

MC9S08QE4 在有源 RFID 中的应用

飞思卡尔半导体(上海) 廖珍爱

前言

RFID 标签分为被动标签(Passive tags)和主动标签(Active tags)两种。被动标签即非接触式 IC 卡, 由于被动标签识读距离短, 在许多应用中受到限制。主动标签也称有源 RFID, 由于采用无线射频识别技术, 识读距离可达几十米, 逐渐成为一种主流应用技术, 已经成功应用到生产制造、物流管理、公共安全等各个领域。

有源 RFID 采用电池供电, 且电池是一次性的, 不能更换。因此低功耗设计是设计中的重点。RFID 卡有读卡和读写卡两种。读卡是单向通信, 即定时向外发送数据。读写卡是双向通信, 即定时向外发送数据的同时接收数据。下面以 MC9S08QE4 和 NRF24L01 为例, 介绍有源 RFID 读卡的设计应用。

MC9S08QE4 是飞思卡尔新推出极低功耗的单片机, 资源丰富, 内置振荡电路, 小封装, 非常适合于在 RFID 卡的应用。nRF24.L01 是 NORDIC 公司推出的一款新型单片射频收发器件, 工作于 2.4 GHz~2.5 GHz ISM 频段, 广泛应用于无线领域。

MC908QE4 的主要功能

MC908QE4 是 Freescale 基于 HCS08 核的 8 位单片机。具有极低功耗, 内置 RC 振荡电路及丰富的外围接口。QE4 的主要特性如下:

- 低工作电压 1.8V-3.6V
- 最大总线频率 10Mhz
- 内置锁频环电路 FLL
- 4K FLASH 程序空间
- 256 字节 RAM
- 2 个 16 位定时器
- 1 个实时时钟计数器 RTC
- 10 路 12 位 A/D
- 1 个外部中断和 8 个外部键盘中断 KBI
- 内部 RC 振荡器的看门狗
- 低电压检测电路 LVI
- 1 个 SPI, I2C, SCI
- 32 LQFP, 28 SOIC, 20 SOIC, 16SDIP, 16 TSSOP 封装

nRF24L01 概述

nRF24.L01 是一款新型单片射频收发器件, 工作于 2.4 GHz~2.5 GHz ISM 频段。内置频率合成器、功率放大器、晶体振荡器、调制器等功能模块, 并融合了增强型 ShockBurst 技术, 其中输出功率和通信频道可通过程序进行配置。nRF24L01 功耗低, 在以 -6 dBm 的功率发射时, 工作电流只有 9 mA; 接收时, 工作电流只有 12.3 mA, 另外有多种低功率工作模式(掉电模式和空闲模式)。

nRF24L01 主要特性如下:

- * 工作电压:1.9-3.6V;
- * 真正的 GFSK 调制单收发芯片;
- * 硬件集成 OSI 链路层;
- * 具有自动应答和自动再发射功能;
- * 片内自动生成报头和 CRC 校验码;
- * 数据传输率可达 2Mb/s;
- * SPI 速率可达 10 Mb/s;
- * 125 个频道
- * QFN20 引脚 4 mm×4 mm 封装;

引脚功能及描述

nRF24L01 的封装及引脚排列如图 1 所示。各引脚功能如下:

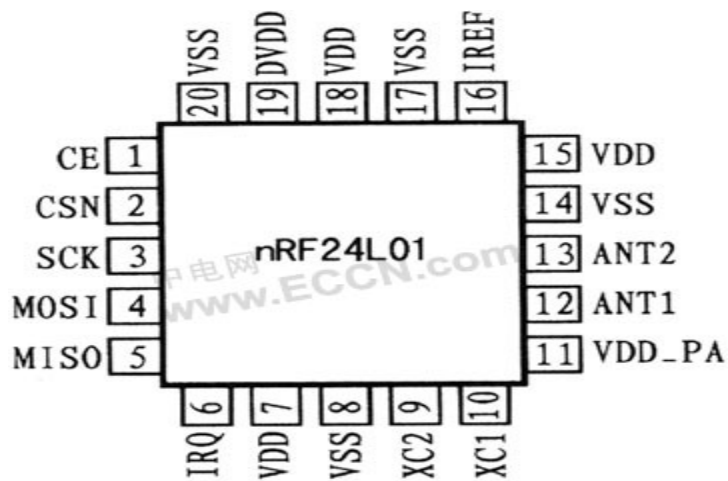


图 1 nRF24L01 引脚排列

引脚	名称	引脚功能	描述
1	CE	数字输入	RX 或 TX 模式选择
2	CSN	数字输入	SPI 片选信号
3	SCK	数字输入	SPI 时钟
4	MOSI	数字输入	从 SPI 数据输入脚
5	MISO	数字输出	从 SPI 数据输出脚
6	IRQ	数字输出	可屏蔽中断脚
7	VDD	电源	电源 (+3V)
8	VSS	电源	接地 (0V)
9	XC2	模拟输出	晶体振荡器 2 脚
10	XC1	模拟输入	晶体振荡器 1 脚/外部时钟输入脚
11	VDD_PA	电源输出	给 RF 的功率放大器提供的+1.8V 电源
12	ANT1	天线	天线接口 1
13	ANT2	天线	天线接口 2
14	VSS	电源	接地 (0V)
15	VDD	电源	电源 (+3V)
16	IREF	模拟输入	参考电流
17	VSS	电源	接地 (0V)
18	VDD	电源	电源 (+3V)
19	DVDD	电源输出	去耦电路电源正极端
20	VSS	电源	接地 (0V)

工作模式

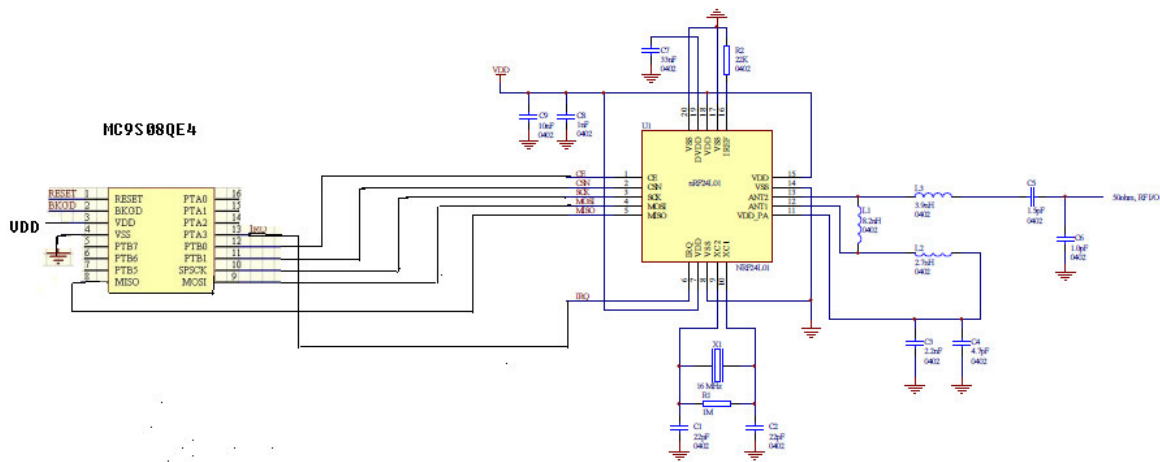
通过配置寄存器可将 nRF241L01 配置为发射、接收、空闲及掉电四种工作模式，如下表所示。

nRF241L01 可以设置为以下几种主要的模式，

模式	PWR_UP	PRIM_RX	CE	FIFO 寄存器状态
接收模式	1	1	1	-
发送模式	1	0	1	数据在 TX FIFO 寄存器中
发送模式	1	0	1→0	停留在发送模式，直至数据发送完
待机模式 II	1	0	1	TX FIFO 为空
待机模式 I	1	-	0	无数据传输
掉电模式	0	-	-	-

硬件设计

由于 QE4 有 SPI 硬件接口，外部按键中断接口，内部上电复位电路和内部振荡电路，因此硬件电路非常简单。见下图：



晶振电路

QE4 内部有锁频环电路(FLL)可以把 MCU 运行的总线频率倍频上去，最高可以倍频到 20Mhz。同时 QE4 内部有 RC 振荡器，校准后的精度可以达到±2% (±2%为全温度范围的最大误差。常温下该精度为±0.2%)。因此完全可以采用内部 RC 振荡器。节省成本和空间。

电池电压检测

在有些 RFID 应用中,需要对电池电压进行监测。虽然 QE4 内部有掉电检测电路 LVI, 但使能该模块将消耗较大的电流, 所以不宜采用。可以利用 A/D 模块监测电池电压, A/D 模块会消耗一定的功耗, 为了降低功耗, 可以采用定时检测的方法, 因为电池电压是缓慢下降的。

由于采用锂电池直接供电, 采用一般的 A/D 模块监测电池电压的办法, 则需提供一基准电压给 AD 模块. 这样既增加成本, 又增加功耗.

这里介绍一种简便的方法用于电池电压检测:

在 QE4 的内部集成一个 1.17V 的能隙基准电压, 此能隙基准电压内部连接到 ADC 的输入通道 AD27; 因此可以不需要任何外部电路, AD 模块只需定时采样此基准电压, 由此可换算出电池电压。

这种方法的好处是, 不需要外部任何器件, 既节省成本又节省空间, 而且可以获知当前准确的电池电压。它的原理如下: AD 的参考电压设为 VDD, VDD 即为电池电压, 如果 AD 设为 12bit 模式, 那么:

能隙基准电压的 AD 值(AD27)=(1.17V / VDD) * 4096 = (1.17V/ 电池电压) * 4096

所以: 电池电压= (4096 / 能隙基准电压的 AD 值(AD27)) * 1.17 (V)

RFID 的低功耗设计

在 RFID 应用中, 由于是电池供电, 且电池是一次性的, 无法更换, 所以低功耗是设计中首要考虑的因素。系统功耗由两部分组成: 单片机本身的功耗和射频电路的功耗。下面分别介绍来讨论两者的功耗。

1) 射频芯片的功耗

如前述, 射频芯片有四种工作模式。在 RFID 的应用中, RFID 定时向外发送数据, 例如 500ms 发送一次, 所以射频芯片平时工作在掉电模式, 掉电模式下为 900nA。下表为各种模式下的功耗:

Symbol	Parameter (condition)	Notes	Min.	Typ.	Max.	Units
Idle modes						
I _{VDD_PD}	Supply current in power down			900		nA
I _{VDD_ST1}	Supply current in standby-I mode	a		22		μA
I _{VDD_ST2}	Supply current in standby-II mode			320		μA
I _{VDD_SU}	Average current during 1.5ms crystal oscillator startup			285		μA
Transmit						
I _{VDD_TX0}	Supply current @ 0dBm output power	b		11.3		mA
I _{VDD_TX6}	Supply current @ -6dBm output power	b		9.0		mA
I _{VDD_TX12}	Supply current @ -12dBm output power	b		7.5		mA
I _{VDD_TX18}	Supply current @ -18dBm output power	b		7.0		mA
I _{VDD_AVG}	Average Supply current @ -6dBm output power, Enhanced ShockBurst™	c		0.12		mA
I _{VDD_TXS}	Average current during TX settling	d		8.0		mA
Receive						
I _{VDD_2M}	Supply current 2Mbps			12.3		mA
I _{VDD_LC}	Supply current 2Mbps LNA low current			11.5		mA
I _{VDD_1M}	Supply current 1Mbps			11.8		mA
I _{VDD_LC}	Supply current 1Mbps LNA low current			11.1		mA
I _{VDD_RXS}	Average current during RX settling	e		8.4		mA

2) 单片机的功耗

单片机的功耗包括正常运行时的功耗和睡眠时的功耗。在 RFID 的应用中, 由于是定时发送数据, 发送完毕, 马上进入睡眠, 因此单片机大部分时间工作于睡眠状态, 因此睡眠时的电流至关重要。例外进入睡眠后, 需要定时唤醒, 定时器的工作电流也是重点考虑的因素之一。

下图为 QE4 各种模式下的电流参数:

3.7 Supply Current Characteristics

This section includes information about power supply current in various operating modes.

Table 8. Supply Current Characteristics

Num	C	Parameter	Symbol	Bus Freq	V _{DD} (V)	Typical ¹	Max	Unit	Temp (°C)
1	P	Run supply current FEI mode, all modules on	R _{I_{DD}}	10 MHz	3	5.60	8.2	mA	-40 to 85 °C
	1 MHz			0.80		—			
2	T	Run supply current FEI mode, all modules off	R _{I_{DD}}	10 MHz	3	3.60	—	mA	-40 to 85 °C
	T			1 MHz		0.51	—		
3	T	Run supply current LPRS = 0, all modules off	R _{I_{DD}}	16 kHz FBILP	3	165	—	μA	-40 to 85 °C
	T			16 kHz FBELP		105	—		
4	T	Run supply current LPRS = 1, all modules off; running from flash	R _{I_{DD}}	16 kHz FBILP	3	77	—	μA	-40 to 85 °C
	T			16 kHz FBELP		21	—		

Table 8. Supply Current Characteristics (continued)

Num	C	Parameter	Symbol	Bus Freq	V _{DD} (V)	Typical ¹		Max	Unit	Temp (°C)
5	T	Run supply current LPRS = 1, all modules off; running from RAM	RI _{DD}	16 kHz FBILP	3	77	—	—	μA	-40 to 85 °C
	T			16 kHz FBELP		7.3	—			
6	T	Wait mode supply current FEI mode, all modules off	WI _{DD}	10 MHz	3	570	—	—	μA	-40 to 85 °C
	T			1 MHz		290	—			
7	T	Wait mode supply current LPRS = 1, all modules off	WI _{DD}	16 kHz FBELP	3	1	—	—	μA	-40 to 85 °C
8	P	Stop2 mode supply current	S2I _{DD}	—	3	0.3	0.65	μA	—	-40 to 25 °C
	C			—		0.5	0.8			70 °C
	P			—		1	2.5			85 °C
	C			—	2	0.25	0.50			-40 to 25 °C
	C			—		0.3	0.6			70 °C
	C			—		0.7	2.0			85 °C
9	P	Stop3 mode supply current no clocks active	S3I _{DD}	—	3	0.4	0.8	μA	—	-40 to 25 °C
	C			—		1.0	1.8			70 °C
	P			—		3	6			85 °C
	C			—	2	0.35	0.60			-40 to 25 °C
	C			—		0.8	1.5			70 °C
	C			—		2.5	5.5			85 °C

¹ Data in Typical column was characterized at 3.0 V, 25°C or is typical recommended value.

Table 9. Stop Mode Adders

Num	C	Parameter	Condition	Temperature				Units
				-40°C	25°C	70°C	85°C	
1	T	LPO	—	50	75	100	150	nA
2	T	ERREFSTEN	RANGE = HGO = 0	1000	1000	1100	1500	nA
3	T	IREFSTEN ¹	—	63	70	77	81	μA
4	T	RTC	Does not include clock source current	50	75	100	150	nA
5	T	LVD ¹	LVDSE = 1	90	100	110	115	μA
6	T	ACMP ¹	Not using the bandgap (BGBE = 0)	18	20	22	23	μA
7	T	ADC ¹	ADLPC = ADLSMP = 1 Not using the bandgap (BGBE = 0)	95	106	114	120	μA

¹ Not available in stop2 mode.

从表中看出，睡眠 3(STOP3)模式的电流为 350nA，睡眠 2(STOP2)模式的电流为 300nA。由于 STOP2 与 STOP3 功耗相差不大，但是从 STOP2 唤醒后，程序会从复位处重新执行，且所有寄存器设置会回到默认状态，因此建议采用 STOP3 模式。

QE4 内部有 RTC 模块，进入睡眠时，RTC 仍然可以工作，可以用来定时唤醒 MCU。唤醒时间从 1ms 到 1s 可设置。RTC 工作电流只有 75nA。把 RTC 模块的功耗考虑进去，那么进入睡眠状态时，RTC 模块工作（定时唤醒 MCU），内部 RC 振荡器工作，

MCU 本身的功耗仅为 450nA 左右。如果把射频芯片的功耗计算在内,那么在待机模式下,整个系统的功耗为 1.35uA。

另外有一个参数对系统功耗的影响也非常重要,即从睡眠模式唤醒的时间。唤醒时间越短越好,因为唤醒的过程中,功耗会比较大。QE4 从睡眠 3 (STOP3) 模式唤醒的时间非常短,只有 6us,大大低于业界的同类产品。

3) 低功耗设计的小窍门:

a)未使用的 I/O 口的处理

对未使用的 I/O 口配置成输出模式,输出高或低。

b) 未使用的模块的处理

未使用的模块除了关闭该模块外,同时还要禁止该模块的时钟。模块时钟的使能或禁止通过 SCGC1,SCGC2 进行配置。

c) RTC 时钟的选择

RTC 的时钟选择选择内部 1K 时钟,而不选择 32K 的时钟。选择 32K 的时钟会增加 70uA 的电流。

d)延时的处理

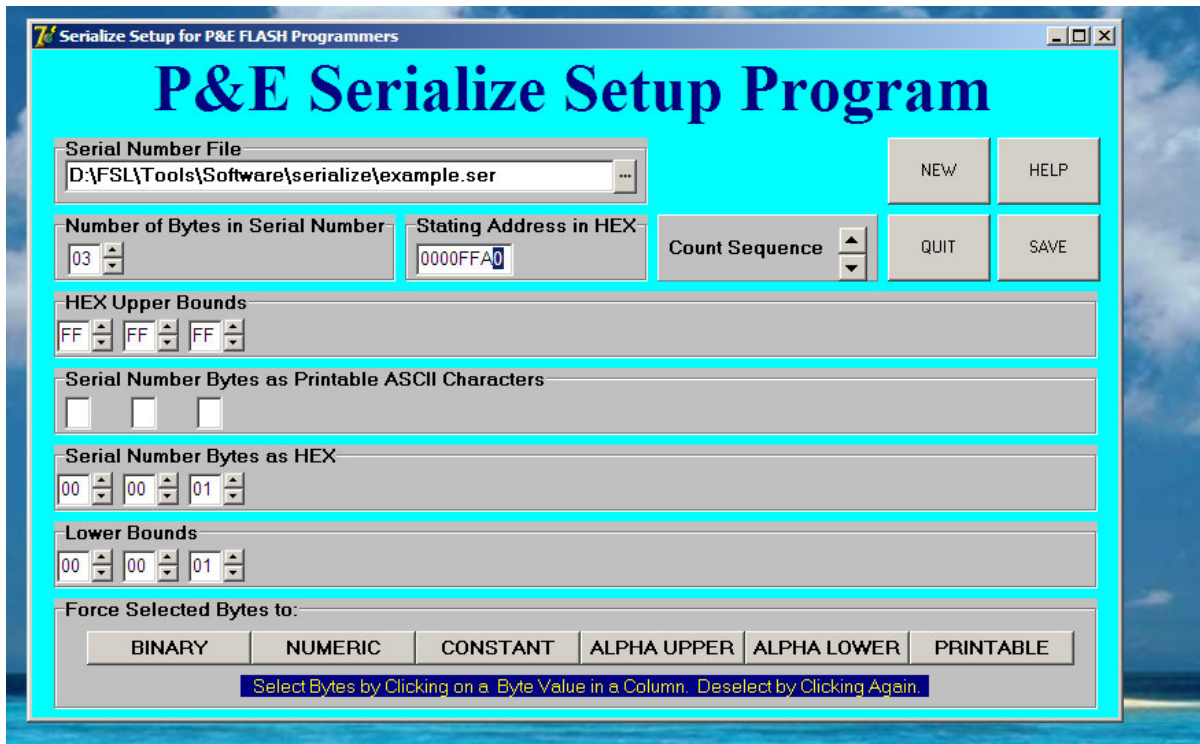
由于射频芯片平时工作在掉电(POWER DOWN)模式,从掉电(POWER DOWN)模式到发送模式,射频芯片需延时 1.5ms 左右的时间,在延时 1.5ms 左右的时间内单片机处于等待状态,有两种处理方式以降低功耗。一是让单片机进入 STOP3 模式,利用 RTC 唤醒,唤醒时间设为 1.5ms。另一种方法是,把单片机的工作频率降到最低,让单片机进入 WAIT 模式,利用定时器唤醒,定时器的时间设为 1.5ms,唤醒后把单片机的工作频率恢复到原来的频率。

序列号的烧写:

由于在 RFID 应用中,每一个 RFID 都需要一个唯一的 ID 号。ID 号可存放在 FLASH 中,单片机上电后,从 FLASH 中读出它的 ID 号。在批量生产过程中,如何方便地烧写 ID 号,也是至关重要的。下面介绍采用 CYCLONE PRO 如何方便地烧写序列号。CYCLONE PRO 是用于批量生产的专业编程器,支持脱机烧写。在烧写程序代码的同时支持烧写序列号,每烧写一片芯片后,序列号自动加一。因此非常适合于批量生产。

在下载程序到 CYCLONE PRO 前,先要用 SERIALIZE.EXE 软件生成一序列号文件, SERIALIZE.EXE 软件可在 WWW.PEMICRO.COM 免费下载。

生成序列号文件的界面见下图:



上图的示例中，ID 号为 3 个字节，将存放在 QE4 的 0xFFA0,0xFFA1,0xFFA2 中，ID 号的起始号为 0x0000001，ID 号的上限为 0xFFFFFFFF，下限为 0x0000001。上下限的含义是：假设在烧写过程中，ID 号每次加一，当加到上限值时，ID 会自动回到下限值。按 SAVE 生成 *.SER 文件。

可以通过修改 PRM 文件，让编译器预留 FLASH 从 0xFFA0 至 0xFFAD 用于存放 ID 而不是程序代码。

下面是缺省的 PRM 文件：

```
/* This is a linker parameter file for the mc9s08qe4 */
```

```
NAMES END /* CodeWarrior will pass all the needed files to the linker by command line. But here you may add your own files too. */
```

```
SEGMENTS /* Here all RAM/ROM areas of the device are listed. Used in PLACEMENT below. */
```

```
    Z_RAM      = READ_WRITE 0x0060 TO 0x00FF;
```

```
    RAM        = READ_WRITE 0x0100 TO 0x015F;
```

```
    ROM        = READ_ONLY  0xF000 TO 0xFFAD;
```

```
    ROM1       = READ_ONLY  0xFFC0 TO 0xFFCD;
```

```
/* INTVTS     = READ_ONLY  0xFFCE TO 0xFFFF; Reserved for Interrupt Vectors
```

```
*/
```

```
END
```

修改后的 PRM 文件如下：

```
/* This is a linker parameter file for the mc9s08qe4 */
```

NAMES END /* CodeWarrior will pass all the needed files to the linker by command line. But here you may add your own files too. */

SEGMENTS /* Here all RAM/ROM areas of the device are listed. Used in PLACEMENT below.

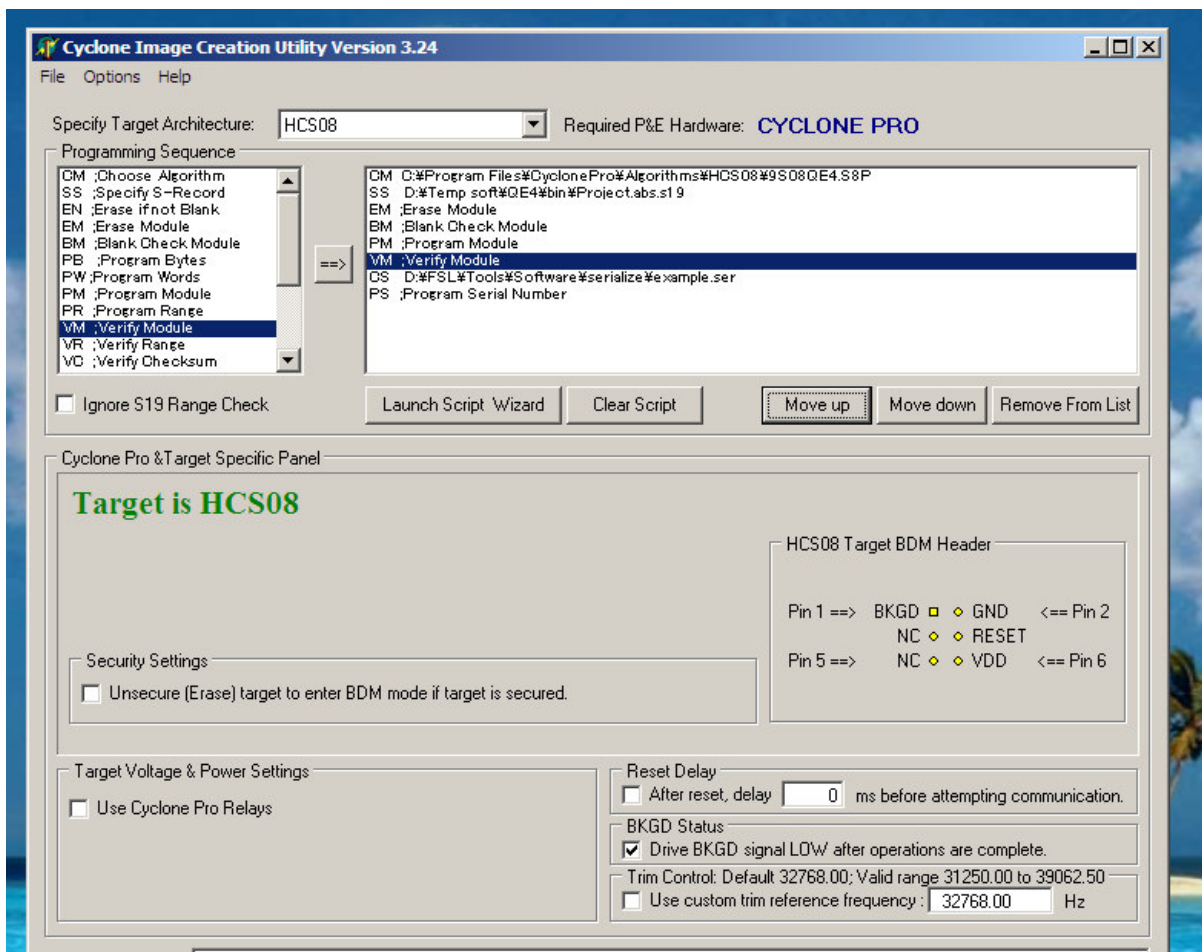
*/

```
Z_RAM      = READ_WRITE 0x0060 TO 0x00FF;
RAM        = READ_WRITE 0x0100 TO 0x015F;
ROM        = READ_ONLY  0xF000 TO 0xFF9F;
ROM1       = READ_ONLY  0xFFC0 TO 0xFFCD;
/* INTVECTS = READ_ONLY  0xFFCE TO 0xFFFF; Reserved for Interrupt Vectors
```

*/

END

生成序列号文件后，然后打开 CYCLONE PRO 软件，把程序代码和序列号下载到 CYCLONE PRO 中，界面见下图：



SS 是选择程序代码文件。

CS 是选择序列号文件。

下载完毕，便可脱机烧写，每烧写一片芯片，序列号自动加一，同时 CYCLONE PRO LCD 屏上会显示当前的序列号，操作起来非常方便，大大提高了生产率。

结束语

由于 QE4 具有超低功耗，丰富的外围接口，性价比高等特点，因此非常适合于在 RFID 中的设计应用。Freescale 将不断推出新的基于 HCS08 内核的系列单片机，来满足低功耗市场应用的需求。敬请光临 Freescale 公司网站 www.freescale.com，获取最新产品信息，或通过邮件联系本人: cherrish.liao@freescale.com。

参考资料:

MC9S08QE8 Data sheet, Freescale Semiconductor.

nRF24L01 Data sheet, Nordic Semiconductor.