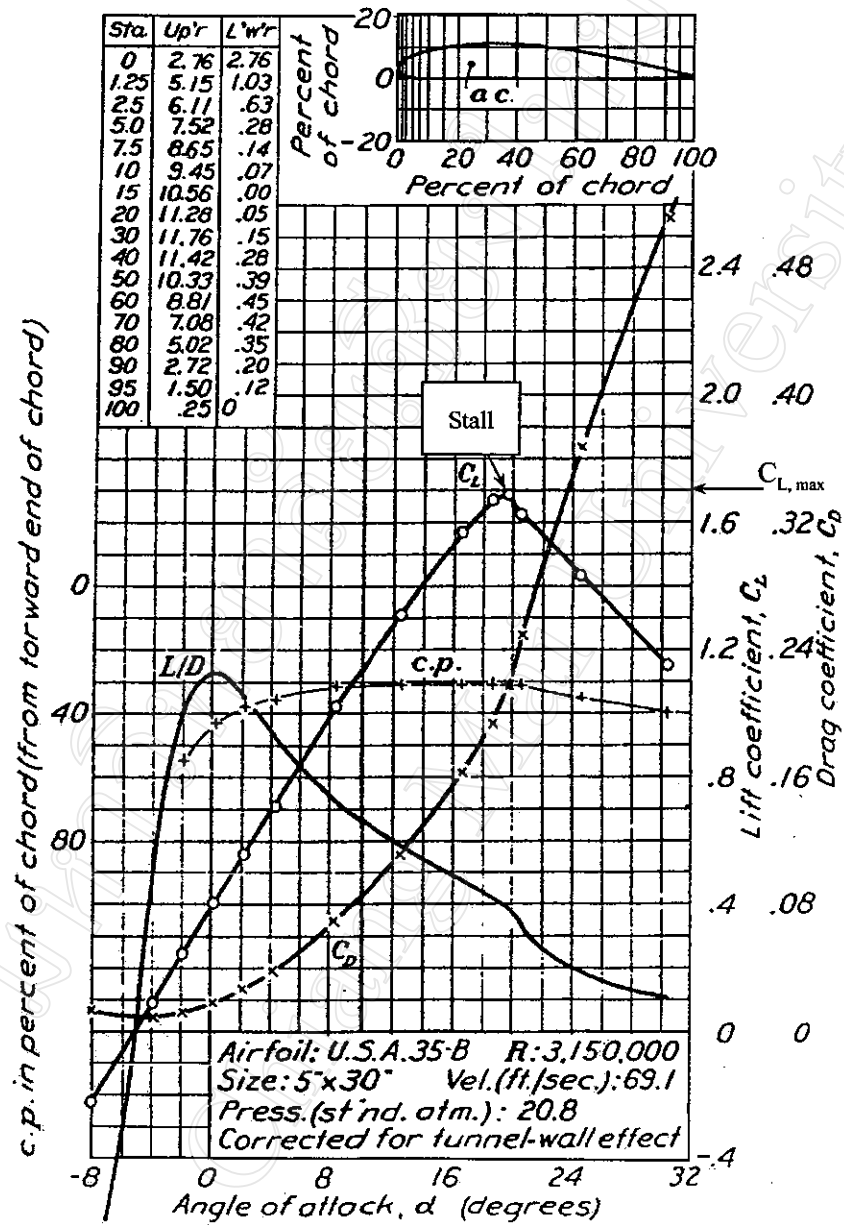
เนื่องจาก สไลเดอร์มีการเคลื่อนที่ตามแนวร่องบังคับทิศทางการเคลื่อนที่บนเพลารอเตอร์ ส่วนหน้า (ดูรูปที่ ง-5 ประกอบ) ซึ่งได้ออกแบบให้มีระยะการเคลื่อนที่ในช่วง 0.005-0.055 เมตร ดังนั้นจากรูปที่ ง-6 เมื่อใช้วิธีกำลังสองน้อยสุด หาสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนที่ของสไลเดอร์และมุม β' ในช่วงการเคลื่อนที่ดังกล่าว พบว่ามีค่า $R^2 = 0.9926$ จากจำนวนข้อมูลทั้งหมด 11 ข้อมูล ซึ่งได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$\beta' = 35.253 x \quad \dots\dots\dots(ง.17)$$

จากรูปที่ ง-5 พบว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงมุม β' และอัตราการเปลี่ยนแปลงมุมพิทช์ของใบพัดกังหันลม (β) มีค่าเท่ากัน เนื่องจากถูกเชื่อมต่อเข้ากับก้านใบพัดตัวเดียวกัน

ภาคผนวก จ

ตารางข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย



U. S. A. 35-B

รูปที่ จ-1 กราฟแสดงคุณสมบัติของแอร์ฟอยล์ชนิด U.S.A.35-B

ที่มา : Rice (1971)

ตาราง จ-1 แสดงคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของอากาศ ที่ความดันบรรยากาศ

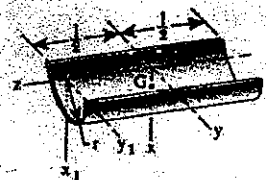
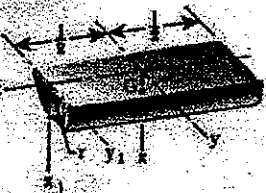
Temp. (K)	Density (kg/m ³)	Specific Heat (kJ/kg.°C)	Absolute Viscosity (kg/m.s)	Dynamic Viscosity (m ² /s)	Thermal Conductivity (W/m.K)	Diffusivity (m ² /s)	Prandtl No
T	ρ	C_p	μ $\times 10^{-5}$	ν $\times 10^6$	k	α $\times 10^4$	Pr
100	3.601	1.0266	0.6924	1.923	0.009246	0.02501	0.77
150	2.3675	1.0099	1.0283	4.343	0.013735	0.05745	0.753
200	1.7684	1.0061	1.3289	7.49	0.01809	0.10165	0.739
250	1.4128	1.0053	1.488	9.49	0.02227	0.13161	0.722
300	1.1774	1.0057	1.983	15.68	0.02624	0.2216	0.708
350	0.998	1.009	2.075	20.76	0.03003	0.2983	0.697
400	0.8826	1.014	2.286	25.9	0.03365	0.376	0.689
450	0.7833	1.0207	2.484	28.86	0.03707	0.4222	0.683
500	0.7048	1.0295	2.671	37.9	0.04038	0.5564	0.68
550	0.6423	1.0392	2.848	44.34	0.0436	0.6532	0.68
600	0.5879	1.0551	3.018	51.34	0.04659	0.7512	0.68
650	0.543	1.0635	3.177	58.51	0.04953	0.8578	0.682
700	0.503	1.0752	3.332	66.25	0.0523	0.9672	0.684
750	0.4709	1.0856	3.481	73.91	0.05509	1.0774	0.686
800	0.4405	1.0978	3.625	82.29	0.05779	1.1951	0.689
850	0.4149	1.1095	3.765	90.75	0.06028	1.3097	0.682
900	0.3925	1.1212	3.899	99.3	0.06279	1.4271	0.696
950	0.3716	1.1321	4.023	108.2	0.06525	1.551	0.699
1000	0.3524	1.1417	4.152	117.8	0.06752	1.6779	0.702
1100	0.3204	1.16	4.44	138.6	0.0732	1.969	0.704
1200	0.2947	1.179	4.69	159.1	0.0782	2.251	0.707
1300	0.2707	1.197	4.93	182.1	0.0837	2.583	0.705
1400	0.2515	1.214	5.17	205.5	0.0891	2.92	0.705

ตาราง จ-1 แสดงคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของอากาศ ที่ความดันบรรยากาศ (ต่อ)

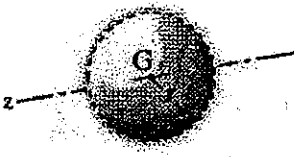
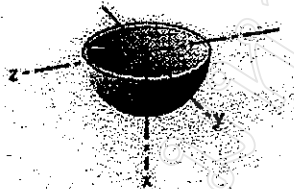
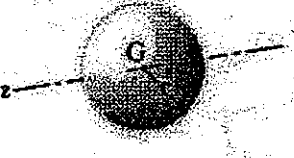
Temp. (K)	Density (kg/m ³)	Specific Heat (kJ/kg.°C)	Absolute Viscosity (kg/m.s)	Dynamic Viscosity (m ² /s)	Thermal Conductivity (W/m.K)	Diffusivity (m ² /s)	Prandtl No
T	ρ	C_p	μ $\times 10^{-5}$	ν $\times 10^6$	k	α $\times 10^4$	Pr
1500	0.2355	1.230	5.40	229.1	0.0946	3.262	0.705
1600	0.2211	1.248	5.63	254.5	0.100	3.609	0.705
1700	0.2082	1.267	5.85	280.5	0.105	3.977	0.705
1800	0.1970	1.287	6.07	308.1	0.111	4.379	0.704
1900	0.1858	1.309	6.29	338.5	0.117	4.811	0.704
2000	0.1762	1.338	6.50	369.0	0.124	5.260	0.702
2100	0.1682	1.372	6.72	399.6	0.131	5.715	0.700
2200	0.1602	1.419	6.93	432.6	0.139	6.120	0.707
2300	0.1538	1.482	7.14	464.0	0.149	6.540	0.710
2400	0.1458	1.574	7.35	504.0	0.161	7.020	0.718
2500	0.1394	1.688	7.57	543.0	0.175	7.441	0.730

ที่มา : Ozisik (1985)

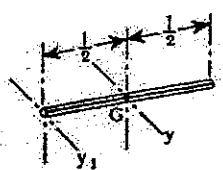
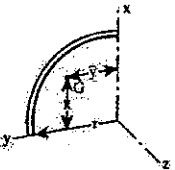
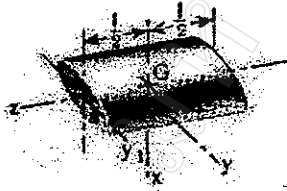
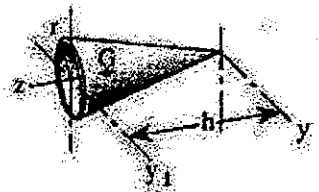
ตาราง จ-2 คุณสมบัติของวัตถุเนื้อเดียว

รูป	โมเมนต์ความเฉื่อย	โมเมนต์ความเฉื่อย
ทรงกระบอกกลมกลวง 	-	$I_{xx} = \frac{1}{2}mr^2 + \frac{1}{12}ml^2$ $I_{x_1x_1} = \frac{1}{2}mr^2 + \frac{1}{12}ml^2$ $I_{zz} = mr^2$
ครึ่งทรงกระบอกกลมกลวง  $\bar{x} = \frac{2r}{\pi}$	-	$I_{xx} = I_{yy}$ $= \frac{1}{2}mr^2 + \frac{1}{12}ml^2$ $I_{x_1x_1} = I_{y_1y_1}$ $= \frac{1}{2}mr^2 + \frac{1}{3}ml^2$ $I_{zz} = mr^2$ $\bar{I}_{zz} = \left(1 - \frac{4}{\pi^2}\right)mr^2$
ทรงกระบอกกลมตัน 	-	$I_{xx} = \frac{1}{2}mr^2 + \frac{1}{12}ml^2$ $I_{x_1x_1} = \frac{1}{2}mr^2 + \frac{1}{12}ml^2$ $I_{zz} = mr^2$
ครึ่งทรงกระบอกกลมตัน  $\bar{x} = \frac{4r}{3\pi}$	-	$I_{xx} = I_{yy}$ $= \frac{1}{4}mr^2 + \frac{1}{12}ml^2$ $I_{x_1x_1} = I_{y_1y_1}$ $= \frac{1}{4}mr^2 + \frac{1}{3}ml^2$ $I_{zz} = \frac{1}{2}mr^2$ $\bar{I}_{zz} = \left(\frac{1}{2} - \frac{16}{9\pi^2}\right)mr^2$

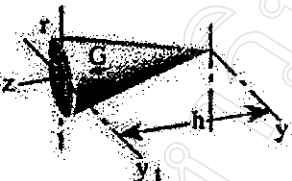
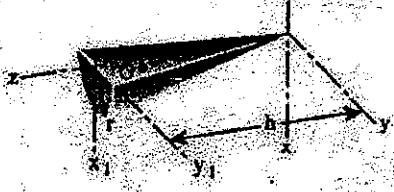
ตาราง จ-2 คุณสมบัติของวัตถุเนื้อเดียว (ต่อ)

รูป	วัตถุเนื้อเดียวกัน	โมเมนต์ความเฉื่อย
ทรงสี่เหลี่ยมหน้าขนาน ฐานสี่เหลี่ยมมุมฉาก 	-	$I_{xx} = \frac{1}{12} m(a^2 + l^2)$ $I_{zz} = \frac{1}{12} m(b^2 + l^2)$ $I_{zz} = \frac{1}{12} m(a^2 + b^2)$ $I_{yy} = \frac{1}{12} mb^2 + \frac{1}{3} ml^2$
ทรงกลมกลวง 	-	$I_{zz} = \frac{2}{3} mr^2$
ครึ่งทรงกลมกลวง 	$\bar{x} = \frac{r}{2}$	$I_{zz} = I_{yy} = I_{zz} = \frac{2}{3} mr^2$ $\bar{I}_{yy} = \bar{I}_{zz} = \frac{5}{12} mr^2$
ทรงกลมตัน 	-	$I_{zz} = \frac{2}{5} mr^2$

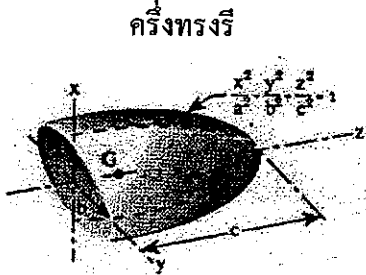
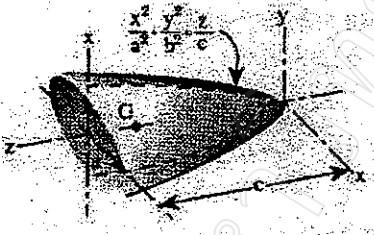
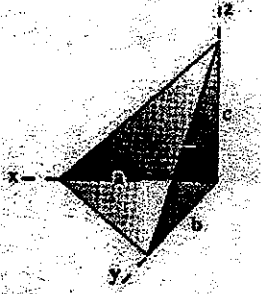
ตาราง จ-2 คุณสมบัติของวัตถุเนื้อเดียว (ต่อ)

วัตถุ	จุดศูนย์กลางมวล	โมเมนต์ความเฉื่อย
ครึ่งทรงกลมตัน 	$\bar{x} = \frac{3r}{8}$	$I_{zz} = I_{yy} = I_{zz} = \frac{2}{5}mr^2$ $\bar{I}_{yy} = \bar{I}_{zz} = \frac{83}{320}mr^2$
แท่งเรียวสามเหลี่ยม 		$I_{yy} = \frac{1}{12}ml^2$ $I_{y_1y_1} = \frac{1}{3}ml^2$
เส้นโค้งหนึ่งของแท่งโค้งวงกลม 	$\bar{x} = \bar{y} = \frac{2r}{\pi}$	$I_{xx} = I_{yy} = \frac{1}{2}mr^2$ $I_{zz} = mr^2$
ทรงกระบอกฐานวงรี 		$I_{xx} = \frac{1}{4}ma^2 + \frac{1}{12}ml^2$ $I_{yy} = \frac{1}{4}mb^2 + \frac{1}{12}ml^2$ $I_{zz} = \frac{1}{4}m(a^2 + b^2)$ $I_{y_1y_1} = \frac{1}{4}mb^2 + \frac{1}{3}ml^2$
ทรงกรวยกลวง 	$\bar{z} = \frac{2h}{3}$	$I_{yy} = \frac{1}{4}mr^2 + \frac{1}{2}mh^2$ $I_{y_1y_1} = \frac{1}{4}mr^2 + \frac{1}{6}mh^2$ $I_{zz} = \frac{1}{2}mr^2$ $\bar{I}_{yy} = \frac{1}{4}mr^2 + \frac{1}{18}mh^2$

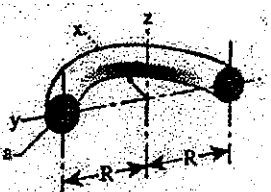
ตาราง จ-2 คุณสมบัติของวัตถุเนื้อเดียว (ต่อ)

วัตถุ	จุดศูนย์กลางมวล (cm)	โมเมนต์เฉื่อย (cm ²)
ครึ่งทรงกรวยกลวง 	$\bar{x} = \frac{4r}{3\pi}$ $\bar{z} = \frac{2h}{3}$	$I_{xx} = I_{yy}$ $= \frac{1}{4}mr^2 + \frac{1}{2}mh^2$ $I_{x,x_1} = I_{y,y_1}$ $= \frac{1}{4}mr^2 + \frac{1}{6}mh^2$ $I_{zz} = \frac{1}{2}mr^2$ $\bar{I}_{zz} = \left(\frac{1}{2} - \frac{16}{9\pi^2} \right) mr^2$
ทรงกรวยตันฐานวงกลม 	$\bar{z} = \frac{3h}{4}$	$I_{yy} = \frac{3}{20}mr^2 + \frac{3}{5}mh^2$ $I_{y,y_1} = \frac{3}{20}mr^2 + \frac{1}{10}mh^2$ $I_{zz} = \frac{3}{10}mr^2$ $\bar{I}_{zz} = \frac{3}{20}mr^2 + \frac{3}{80}mh^2$
ครึ่งทรงกรวยตันฐานวงกลม 	$\bar{x} = \frac{r}{\pi}$ $\bar{z} = \frac{3h}{4}$	$I_{xx} = I_{yy}$ $= \frac{3}{20}mr^2 + \frac{3}{5}mh^2$ $I_{x,x_1} = I_{y,y_1}$ $= \frac{3}{20}mr^2 + \frac{1}{10}mh^2$ $I_{zz} = \frac{3}{10}mr^2$ $I_{zz} = \left(\frac{3}{10} - \frac{1}{\pi^2} \right) mr^2$

ตาราง จ-2 คุณสมบัติของวัตถุเนื้อเดียว (ต่อ)

รูป	ศูนย์กลางมวล	โมเมนต์เฉื่อยมวล
ครึ่งทรงรี 	$\bar{z} = \frac{3c}{8}$	$I_{xx} = \frac{1}{5}m(b^2 + c^2)$ $I_{yy} = \frac{1}{5}m(a^2 + c^2)$ $I_{zz} = \frac{1}{5}m(a^2 + b^2)$ $I_{xx} = \frac{1}{5}m\left(b^2 + \frac{19}{64}c^2\right)$ $I_{yy} = \frac{1}{5}m\left(a^2 + \frac{19}{64}c^2\right)$
พาราโบลอยด์เชิงวงรี 	$\bar{z} = \frac{2c}{3}$	$I_{xx} = \frac{1}{6}mb^2 + \frac{1}{2}mc^2$ $I_{yy} = \frac{1}{6}ma^2 + \frac{1}{2}mc^2$ $I_{zz} = \frac{1}{6}m(a^2 + b^2)$ $I_{xx} = \frac{1}{6}m\left(b^2 + \frac{1}{3}c^2\right)$ $I_{yy} = \frac{1}{6}m\left(a^2 + \frac{1}{3}c^2\right)$
ทรงกรวยสามเหลี่ยมแกนตั้งฉาก 	$\bar{x} = \frac{a}{4}$ $\bar{y} = \frac{b}{4}$ $\bar{z} = \frac{c}{4}$	$I_{xx} = \frac{1}{10}m(b^2 + c^2)$ $I_{yy} = \frac{1}{10}m(a^2 + c^2)$ $I_{zz} = \frac{1}{10}m(a^2 + b^2)$ $I_{xx} = \frac{3}{80}m(b^2 + c^2)$ $I_{yy} = \frac{3}{80}m(a^2 + c^2)$ $I_{zz} = \frac{3}{80}m(a^2 + b^2)$

ตาราง จ-2 คุณสมบัติของวัตถุเนื้อเคียว (ต่อ)

รูป	ระยะศูนย์กลางมวล	โมเมนต์เฉื่อยมวล
ครึ่งทรงห่วงยาง 	$\bar{x} = \frac{a^2 + 4R^2}{2\pi R}$	$I_{xx} = I_{yy} = \frac{1}{2}mR^2 + \frac{5}{8}ma^2$ $I_{zz} = mR^2 + \frac{3}{4}ma^2$

(m = มวลวัตถุ)

ที่มา : วัชรินทร์ วิทย์กุล (2536)

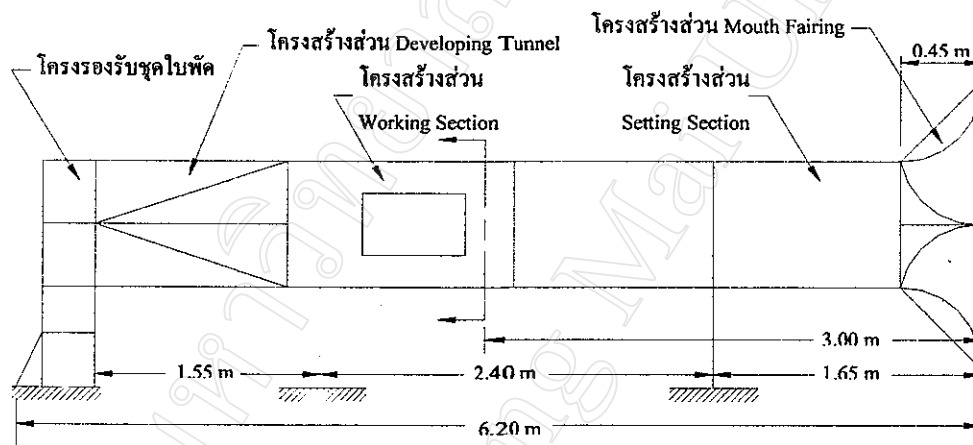
ภาคผนวก ก

การทดสอบความเร็วลมภายในอุโมงค์ลมสำหรับใช้ทดสอบการทำงานของกลไกที่ออกแบบ

การทดสอบความเร็วลมภายในอุโมงค์ลมสำหรับใช้ทดสอบการทำงานของกลไกที่ออกแบบ

อุโมงค์ลมเป็นอุปกรณ์สำหรับทำให้เกิดกระแสลม เพื่อใช้ทดสอบการทำงานของกลไก ปรับมุมพิทช์ใบพัดของกังหันลมที่ออกแบบ ซึ่งอุโมงค์ลมที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้เป็นอุโมงค์ลมแบบเปิดชนิดความเร็วต่ำ มีขนาดหน้าตัดของห้องทดสอบ 0.9×1.2 เมตร คงที่ตลอด โดยใช้มอเตอร์ 3 เฟส 3.7 กิโลวัตต์ เป็นแหล่งต้นกำลังที่ใช้ขับเคลื่อนใบพัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เมตร ซึ่งประกอบด้วยใบพัดแบบแบนทั้งหมด 6 ใบพัด ความเร็วของกระแสลมที่ใช้ในการทดสอบสามารถเปลี่ยนแปลงได้ด้วยการปรับความถี่ที่เครื่องปรับรอบมอเตอร์แบบเปลี่ยนความถี่ เพื่อช่วยในการเปลี่ยนรอบการหมุนของมอเตอร์ซึ่งใช้ขับเคลื่อนใบพัดอุโมงค์ลม ผลของความเร็วลมภายในอุโมงค์ลมจากการเปลี่ยนความถี่ในช่วง 5 ถึง 30 เฮิรตซ์ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

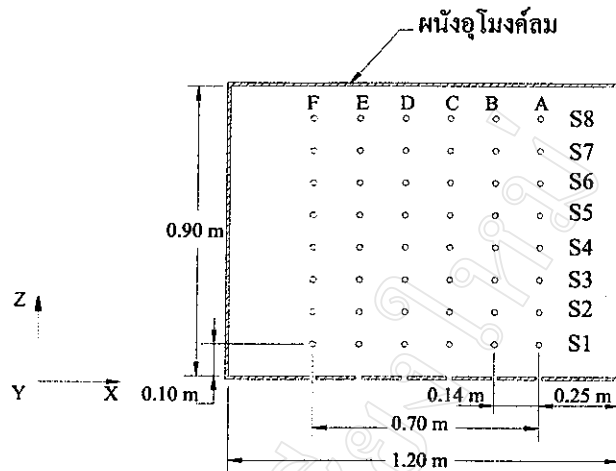
ฉ.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับความถี่ของเครื่องปรับรอบมอเตอร์แบบเปลี่ยนความถี่



รูปที่ ฉ-1 แสดงลักษณะทั่วไปและตำแหน่งหน้าตัด A-A ของอุโมงค์ลม

ได้ทำการทดสอบหาความเร็วลมบนตำแหน่งหน้าตัด A-A ซึ่งเป็นตำแหน่งที่อยู่ระหว่างปากทางเข้าและชุดทดสอบกังหันลม ดังแสดงในรูปที่ ฉ-1 โดยมีระยะก่อนหน้าชุดทดสอบประมาณ 0.45 เมตร และมีระยะห่างจากปากทางเข้าของอุโมงค์ลมประมาณ 3 เมตร กำหนดให้ V คือ ความเร็วลมเฉลี่ยที่พัดเข้าปะทะกังหันลมตลอดภาคตัด A-A โดยมีลำดับขั้นตอนการทดสอบดังต่อไปนี้

ฉ.1.1 ออกแบบภาคตัด A-A สำหรับวัดความเร็วลม ขณะที่กระแสลมมีทิศทางพุ่งเข้าระนาบ X-Y ดังแสดงในรูปที่ ฉ-2 โดยแบ่งหน้าตัดออกเป็นช่องเล็กๆ แต่ละช่องมีพื้นที่ 0.10×0.14 เมตร ซึ่งจะทำให้มีตำแหน่งวัดความเร็วของกระแสลมทั้งหมด 48 ตำแหน่ง



รูปที่ จ-2 แสดงตำแหน่งสำหรับวัดความเร็วลมบนหน้าตัด A-A

จ.1.2 ตรวจสอบการทำงานของตัวควบคุมเครื่องปรับรอบมอเตอร์และเครื่องวัดความเร็วลมแบบลวดร้อน และสอดหัววัดความเร็วลมเข้าที่ตำแหน่ง A โดยให้ตำแหน่งหัววัดอยู่ที่ตำแหน่ง AS1 ดังแสดงในรูปที่ จ-2

จ.1.3 ตั้งความถี่เริ่มต้นให้กับเครื่องปรับรอบไว้ที่ 5 เฮิรท์ และทำการเปิดเครื่องเพื่อให้มอเตอร์ทำงาน

จ.1.4 บันทึกค่าความเร็วลมจากเครื่องวัดความเร็วลมแบบลวดร้อนเมื่อค่าความเร็วลมเริ่มนิ่ง โดยตั้งให้เครื่องวัดทำการอ่านและบันทึกค่าลงในคอมพิวเตอร์ทุกๆ 5 วินาที เป็นจำนวน 3 ค่า

จ.1.5 เปลี่ยนตำแหน่งของหัววัดใหม่ โดยเริ่มทำการวัดตามแนวแกน A ที่ตำแหน่ง AS2 เรื่อยไปจนกระทั่งถึงตำแหน่ง AS8 จากนั้นจึงเลื่อนตำแหน่งไปวัดตามแนวแกน B ซึ่งทำการวัดเช่นเดียวกับแนวแกน A จนกระทั่งสิ้นสุดการวัดที่ตำแหน่งสุดท้าย คือ ตำแหน่ง FS8 โดยทำการบันทึกค่าความเร็วลมในแต่ละตำแหน่งเช่นเดียวกับที่ตำแหน่ง AS1

จ.1.6 เปลี่ยนค่าความถี่ให้กับเครื่องปรับรอบใหม่ โดยเพิ่มเป็น 7 10 13 15 17 20 23 25 27 และ 30 เฮิรท์ ตามลำดับและทำการทดสอบเช่นเดียวกับที่ความถี่ 5 เฮิรท์

จ.1.7 รวบรวมข้อมูลที่ได้จากการทดสอบเพื่อทำการวิเคราะห์ โดยเริ่มจากการหาค่าเฉลี่ยของความเร็วลมจากการทำซ้ำตั้งแต่ตำแหน่ง AS1 ถึง FS8 ของทุกๆ ค่าความถี่

ผลของความเร็วลมที่ได้จากการทดสอบที่ตำแหน่ง AS1 ถึง FS8 แสดงในรูปที่ จ-3 และทำการวิเคราะห์ข้อมูลในเชิงสถิติด้วยวิธีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, STDEV) และสัมประสิทธิ์ความแปรผัน (Coefficient of Variation, COV) หรือสัดส่วนระหว่างส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานกับค่าเฉลี่ย

1.45	1.46	1.48	1.45	1.48	1.45	S8
1.47	1.46	1.48	1.40	1.46	1.44	S7
1.48	1.46	1.47	1.45	1.44	1.47	S6
1.46	1.46	1.48	1.46	1.42	1.46	S5
1.43	1.45	1.45	1.49	1.46	1.45	S4
1.45	1.46	1.46	1.43	1.44	1.45	S3
1.46	1.48	1.45	1.45	1.51	1.48	S2
1.44	1.44	1.40	1.40	1.43	1.41	S1
F	E	D	C	B	A	

2.03	2.04	2.05	2.03	2.07	1.97	S8
2.06	2.04	2.06	2.04	2.07	2.02	S7
2.04	2.04	2.07	2.04	2.07	2.06	S6
2.09	2.05	2.08	2.10	2.10	2.05	S5
2.10	2.07	2.10	2.05	2.11	2.09	S4
2.12	2.07	2.08	2.06	2.14	2.06	S3
2.09	2.07	2.04	2.01	2.07	2.03	S2
2.08	2.03	1.98	1.97	2.02	2.03	S1
F	E	D	C	B	A	

ความถี่ 5 Hz, $V = 1.45$ m/s

STDEV = 0.02, COV = 1.56

ความถี่ 7 Hz, $V = 2.06$ m/s

STDEV = 0.04, COV = 1.79

3.03	3.01	3.00	2.98	2.95	3.01	S8
3.00	3.05	2.96	3.00	3.04	3.01	S7
3.01	3.03	2.95	3.02	3.00	3.01	S6
3.01	3.04	3.18	3.03	2.94	3.07	S5
3.03	3.03	3.07	3.00	2.93	3.03	S4
3.03	2.99	3.02	2.95	2.92	2.93	S3
2.96	2.98	2.95	2.85	2.93	2.91	S2
2.90	2.91	2.77	2.79	2.78	2.88	S1
F	E	D	C	B	A	

4.01	3.95	3.93	3.89	3.89	3.84	S8
3.99	3.94	3.91	3.90	3.89	3.87	S7
3.88	3.96	3.99	4.00	3.96	3.91	S6
3.86	4.00	3.91	3.78	3.97	3.92	S5
3.84	3.88	3.88	3.87	3.91	3.86	S4
3.79	3.87	3.83	3.74	3.98	3.89	S3
3.81	3.84	3.79	3.75	3.82	3.76	S2
3.79	3.81	3.65	3.62	3.76	3.81	S1
F	E	D	C	B	A	

ความถี่ 10 Hz, $V = 2.98$ m/s

STDEV = 0.08, COV = 2.56

ความถี่ 13 Hz, $V = 3.87$ m/s

STDEV = 0.09, COV = 2.27

4.60	4.54	4.48	4.60	4.50	4.56	S8
4.61	4.57	4.50	4.74	4.56	4.54	S7
4.56	4.58	4.61	4.61	4.44	4.48	S6
4.46	4.40	4.52	4.44	4.58	4.45	S5
4.47	4.41	4.46	4.44	4.45	4.51	S4
4.46	4.59	4.45	4.29	4.30	4.33	S3
4.46	4.44	4.42	4.29	4.26	4.34	S2
4.53	4.40	4.31	4.14	4.28	4.40	S1
F	E	D	C	B	A	

5.05	4.99	4.87	4.99	4.97	5.02	S8
5.05	5.17	4.96	5.13	5.12	5.10	S7
5.00	5.20	4.99	4.91	5.13	5.15	S6
4.94	5.00	5.03	4.99	4.92	4.95	S5
4.95	5.05	4.99	4.98	5.03	4.91	S4
4.96	5.03	5.02	4.97	4.83	4.87	S3
5.23	4.96	4.99	4.95	4.97	4.79	S2
4.87	4.89	4.76	4.87	4.90	4.77	S1
F	E	D	C	B	A	

ความถี่ 15 Hz, $V = 4.47$ m/s

STDEV = 0.12, COV = 2.59

ความถี่ 17 Hz, $V = 4.98$ m/s

STDEV = 0.10, COV = 2.09

รูปที่ ๓-3 แสดงผลของความถี่ลมที่ตำแหน่ง AS1 ถึง FS8 บนหน้าตัด A-A

6.05	5.90	5.77	5.70	5.72	5.75	S8
5.90	5.82	5.80	5.72	6.05	5.75	S7
5.72	5.83	5.82	5.72	5.83	5.97	S6
5.83	5.80	5.78	5.65	5.87	6.05	S5
5.83	5.73	5.80	5.88	5.93	5.78	S4
6.15	5.80	5.75	5.90	5.62	6.05	S3
5.82	5.77	5.72	5.80	5.47	5.77	S2
5.80	5.78	5.60	5.60	5.65	5.83	S1
F	E	D	C	B	A	

6.60	6.72	6.30	6.45	6.37	6.52	S8
6.77	6.60	6.70	6.57	6.38	6.68	S7
6.80	6.67	6.80	6.50	6.58	6.68	S6
6.68	6.60	6.98	6.63	6.63	6.68	S5
6.67	6.63	7.05	6.63	6.63	6.75	S4
6.68	6.73	6.77	6.55	6.75	6.60	S3
7.10	7.08	6.77	6.43	7.10	6.50	S2
6.65	6.77	6.38	6.27	6.95	6.62	S1
F	E	D	C	B	A	

ความถี่ 20 Hz, $V = 5.80$ m/s

STDEV = 0.13, COV = 2.24

ความถี่ 23 Hz, $V = 6.67$ m/s

STDEV = 0.19, COV = 2.90

7.10	7.15	7.10	7.07	7.35	7.08	S8
7.25	7.22	7.18	7.07	7.20	7.17	S7
7.03	7.25	7.17	7.15	7.13	7.15	S6
7.25	7.30	7.27	7.32	7.15	7.13	S5
7.35	7.22	7.23	7.30	7.17	7.15	S4
7.40	7.10	7.23	7.15	7.03	7.12	S3
7.23	7.23	7.33	6.91	7.11	7.10	S2
7.08	7.30	6.95	6.72	7.45	7.43	S1
F	E	D	C	B	A	

7.77	7.98	7.52	7.52	7.48	7.78	S8
7.68	7.73	7.60	7.62	7.53	7.90	S7
7.72	7.85	7.70	7.63	7.54	7.85	S6
7.81	7.70	7.85	7.70	7.73	7.88	S5
7.85	8.03	7.95	7.90	7.85	7.92	S4
7.77	7.78	8.05	7.85	7.70	7.77	S3
8.00	8.33	7.90	7.40	7.68	7.78	S2
7.62	7.87	7.67	7.23	8.03	7.67	S1
F	E	D	C	B	A	

ความถี่ 25 Hz, $V = 7.18$ m/s

STDEV = 0.13, COV = 1.86

ความถี่ 27 Hz, $V = 7.76$ m/s

STDEV = 0.19, COV = 2.45

8.48	8.38	8.37	8.85	8.57	8.42	S8
8.65	8.53	8.48	8.98	8.50	8.63	S7
8.52	8.55	8.70	8.43	8.52	8.55	S6
8.43	8.57	8.53	8.55	8.65	8.62	S5
8.57	8.55	8.53	8.65	8.52	8.48	S4
8.58	8.55	8.53	8.50	8.37	8.55	S3
8.57	8.55	8.60	8.32	8.57	8.32	S2
8.67	8.43	8.08	8.03	8.28	8.28	S1
F	E	D	C	B	A	

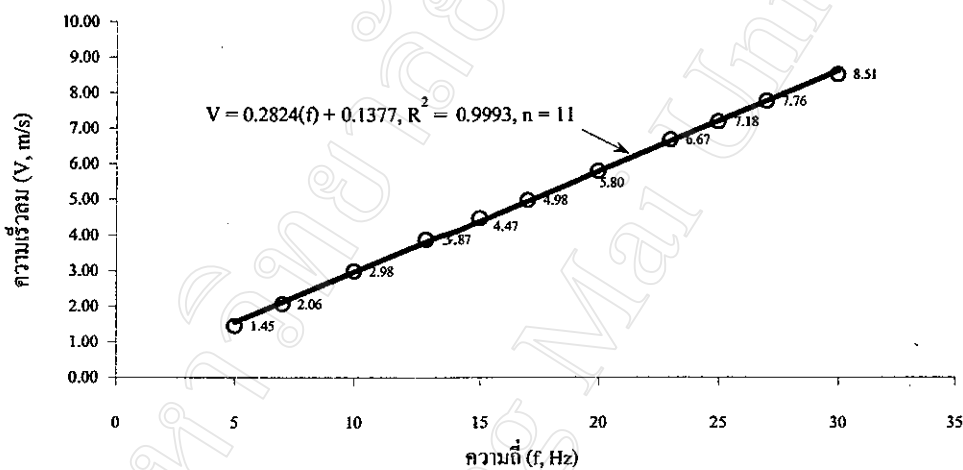
ความถี่ 30 Hz, $V = 8.51$ m/s

STDEV = 0.16, COV = 1.88

รูปที่ ๓-3 แสดงผลของความถี่ลมที่ ตำแหน่ง AS1 ถึง FS8 บนหน้าตัด A-A (ต่อ)

จากรูปที่ ฌ-3 เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมเฉลี่ย (V) กับความถี่ของเครื่องปรับรอบมอเตอร์แบบเปลี่ยนความถี่ ซึ่งในที่นี้ความเร็วลมเฉลี่ยหมายถึง ความเร็วลมเฉลี่ยตลอดหน้าตัด A-A หรือค่าเฉลี่ยของความเร็วลมที่ตำแหน่ง AS1 ถึง FS8 ในแต่ละค่าความถี่ที่ทำการทดสอบ จะได้ความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ ฌ-4

จากรูปที่ ฌ-4 พบว่า ความเร็วลมเฉลี่ยที่เกิดขึ้นบนหน้าตัด A-A จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วง 0 ถึง 9 เมตรต่อวินาที โดยแปรผันเชิงเส้นตรงในช่วงความถี่ 5 ถึง 30 เฮิรท์ จากระเบียบวิธีการถดถอยแบบพหุนาม (Polynomial Regression) สามารถหาค่าความชันได้ 0.2824 และมีค่ารากกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Method) $R^2 = 0.9993$ จากจำนวนข้อมูลที่น่ามาสร้างสมการทั้งหมด 11 ค่า



รูปที่ ฌ-4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมเฉลี่ยและความถี่ที่ป้อนให้เครื่องปรับรอบมอเตอร์

ฌ.2 การกระจายของกระแสลมตลอดพื้นที่หน้าตัด A-A

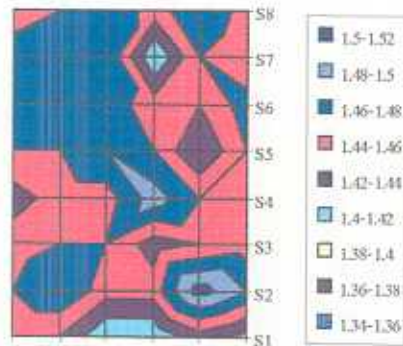
การกระจายของกระแสลมที่เกิดขึ้นบนหน้าตัด A-A ภายในอุโมงค์ลมที่ใช้ทดสอบ ในช่วงความเร็วลม 1 ถึง 9 เมตรต่อวินาที จากการวิเคราะห์ทางสถิติดังแสดงในตาราง ฌ-1 พบว่าการกระจายของความเร็วลมที่เกิดขึ้นตลอดหน้าตัด A-A จะมีค่าไม่สูงมากนักเนื่องจากค่า STDEV ของแต่ละค่าความเร็วลมจะมีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับความเร็วลมเฉลี่ย สำหรับผลของการกระจายเมื่อปรับขนาดความเร็วให้เปลี่ยนไปพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันโดยสามารถสังเกตได้จากค่า COV ที่มีค่าสม่ำเสมอเมื่อความเร็วลมเปลี่ยนไป

ตารางจ-1 แสดงการกระจายของกระแสลมจากค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปร COV และ STDEV

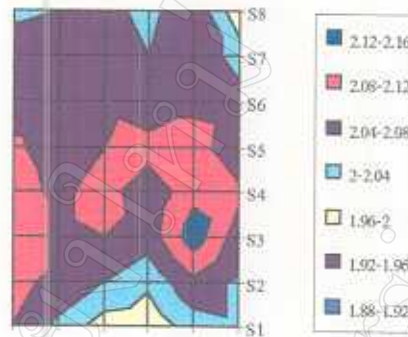
V (m/s)	1.45	2.06	2.98	3.87	4.47	4.98	5.80	6.67	7.18	7.76	8.51	ค่าเฉลี่ย
STDEV	0.02	0.04	0.08	0.09	0.12	0.10	0.13	0.19	0.13	0.19	0.16	0.11
% COV	1.56	1.73	2.56	2.27	2.59	2.09	2.24	2.90	1.86	2.45	1.88	2.19

รูปที่ จ-5 เป็นรูปแสดงการกระจายของความเร็วลมตลอดหน้าตัด A-A โดยใช้ผลต่างของสี่ ซึ่งในแต่ละสี่จะบอกให้ทราบถึงช่วงความคลาดเคลื่อนจากความเร็วลมเฉลี่ย

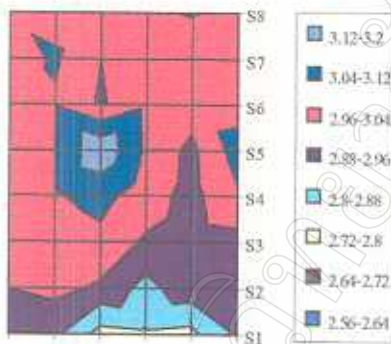
จากรูปที่ จ-5 สามารถบอกได้ว่าเมื่อความเร็วรอบการหมุนของชุดใบพัดอุโมงค์ลมเพิ่มขึ้นจะทำให้กระแสลมที่ไหลผ่านบริเวณด้านบนและด้านล่างใกล้ผนังอุโมงค์ลม มีความเร็วลมที่คลาดเคลื่อนจากความเร็วลมเฉลี่ยค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับบริเวณอื่นๆ บนหน้าตัด A-A เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนจะมีค่าสูงสุดไม่เกิน $\pm 10\%$ ตำแหน่งที่ใช้วัดความเร็วลมในขณะที่ทำการทดสอบเพื่อใช้อ้างอิงเป็นความความเร็วลม V ในการทดสอบใดๆ คือ ตำแหน่ง ES3 เนื่องจากความเร็วลมที่เกิดขึ้นมีค่าใกล้เคียงกับค่าความเร็วลมเฉลี่ย โดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 5\%$ และระยะของตำแหน่งที่ต้องการวัดไม่สูงหรือต่ำจนเกินไป คือ มีระยะสูงจากผนังอุโมงค์ลมด้านล่าง 0.3 เมตร นอกจากนั้นแนวของแท่งซึ่งติดตั้งวัดความเร็วลม จะไม่ขวางทางกระแสลมเนื่องจากอยู่เอียงมาทางด้านซ้ายของชุดทดสอบเมื่อมองจากปากทางเข้าของอุโมงค์ลม



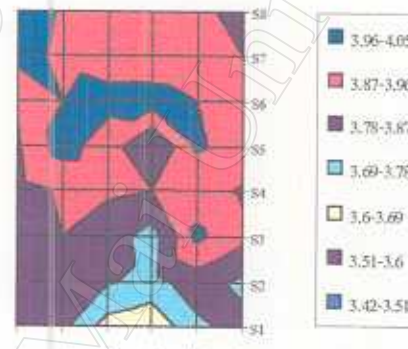
ความถี่ 5 Hz, $V = 1.45$ m/s



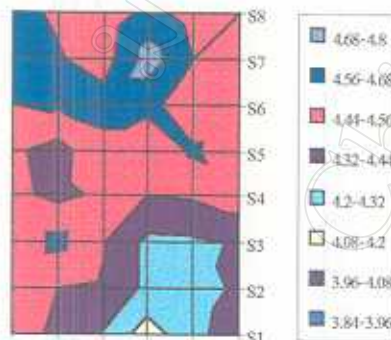
ความถี่ 7 Hz, $V = 2.06$ m/s



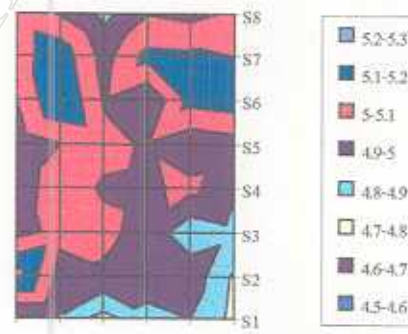
ความถี่ 10 Hz, $V = 2.98$ m/s



ความถี่ 13 Hz, $V = 3.87$ m/s

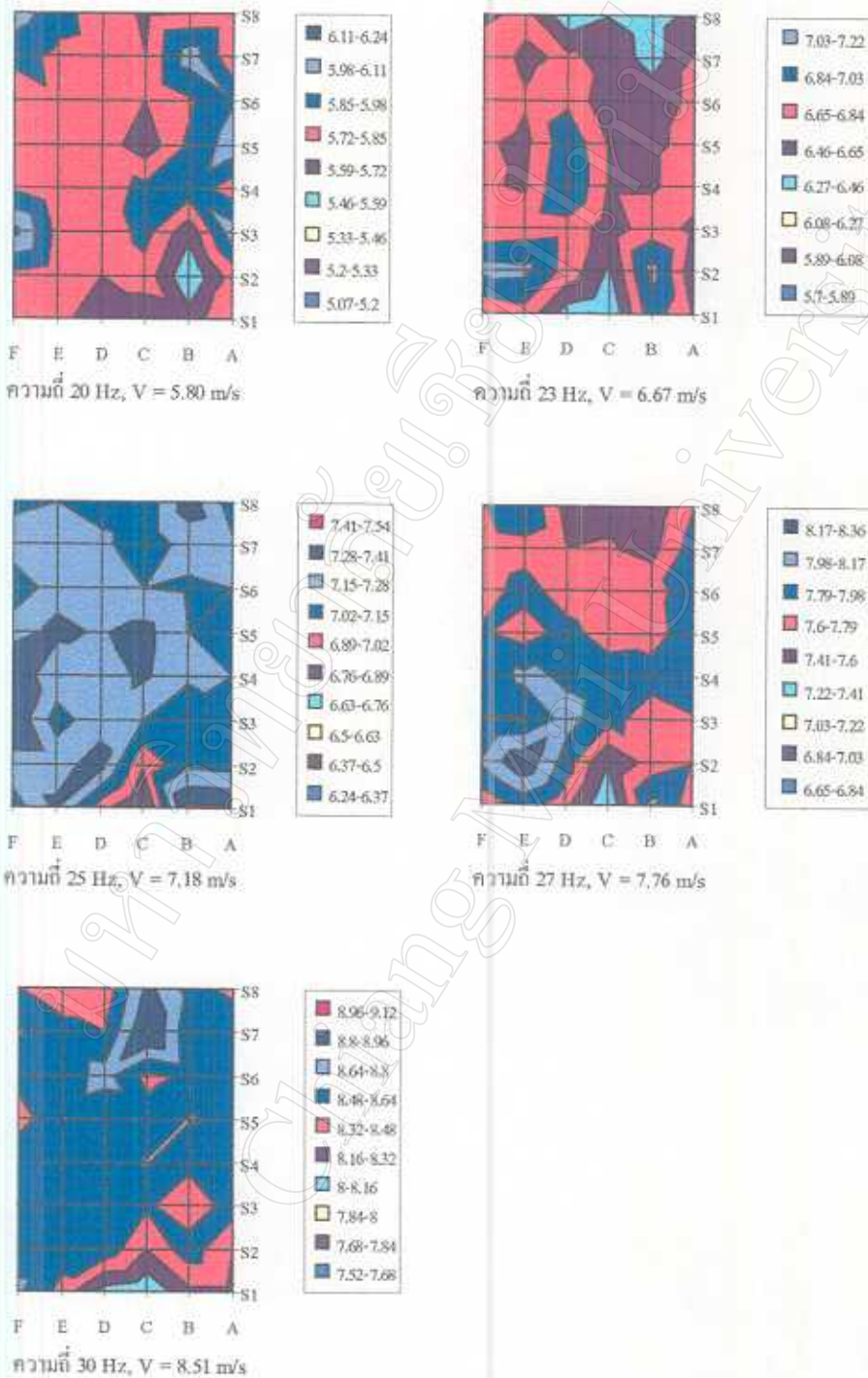


ความถี่ 15 Hz, $V = 4.47$ m/s



ความถี่ 17 Hz, $V = 4.98$ m/s

รูปที่ ๓-5 แสดงพื้นที่การกระจายความเร็วลมบนหน้าตัด A-A ภายในอุโมงค์ลม



รูปที่ ๕-5 แสดงพื้นที่การกระจายความเร็วลมบนหน้าตัด A-A ภายในอุโมงค์ลม (ต่อ)

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ

นายมนตรี เต่าไรสง

วัน เดือน ปี สถานที่เกิด

8 ธันวาคม 2517 จังหวัดสกลนคร

ประวัติการศึกษา

สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษา โรงเรียนบ้านพังโคน (จำปา
สามัคคีวิทยา) อ. พังโคน จ. สกลนคร ปีการศึกษา 2529

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนสกลราชวิทยานุกูล

อ. เมือง จ. สกลนคร ปีการศึกษา 2535

สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขา

วิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยขอนแก่น อ. เมือง จ.

ขอนแก่น ปีการศึกษา 2539