

第 2 章：PIC 单片机存储器

井艳军

沈阳工业大学电气工程学院

程序存储器构架

数据存储器构架

失电保护数据存储器构架

存储器是单片机中一个非常重要的部件，专门用于存放指令、数据和运算结果。分析 F877 单片机存储器构架，可以从其配置的三大模块着手进行，它们是：

- $8k \times 14$ 位 FLASH 程序存储器
- 512×8 位数据存储器 RAM
- 256×8 位可掉电保护数据的 EEPROM 存储器模块。

存储器从使用功能上来分，可分为随机存储器 RAM（ Random Access Memory ）和只读存储器 ROM（ Read Only Memory ）两类。

程序存储器构架

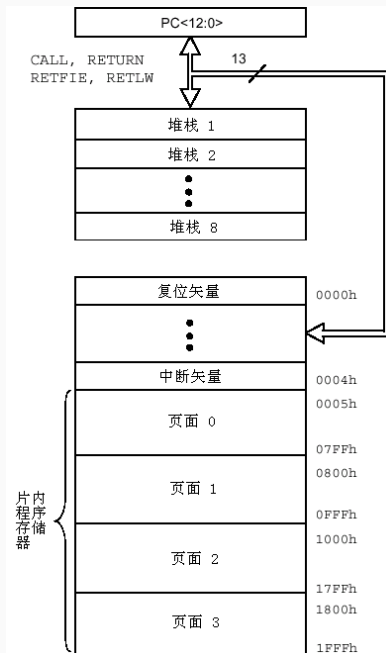
F877 程序存储器具有 13 位宽的程序计数器 PC。PC 指针所产生的 13 位地址最大可寻址的程序存储器空间为 8K，相应的地址编码范围为 0000H ~ 1FFFH。

F877 归属于中档单片机，其指令字节宽度为 14 位，内部构架配置了 8k x 14 位的闪烁 FLASH 程序存储器。

程序存储器构架

一般将整个程序存储器以 2KB 为单位进行分页 (PAGE), 如图 2-1 所示 F877 单片机, 8KB 程序存储器共分作 4 页, 分别称为“页 0”、“页 1”、“页 2”和“页 3”。程序计数器高 8 位 PCLATH 的 Bit4-Bit3 位构成程序存储器分页的选择位, 对应的地址空间:

Bit4	Bit3	页域	程序存储器地址
0	0	页 0	0000H~07FFH
0	1	页 1	0800H~0FFFH
1	0	页 2	1000H~17FFH
1	1	页 3	1800H~1FFFH



程序存储器中有 2 个单元地址比较特殊，除了具备同其他单元地址一样的普通用途外，还具有专门用途：

0000H：用作单片机系统的复位矢量；

0004H：用作系统特殊模块的中断矢量。

堆栈(Stack) 是计算机技术中一种十分重要的数据结构，堆栈从物理意义上也是一种存储器件。如果对数据结构不了解的话，可以把堆栈的看作一维数组，只是堆栈对数据的操作和一维数组是不一样的，有特殊的操作规则。

对一维数组进行元素的插入、删除操作时，可以在任何位置（即下标）进行；但是对于堆栈来说，所有的插入、删除等操作都只能固定在某一端进行的，我们把这一端称为“栈顶（top）”，而另一端则称为“栈底（bottom）”。向栈中插入数据的操作称为“压入或进栈（Push）”，从栈中删除数据称为“弹出或出栈（Pop）”。

堆栈中数据的操作法则是：“**后进先出**（Last In First Out, 简称 LIFO）”的原则进行的，即最后压入的元素最先弹出。

PIC16F877 的堆栈具有 8 个单元，每个单元 13 位，因此堆栈具有 8×13 位的空间，不占用程序存储器和数据存储器空间。

16F877 单片机的堆栈没有进栈 (push) 和出栈 (pop) 之类的操作指令，即它的进栈和出栈操作是由单片机系统自动控制的。当执行程序员使用子程序调用指令 CALL 或者 CPU 响应中断时，单片机会把当前 PC 的值自动压入堆栈；当执行返回指令 RETURN、RETFIE 或 RETLW 时，会从堆栈中自动弹出并恢复 PC 的原值。

数据存储器构架

F877 用于存储数据的 RAM 单元比一般单片机 RAM 的功能要强得多，它除了具备普通 RAM 的功能之外，每一个单元都能实现移位、置位、复位和位测试等通常由寄存器才能完成的功能操作。

数据存储器分区

RAM 数据存储器和 FLASH 程序存储器一样在空间构架上，进行类似方式进行分区。按横向排列，分为 4 个“体”（BANK），从左到右分别记为“体 0”、“体 1”、“体 2”和“体 3”，每个体为 128 个 8 位宽的存储器单元。位 RP1 和 RP0（状态寄存器 STATUS 的 Bit6、Bit5）构成数据存储器分体的选择位。

RP1	RP0	体域	数据存储器地址
0	0	体 0	000H~07FH
0	1	体 1	080H~0FFH
1	0	体 2	100H~17FH
1	1	体 3	180H~1FFH

名称	地址	名称	地址	名称	地址	名称	地址
间接寻址 ⁽¹⁾	00H	间接寻址 ⁽¹⁾	80H	间接寻址 ⁽¹⁾	100H	间接寻址 ⁽¹⁾	180H
TMR0	01H	OPTION_REG	81H	TMR0	101H	OPTION_REG	181H
PCL	02H	PCL	82H	PCL	102H	PCL	182H
STATUS	03H	STATUS	83H	STATUS	103H	STATUS	183H
FSR	04H	FSR	84H	FSR	104H	FSR	184H
PORTA	05H	TRISA	85H		105H		185H
PORTB	06H	TRISB	86H	PORTB	106H	TRISB	186H
PORTC	07H	TRISC	87H		107H		187H
PORTD	08H	TRISD	88H		108H		188H
PORTE	09H	TRISE	89H		109H		189H
PCLATH	0AH	PCLATH	8AH	PCLATH	10AH	PCLATH	18AH
INTCON	0BH	INTCON	8BH	INTCON	10BH	INTCON	18BH
PIR1	0CH	PIE1	8CH	EEDATA	10CH	EECON1	18CH
PIR2	0DH	PIE2	8DH	EEADR	10DH	EECON2	18DH
TMR1L	0EH	PCON	8EH	EEDATH	10EH	Reserved ⁽²⁾	18EH
TMR1H	0FH		8FH	EEADRH	10FH	Reserved ⁽²⁾	18FH
T1CON	10H		90H	通用寄存器 16字节	110H	通用寄存器 16字节	190H
TMR2	11H	SSPCON2	91H		111H		191H
T2CON	12H	PR2	92H		112H		192H
SSPBUF	13H	SSPADD	93H		113H		193H
SSPCON	14H	SSPSTAT	94H		114H		194H
CCPR1L	15H		95H		115H		195H
CCPR1H	16H		96H		116H		196H
CCP1CON	17H		97H		117H		197H
RCSTA	18H	TXSTA	98H		118H		198H
TXREG	19H	SPBRG	99H		119H		199H
RCREG	1AH		9AH		11AH		19AH
CCPR2L	1BH		9BH		11BH		19BH
CCPR2H	1CH		9CH		11CH		19CH
CCP2CON	1DH		9DH		11DH		19DH
ADRESH	1EH	ADRESL	9EH		11EH		19EH
ADCON0	1FH	ADCON1	9FH		11FH		19FH
通用寄存器 96字节	20H		A0H	通用寄存器 80字节	120H	通用寄存器 80字节	1A0H
		通用寄存器 80字节					
		影射到 70H~7FH	EFH F0H	影射到 70H~7FH	16FH 170H	影射到 70H~7FH	1EFH 1F0H
体0	7FH	体1	FFH	体2	17FH	体3	1FFH

有些寄存器单元在 4 个体上是互相映射的，如状态寄存器 STATUS、间接寻址寄存器 INDF、程序计数器低 8 位 PCL、文件选择寄存器 FSR、程序计数器高 8 位 PCLATH 和中断控制寄存器 INTCON。

所谓互为映射就是说，在 4 个体内的相同位置，物理上对应同一个寄存器单元，所以该单元具备 4 个不同的地址。

F877 单片机的通用寄存器 GPR (General Purpose Registers), 可由用户自行支配存放随机数据。

地址区域 : F0H ~ FFH、170H ~ 17FH 和 1F0H ~ 1FFH , 都可以索引 (或映射) 到体 0 的 16 个 RAM 单元。

这样安排是为了便于中断服务程序的设计和数据处理 , 就可以在程序设计中能够有效突破体的限制而定义通用的变量函数。

特殊功能寄存器 SFR (Special Function Registers) 是用于专用目的的寄存器，每个寄存器单元，甚至其中的每一位，都有它自己特定的名称和用途。

主要涉及 PIC 内核结构、外围功能模块的配置和数据通信方式的定义，是单片机赖以正常运行的工作平台。所以，特殊功能寄存器又称为专用寄存器。

可以依据它们不同的用途分为两类：一类是与 CPU 内核相关的寄存器；另一类是与外围模块相关的寄存器。

SFR 数量很多，十分难以记忆和掌握。因此，下面首先介绍几个非常重要和常用的寄存器。为了看的更清楚，可以把 RAM 的分布图进一步的简化，见下图。

简化图中左边是 4 个 RAM 体的地址分配表，右边是 4 个 RAM 体的功能分配表，两者由一一对应的关系，图中阴影部分无效，不能使用。从简化图上可以看出：

特殊功能寄存器 SFR 占据着 RAM 低地址部分，而通用寄存器占据着 RAM 的高地址部分。

体0	体1	体2	体3
00H	80H	100H	180H
01H	81H	101H	181H
02H	82H	102H	182H
03H	83H	103H	183H
04H	84H	104H	184H
05H	85H	105H	185H
06H	86H	106H	186H
07H	87H	107H	187H
08H	88H	108H	188H
09H	89H	109H	189H
0AH	8AH	10AH	18AH
0BH	8BH	10BH	18BH
0CH	8CH	10CH	18CH
⋮	⋮	⋮	⋮
1FH	9FH	11FH	19FH
20H	A0H	120H	1A0H
⋮	⋮	⋮	⋮
7FH	FFH	17FH	1FFH

存储单元地址分配

体0	体1	体2	体3
INDF			
TMR0	OPTION_REG	TMR 0	OPTION_REG
PCL			
STATUS			
FSR			
PORTA	TRISA		
PORTB	TRISB	PORTB	TRISB
PORTC	TRISC		
PORTD	TRISD		
PORTE	TRISE		
PCLATH			
INTCON			
⋮	⋮	⋮	⋮
通用 寄存器	通用 寄存器	通用 寄存器	通用 寄存器

存储单元功能分配

特殊功能寄存器区域

通用寄存器区域

主动参数：需要设置定义后才起作用的位参数

被动参数：根据指令执行结果，由系统自动返回状态信息的位参数

对某单元或位赋值 0 用“**清零**”表示，赋值 1 用“**置位**”表示
模块中断功能的设定，通常可以用“允许”、“使能”和“开放”等术语，本书同意用“**使能**”表示

1、状态寄存器 STATUS

STATUS 用来记录算术运算器 ALU 的运算状态和算术特征、CPU 的运行状态、以及 RAM 体的选择等信息。

Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
IRP	RP1	RP0	\overline{TO}	\overline{PD}	Z	DC	C

其中某些位 (\overline{TO} 和 \overline{PD}) , 只能读不能写 ; 某些位的值会随运算结果而变化。各位的含义如下 :

1、状态寄存器 STATUS

Bit0 / C : 进位/借位标志，被动参数。

清零 0

执行加法（或减法）指令时，如果最高位无进位（或有借位）；

置位 1

执行加法（或减法）指令时，如果最高位有进位（或无借位）。

1、状态寄存器 STATUS

Bit1 / DC : 辅助进位/借位标志, 被动参数。

清零 0

执行加法 (或减法) 指令时, 如果低 4 位向高 4 位无进位 (或有借位);

置位 1

执行加法 (或减法) 指令时, 如果低 4 位向高 4 位有进位 (或无借位)。

1、状态寄存器 STATUS

Bit2 / Z : 零标志，被动参数。

清零 0

算术或逻辑运算结果不为 0；

置位 1

算术或逻辑运算结果为全 0。

1、状态寄存器 STATUS

Bit3 / \overline{PD} : 降耗标志, 被动参数。

清零 0

睡眠指令执行后；

置位 1

上电或看门狗清零指令执行后。

1、状态寄存器 STATUS

Bit4 / $\overline{T0}$: 超时标志，被动参数。

清零 0

看门狗发生超时；

置位 1

上电或看门狗清零指令或睡眠指令执行后。

1、状态寄存器 STATUS

Bit6-Bit5 / RP1-RP0 : RAM 数据存储器体选位，仅用于直接寻址。

两位复合选择 RAM 数据存储器 4 个体，具体关系如下：

RP1	RP0	选中体
0	0	选中体 0
0	1	选中体 1
1	0	选中体 2
1	1	选中体 3

1、状态寄存器 STATUS

Bit7 / IRP : RAM 数据存储器体选位，仅用于间接寻址。

清零 0

选择数据存储器低位体：

即体 0 (FSR 的 Bit7=0) 或体 1 (FSR 的 Bit7=1)；

置位 1

选择数据存储器高位体：

即体 2 (FSR 的 Bit7=0) 或体 3 (FSR 的 Bit7=1)。

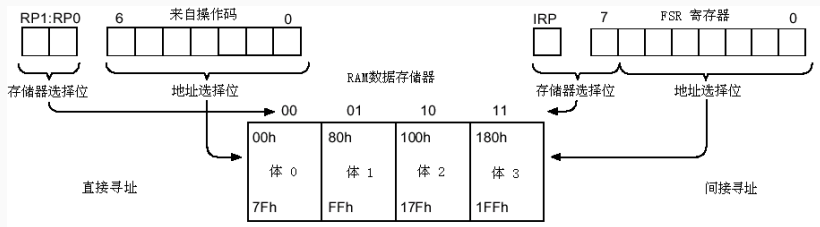
2、间接寻址的寄存器 INDF 和文件选择寄存器 FSR

在 RAM 数据存储器中，有一个非常特别的寄存器 INDF 它的专有功能是与 FSR 寄存器配合，实现间接寻址。

当访问地址 INDF 时，实际上是访问以 FSR 内容为地址的数据存储器 RAM 单元。

直接寻址/间接寻址方式的示意图

在直接寻址中，体选码来自状态寄存器 STATUS 的 RP1 和 RP0 位，体内的单元地址直接来自指令机器码。而在间接寻址中，体选码由 STATUS 的 IRP 位和 FSR 寄存器的 BIT7 组成。



3、与 PC 相关的寄存器 PCL 和 PCLATH

程序计数器 PC 指针宽 13 位，它的内容指向 CPU 将要执行的下一条指令所在程序存储器单元的地址。

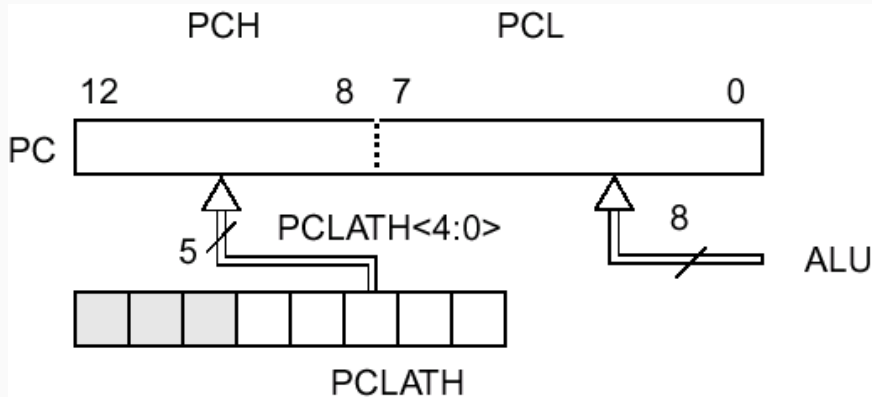
低 8 位 PCL 有自己的地址，可读可写；而高 5 位 PCH 和其它单片机不一样，即没有自己的地址，不能用软件访问，也就不能直接写入，只能用寄存器 PCLATH 装载的方式进行间接写入。

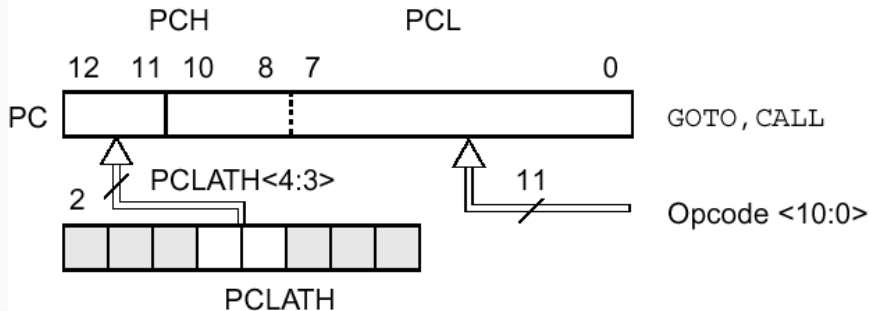
两种情况下 PC 值的装入过程

PCLATH 对于高 5 位 PCH 的装载分两种情况：

一种情况是当执行以 PCL 为目标的写操作指令时，PC 的低 8 位来自算术逻辑单元 ALU，PC 的高 5 位来自 PCLATH 的低 5 位；

另一种情况是当执行跳转指令 GOTO 或调用子程序指令 CALL 时，PC 的低 11 位来自指令码中直接携带的 11 位地址，高 2 位由 PCLATH3-4 提供。





4、选项寄存器 OPTION_REG

主要用于设置定时/计数器 TMR0、前后分频器、外部 INT 中断以及 B 端口的弱上拉功能等各种控制位。

Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
\overline{RBPU}	INTEDG	T0CS	T0SE	PSA	PS2	PS1	PS0

4、选项寄存器 OPTION_REG

Bit2-Bit0 / PS2-PS0 : 分频器倍率选择位，主动参数。

分频器位值	TMR0 倍率	WDT 倍率
0 0 0	1:2	1:1
0 0 1	1:4	1:2
0 1 0	1:8	1:4
0 1 1	1:16	1:8
1 0 0	1:32	1:16
1 0 1	1:64	1:32
1 1 0	1:128	1:64
1 1 1	1:256	1:128

4、选项寄存器 OPTION_REG

Bit3 / PSA : 前后分频器分配位，主动参数。

清零 0

分配给 TMR0，作为 TMR0 的前分频器；

置位 1

分配给 WDT，作为 WDT 的后分频器。

4、选项寄存器 OPTION_REG

Bit4 / T0SE : TMR0 用于计数器，计数脉冲信号边沿选择位，主动参数。

清零 0

RA4/T0CKI 引脚上的上升沿增量；

置位 1

RA4/T0CKI 引脚上的下降沿增量。

4、选项寄存器 OPTION_REG

Bit5 / T0CS : 定时/计数器 TMR0 时钟源选择位，主动参数。

清零 0

用内部指令周期时钟 (CLKOUT) 作为 TMR0 的触发脉冲；

置位 1

用 T0CKI 引脚上的外部时钟作为 TMR0 的触发脉冲。

4、选项寄存器 OPTION_REG

Bit6 / INTEDG : INT 中断信号触发边沿选择位，主动参数。

清零 0

BR0/INT 引脚上的上升沿触发；

置位 1

BR0/INT 引脚上的下降沿触发。

4、选项寄存器 OPTION_REG

Bit7 / \overline{RBPU} : B 端口弱上拉使能位，主动参数。

清零 0

RB4-RB7 引脚弱上拉使能；

置位 1

RB4-RB7 引脚弱上拉不使能。

5、电源控制寄存器 PCON

电源控制 (PCON) 寄存器包含两个有效标志位: 上电复位 (\overline{POR})、欠压复位 (\overline{BOR})。

Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
—	—	—	—	—	—	\overline{POR}	\overline{BOR}

5、电源控制寄存器 PCON

Bit1 / \overline{POR} : 上电复位状态位，主动参数。

清零 0

已发生上电复位 (必须在发生上电复位后用软件置 1)

置位 1

未发生上电复位

5、电源控制寄存器 PCON

Bit0 / \overline{BOR} : 欠压复位状态位，主动参数。

清零 0

已发生欠压复位 (必须在发生欠压复位后用软件置 1)

置位 1

未发生欠压复位

失电保护数据存储器构架

失电保护 EEPROM 最大的优点就是在失电后能够保护原有的数据。

EEPROM 数据存储器单元 256x8，它的地址空间是 00H ~ FFH，只能通过特殊功能寄存器间接寻址来访问。

EEPROM 共涉及 4 个特殊功能寄存器：EEDATA、EEADR、EECON1、EECON2。

EEDATA

是一个专用数据读/写寄存器，用于临时存放对 EEPROM 数据存储器进行读/写操作的数据。

EEADR

是一个专用地址读/写寄存器，用于临时存放对 EEPROM 数据存储器进行读/写访问的单元地址。

失电保护数据存储器构架 EECON1 寄存器

EECON1

EEPROM 数据存储器读/写控制第一寄存器，主要用于读/写方式的设定和初始化寻址控制。

Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
EEPGD	-	-	-	WRERR	WREN	WR	RD

Bit0 / RD:EEPROM 数据存储器数据读出方式控制位，复合参数。

清零 0

不处于 EEPROM 读操作过程，或在一个读操作周期后由硬件自动清零；

置位 1

启动 EEPROM 读操作，软件主动置位。

Bit1 / WR : 写操作控制位，复合参数。

清零 0

不处于 EEPROM 写操作过程，或在一个写操作周期后由硬件自动清零；

置位 1

启动 EEPROM 写操作，软件主动置位。

Bit2 / WREN : EEPROM 写使能位，主动参数。

清零 0

禁止对 EEPROM 写操作。

置位 1

使能对 EEPROM 写操作；

Bit3 / WRERR : EEPROM 错误标志位，被动参数。

清零 0

已完成 EEPROM 写操作，硬件自动清零；

置位 1

未完成 EEPROM 写操作。

Bit7 / EEPGD : FLASH 程序存储器/ EEPROM 数据存储器选择位，主动参数。

清零 0

选通 EEPROM 数据存储器；

置位 1

选通 FLASH 程序存储器。

EECON2

EEPROM 数据存储器读/写控制第二寄存器，是一个虚拟寄存器，专门用于 EEPROM 数据存储器写操作的次序控制。

向 EEPROM 数据存储器写数据

向 EEPROM 数据存储器写数据操作比较复杂，占用较长的时间（一般为 $3 \sim 8ms$ ），涉及到两个控制位 WR、WREN 和两个状态位 EEIF、WRERR。

向 EEPROM 数据存储器写数据必须插入一串特殊的指令序列，连续将特定的通用参数 55H 和 0AAH 写入 EECON2。

例 2-1

将数据 00H~0FFH 分别写入数据存储器 EEPROM 地址范围 00H~0FFH 存储单元。

```

INCLUDE "P16F877.INC"

COUNTER EQU 70H

ORG 0000H

NOP

CLRF COUNTER

BSF STATUS,RP1

LOOP1 BSF STATUS,RP0

LOOP  BTFSC EECON1,WR

      GOTO LOOP

      BCF STATUS,RP0

      MOVF COUNTER,W

      MOVWF EEADR

      MOVWF EEDATA

      BSF STATUS,RP0

      BCF EECON1,EEPGD

      BSF EECON1,WREN

```

```

MOVLW 55H

MOVWF EECON2

MOVLW 0AAH

MOVWF EECON2

BSF EECON1,WR

BSF INTCON,GIE

BCF EECON1,WREN

INCF COUNTER

MOVF COUNTER,W

BTFSS STATUS,Z

GOTO LOOP1

END

```

从 EEPROM 数据存储器读数据

读操作相对来说比较简单，只使用一个状态位 RD，用于初始化 EEPROM 指定地址的读操作。对 EEPROM 数据存储器进行读操作时，RD 位置位后，数据在下一个指令周期就被存入到 EEDATA 寄存器中，因此完全可以由下一条指令来读取数据。

例 2-2

在例题 2-1 的基础上，读出 EEPROM 数据存储器地址范围 20H~5FH 内的数据，并存放于数据存储器对应单元 30H~6FH 中（64 个单元）。

```

INCLUDE "P16F877.INC"
COUNTER EQU 70H

ORG 0000H

NOP

MOVLW 20H
MOVWF COUNTER

MOVLW 30H
MOVWF FSR

BSF STATUS, RP1
BCF STATUS, RP0

LOOP MOVF COUNTER, W
MOVWF EEADR

BSF STATUS, RP0
BCF EECON1, EEPGD
BSF EECON1, RD

```

```

BCF STATUS, RP0
MOVF EEDATA, W
MOVWF INDF
INCF FSR
INCF COUNTER
MOVF FSR, W
SUBLW 70H
BTFSS STATUS, Z
GOTO LOOP
END

```