AN2351

PIC32MX의 Sosc(Secondary Oscillator) 크리스털 오실레이터 회로 설계 상의 주의점

소개

이 문서는 PIC32MX 제품군 Sosc (Secondary Oscillator) 크리스털 오실레이터 회로에 관한 고유의 요건에 대해 설명합니다. 이 요건은 전압 및 온도 변동, 구성 부품의 분배 시 올바른 RTCC 정확도를 달성하기 위해 필요합니다.

TRIM 민감도

문제: *PIC32MX의 실시간 클럭/캘린더(RTCC) 모듈은 환경 조건이 변경되면 동작이 크게 변화하므로 정확한 시간을 유지할 수 없습니다.*

이 문제가 발생할 경우, PIC32MX의 RTCC 조정 레지스터의 값을 교정하는 솔루션을 사용할 수 있으나 이것은 쉬운 문제가 아닙니다. 사실 부품의 배치나 온도 변화에 따른 재현성(repeatability)은 부족하며 매달 ±5 ~ ±30 분의 오차가 발생합니다.이 문제는 Sosc 회로의 트림 민감도와 PIC32MX의 특수한 Sosc 회로 설계에서 오는 문제로 보이므로, 정확도를 높이기 위해서는 특수한 교정 절차가 필요합니다.

트림 민감도란 부하 용량에 대한 발진 주파수의 변화율로서, 식 1로 나타낼 수 있습니다.

식 1: TRIM 민감도

$$Trim\ Sensitivity = \left(\frac{(5000000 \cdot C1)}{(C0 + C_{LOAD})^2}\right)$$

C1 = 등가직렬용량

C0 = 병렬용량

CLOAD = 부하용량

일반적으로 Sosc 크리스털 오실레이터의 부하 캐패시터 값은 식 2를 사용하여 계산합니다.

식 2: Sosc 크리스털 오실레이터의 부하용량 계산

$$C_{LOAD} = \left\{\frac{[C_{IN} + C1] \cdot [C_{OUT} + C2]}{[C_{IN} + C1 + C2 + C_{OUT}]}\right\} + Oscillator\ PCB\ Stray\ Capacitance$$

CIN = COUT = PIC32 OSC2 핀 용량

오실레이터 프린트 기판(PCVB)의 부유용량(트레이스 길이가 12 mm일 때) = 2.5 pF

C1 = C2 = 크리스털 오실레이터 회로에서 실제로 사용하는 부하 캐패시터의 용량으로, 회로 내의 크리스털 오실레이터로부터 관찰된 실효 용량이 제조업체가 지정하는 사양값에 맞도록 하기 위한 것

CLOAD = 크리스털 오실레이터의 데이터 시트에 기재된 사양값

C1 = C2 이고 CIN = COUT라고 가정할 경우 식 2는 식 3으로 단순화할 수 있습니다.

식 3: Sosc 부하용량의 계산

$$C1 = C2 = ((2 \cdot Manufacturer\ CLOAD\ Specification) - C_{IN} - (2 \cdot PCB\ Capacitance))$$

© 2018 Microchip Technology Inc.

일반적으로 식 3에 따라 전압/온도에 대해 대략 0 PPM의 정확도를 얻을 수 있는 최적의 부하용량을 구할 수 있습니다. 이는 고주파수 PIC32MX Posc(Primary Oscillator)에는 해당되나, 저속 PIC32MX Sosc (Secondary Oscillator)에는 해당되지 않습니다 (CMOS 전류를 낮추는 인버터 설계로 인한 것).

부품 분배와 전압 및 온도 변화에 따른 최적의 Sosc 정확도(즉 RTCC의 정확도(PPM))을 확보하기 위해서는 트림 민감도를 측정하여 C1 및 C2 부하 캐패시터의 용량을 적절히 선정하여야 합니다. 즉 제조 로트가 다른 동일 제조업체/동일 품번의 여러 개의 크리스털 오실레이터에 대해 트림 민감도 곡선을 측정하여, 이것이 서로 교차하거나 가장 가까워질 때의 부하 캐패시터 용량을 선정합니다.

이는 PIC32MX의 RTCC에서 최고의 정확도 및 재현성을 얻을 수 있으므로 매우 중요합니다. 최악 조건에서 시스템의 종합적인 Sosc 정확도는 각종 원인에 의해 결정되며, 사용자가 설계 시에 대처할 수 있는 요인이 있는 반면 대처할 수 없는 경우도 있습니다.

사용자가 Sosc 크리스털 오실레이터 회로의 정확도를 확보할 수 있는 방법

- 최적 트림 민감도를 갖는 크리스털 오실레이터(등가직렬용량의 사양값 ≤ 0.0035 pF)를 선택
- 크리스털 오실레이터가 트림 민감도 곡선의 적절한 영역에서 동작하도록 CLOAD를 선택
- Sosc 부하 캐패시터와 Rs 직렬 저항에는 허용오차가 작은 부품을 사용
- PIC32MX RTCC 하드웨어에 내장된 조정 레지스터를 사용하여 오차(± clocks/minute)를 적절하게 보상

사용자가 대처할 수 없는 SOSC 크리스털 오실레이터 회로의 정확도 파라미터

- 크리스털 오실레이터의 주파수 사양값의 허용오차(제조업체에 따라 다르며 일반적으로 ±20 PPM)
- PIC32MX 마이크로컨트롤러 제조 공정에 따른 Sosc 오차 (특성값은 최대 ±5 PMM을 표시)

교정되지 않은 Sosc 크리스털 오실레이터 회로는 만약 RTCC 조정 레지스터 값을 교정(조정)하더라도 애플리케이션 보드 배치에 따라 ±5 ~ ±30 min/month의 오차를 발생시킬 가능성이 있습니다. 이 오차는 대부분의 시간 애플리케이션에서 허용될 수 없습니다. 그러나 이 오차에는 온도 등의 환경 요인에 따른 오차는 포함되지 않습니다. RTCC 조정 레지스터를 사용하여 각 애플리케이션 보드를 교정할 수도 있으나, 보드마다 소프트웨어를 설정하여야 하므로 현실적인 대안은 아닙니다.

권장 솔루션

이 문서에 기재된 권장 솔루션은 Sosc 회로의 트림 민감도를 교정하는 것입니다. 이 방법은 하나의 보드에서 한 번만 실행합니다(보드마다 교정해야 할 필요는 없음). 여기서 선택한 회로 부품과 소프트웨어 설정을 모든 보드에 적용함으로써 RTCC의 정확도/안정성을 모든 보드에서 얻을 수 있습니다.

Note:	참고를 위해, 교정이 완료된 SOSC 턴키 솔루션이 **"PIC32MX 제품군 검증 완료 SOSC/RTCC 레퍼런스 디자인 솔루션"**에 기재되어 있습니다.

Sosc 정확도에 따른 영향

- 크리스털 ESR 사양값 (30k ~100k)
- 크리스털 주파수 허용오차 (±10 ~ ±30 PPM)
- 크리스털 오실레이터의 부하 캐패시터 용량과 그 허용오차 (최대 ±1%)
- PIC32MX 의 제조공정에 따른 오차 (±5 PPM)
- 크리스털 오실레이터의 등가직렬용량 (트림 민감도)
- Rs 직렬저항값과 그 허용오차 (최대 ±1%)
- 크리스털 오실레이터의 병렬 용량 사양값
- 크리스털 오실레이터 주파수의 온도 계수 사양값 (PPM/ºC)
- 크리스털 오실레이터의 시간 변화에 따른 사양값 (±3 ~ ±5% PPM)

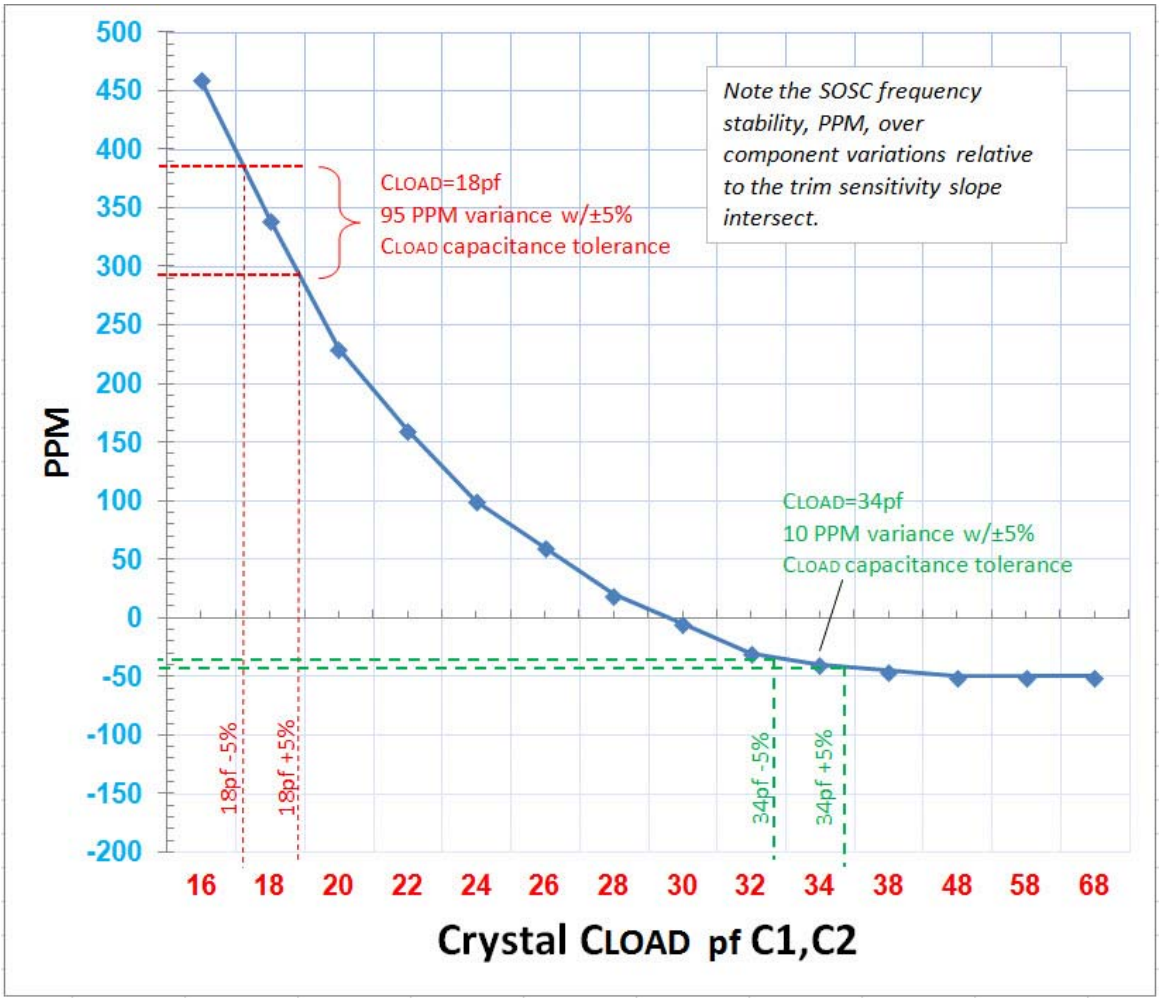
© 2018 Microchip Technology Inc.

SOSC 크리스털 오실레이터의 트림 민감도 곡선 예제

Note: 그림 1은 설명을 위한 예제입니다.

그림 1은 크리스털 오실레이터의 부하 용량 CLOAD = 18pF인 경우와 34 pF ±5%인 경우의 정확도(PPM) 변동폭을 나타냅니다.

그림 1: 트림 민감도 곡선 예제 (PPM/pF)



주요 내용

그림 1에 표시된 가상의 크리스털 오실레이터 트림 민감도 곡선으로부터 다음 내용을 알 수 있습니다.

- 트림 민감도 곡선의 기울기가 큰 영역에서는 C1/C2 부하 캐패시터의 용량이 약간 변화하는 것만으로도 정확도(PPM)가 크게 변화합니다. 안정성과 정확도를 극대화하려면 허용오차가 ±1%인 부품을 사용하여야 합니다.
- 트림 민감도 곡선의 기울기가 수평에 가까운 영역에서는 C1/C2 부하 캐패시터의 용량이 변화하더라도 정확도(PPM)는 크게 변화하지 않습니다. 이로 인해 개별 보드의 안정성이 향상되는 것은 물론 보드의 조밀도도 감소합니다.
- 공칭(nominal) 0 PPM인 회로에서도 부품에 따라 PPM이 크게 변동할 가능성이 있습니다. 따라서 이 문서에서는 오차가 0 PPM인 공칭 SOSC 주파수를 달성하는 것이 목표가 아니라, 안정된 PPM을 얻을 수 있는 부하용량을 목표로 한 뒤 RTCC 조정 비트를 사용하여 오차(+/- PPM)를 보상합니다.
- 제품(보드) 크리스털 오실레이터 주파수의재현성 측면에서 보자면, 초기 PPM이 최소화된 크리스털 오실레이터 부하용량(C1/C2)이 반드시 최적인 것은 아닙니다. 이는 부품의 허용오차, PIC32MX의 제조공정, 크리스털 제조 상의 트림 민감도(PPM/pF)를 고려하여야 하기 때문입니다. 따라서 모든 보드에서 동일한 RTCC 조정값을 사용하여 교정하는 것이 불가능한 경우가 있습니다. 크리스털 오실레이터의 "등가직렬용량"이 작을수록 트림 민감도(PPM/pF)는 작아집니다. 따라서 PPM의 안정성/재현성을 향상시켜 부품의 허용오차에 따른 크리스털 오실레이터 주파수의 변동을 최소화하려면, "등가직렬용량"의 사양값이 작은 크리스털 오실레이터를 사용하여야 합니다.
- "등가직렬용량"이 작은 크리스털 오실레이터를 사용하고 C1/C2 값을 크게 함으로써 크리스털 오실레이터 트림 민감도(PPM/pF)와 PIC32MX 내부의 Sosc 회로 영향을 최소한을 줄일 수 있으며, PPM의 안정성/재현성이 향상됩니다. 크리스털 오실레이터의 "등가직렬용량"의 사양값은 데이터 시트에 기재되어 있지 않은 경우가 있습니다. 대부분의 크리스털 오실레이터 제조업체들은 값이 우수한 경우에만 "등가직렬용량" 사양값을 데이터 시트에 기재합니다.

© 2018 Microchip Technology Inc.

Sosc 크리스털 오실레이터의 PPM 테스트 결과

표 1은 PPM 테스트를 사용한 크리스털 오실레이터 목록을 나타냅니다.

표 1: 테스트를 사용한 크리스털 오실레이터의 사양

제조업체 사양값	제조업체/부품번호			
	Abracon ABS07-32.768KHZ-T	**Abracon ABS07L-32.768KHZ-T**	**Abracon ABS06L-32.768KHZ-T**	**Epson MC-306 32.7680K-A0**
CLOAD	12.5 pF	12.5 pF	12.5 pF	12.5 pF
병렬용량	0.9 to 1.2 pF	1.4 pF typical	기재되지 않음	0.9 pF
ESR	최대 70k	80k	100k	50k
주파수 허용오차 (PPM)	±20 PPM	±20 PPM	±20 PPM	±20 PPM
등가직렬용량	기재되지 않음	0.0035 pF	기재되지 않음	0.0018 pF

표 2는 크리스털 오실레이터 PPM 테스트의 결과를 나타냅니다.

표 2: 크리스털 오실레이터 테스트 결과

테스트 번호	C1/C2 (pF)	제조업체/부품번호							
		Abracon ABS07-32.768KHZ-T		**Abracon ABS07L-32.768KHZ-T**		**Abracon ABS06L-32.768KHZ-T**		**Epson MC-306 32.7680K-A0**	
		PPM	**PPM/pF ∆Change Case (n - (n - 1)**	**PPM**	**PPM/pF ∆Change Case (n - (n - 1)**	**PPM**	**PPM/pF ∆Change Case (n - (n - 1)**	**PPM**	**PPM/pF ∆Change Case (n - (n - 1)**
1	75	-152	—	-49	—	-134	—	-37	—
2	68	-134	-3	-34	-2	-121	-2	-34	0
3	52	-101	-2	-12	-1	-82	-2	-28	0
4	47	—	—	-6	-1	—	—	—	—
5	43	-68	-4	6	-3	-51	-4	-18	-1
6	39	-36	-8	—	—	-21	-8	-12	-2
7	33	26	-10	117	-11	37	-9	3	-2
8	25	—	—	—	—	402	-46	113	-14
9	22	144	-11	—	—	—	—	—	—
10	16	437	-49	—	—	—	—	—	—

크리스털 오실레이터 PPM 테스트 결과

트림 민감도 곡선에 관한 중요 내용은 다음과 같습니다
.

- 부하용량이 증가함에 따라 PPM/pF(즉 트림 민감도)는 감소합니다(곡선의 기울기가 완만한 영역에서는 정확도가 보다 안정화됨).
- 반대로 부하용량이 감소함에 따라 PPM/pF는 증가합니다(곡선의 기울기가 급한 영역에서는 정확도가 안정되지 않음).
- 트림 민감도 곡선의 기울기가 완만한 영역에서는 부하용량, PCB 허용오차/편차, PIC32MX의 요인이 정확도에 미치는 영향이 감소합니다.

크리스털 오실레이터의 ESR 사양값이 PIC32MX SOSC 진폭에 미치는 영향

표 3은 크리스털 오실레이터의 ESR 사양값이 PIC32MX Sosc 진폭에 미치는 영향을 나타냅니다.

표 3: 크리스털 오실레이터의 ESR 사양값

제조업체 사양값	제조업체/부품번호			
	Epson MC-306 32.7680K-A0	**Abracon ABS07-32.768KHZ-T**	**Abracon ABS07L-32.768KHZ-T**	**Abracon ABS06L-32.768KHZ-T**
크리스털 ESR	50k	70k	80k	100k
SOSCI 피크-투-피크 전압	2.45V	2V	1.75V	1.5V
SOSCO 피크-투-피크 전압	3.25V	3.1V	3.0V	2.9V

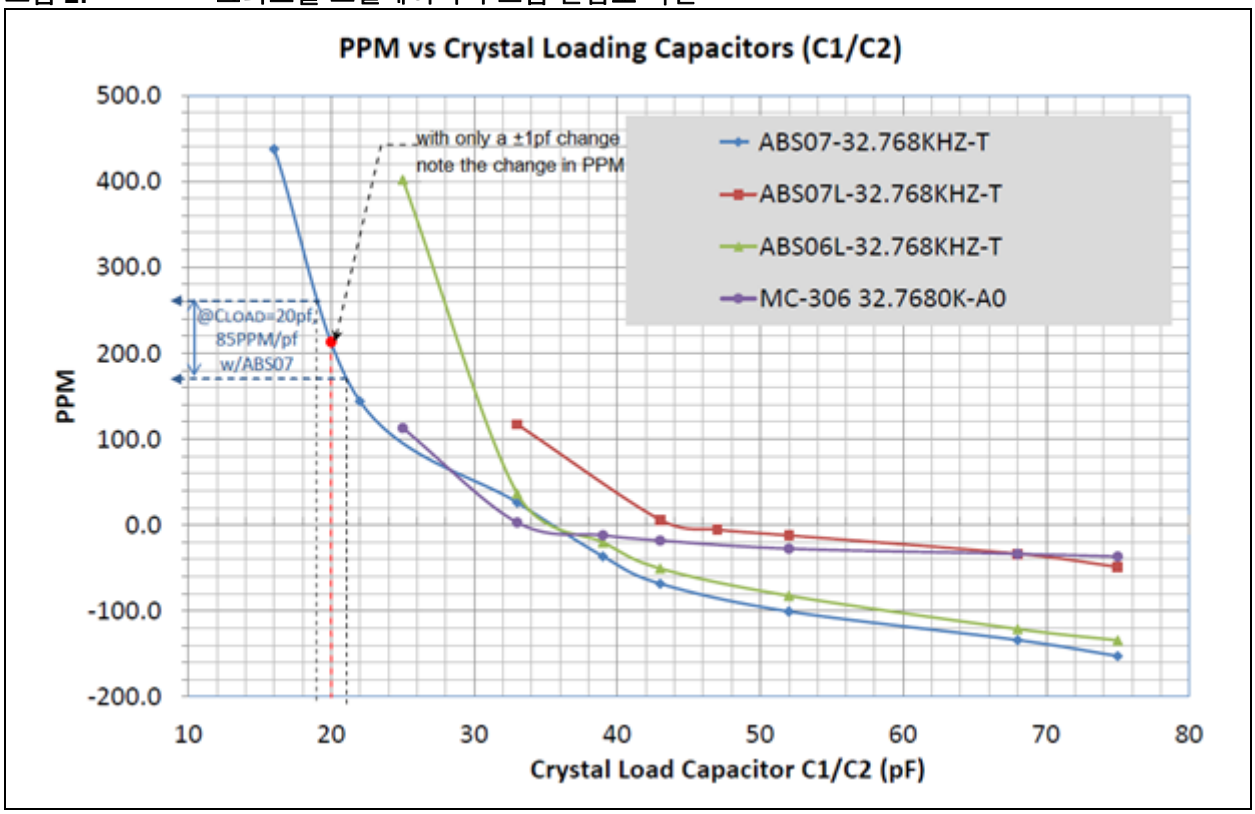
Sosc 진폭은 다음의 영향을 받습니다.

- 크리스털 오실레이터의 ESR 사양값이 클수록 Sosc 진폭은 감소합니다.
- 크리스털 오실레이터의 부하용량이 클수록 Sosc 진폭은 감소합니다.
- SOSCO 직렬 저항을 추가하면 Sosc 진폭은 감소합니다.

크리스털 오실레이터 트림 민감도 테스트 그래프

그림 2는 테스트를 사용한 각 크리스털 오실레이터의 트림 민감도 곡선을 나타냅니다.

그림 2: 크리스털 오실레이터의 트림 민감도 곡선



© 2018 Microchip Technology Inc.

크리스털 오실레이터의 트림 민감도 곡선 요약

트림 민감도 곡선에 관한 주요 내용은 다음과 같습니다.

- 크리스털 오실레이터마다 ESR, 구동 전력 레벨, 등가직렬용량의 사양값이 다르므로 트림 민감도 곡선의 형태는 다릅니다(크리스털 오실레이터 제조업체/품번이 동일하더라도 트림 민감도는 다를 수 있습니다).
- 트림 민감도 곡선의 기울기가 보다 완만(즉 직선)할수록 Sosc 크리스털 오실레이터 회로의 동작은 안정되고, 회로와 부하용량의 변동이 미치는 영향이 작아집니다.
- 등가직렬용량 특성이 우수한 크리스털 오실레이터의 트림 민감도 곡선의 기울기는 보다 완만합니다(따라서 전체적인 안정성이 크게 향상됩니다).

Note: 그림 2에서는 2개의 크리스털 오실레이터가 우수한 트림 민감도 특성을 나타냅니다. 이들의 등가직렬용량 사양값은 제조업체로부터 공시되어 있습니다(표 1). 그러나 그 외의 크리스털 오실레이터의 등가직렬용량값은 표기되어 있지 않습니다.

- PIC32MX 제품군의 Sosc 크리스털 오실레이터 회로는 부하용량이 클수록 안정됩니다.

PIC32MX SOSC 회로의 디자인 목표

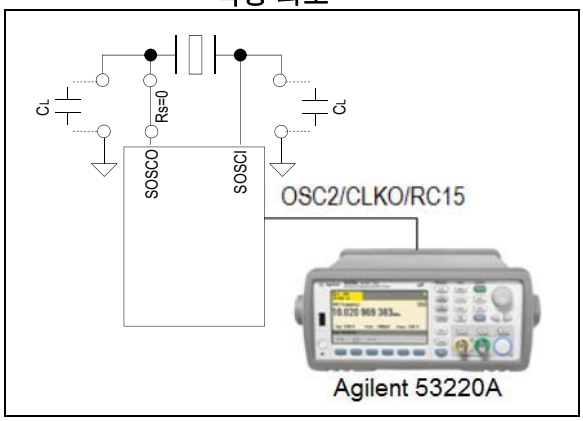
- 우선적인 목표는 초기 PPM이 0이 되는 부하용량을 찾아내는 것이 아니라, 부품 편차, 허용오차, 온도, 전압, 애플리케이션 보드 집적도에 대해 안정적인 PPM을 얻을 수 있는 부하용량을 찾는 것입니다. 중요한 것은 동일한 소프트웨어 설정(즉 동일한 RTCC 조정값(교정값))을 사용하여 모든 제품의 클럭 캘린더 정밀도(낮은 트림 민감도)를 확보하는 것입니다.
- 다음 목표는 회로가 크리스털 오실레이터의 구동 레벨 사양값을 넘지 않도록 하는 것입니다. 구동 레벨을 넘으면 크리스털 오실레이터의 예측 수명이 단축됩니다. 크리스털 오실레이터의 부하는 주로 SOSCI 측의 부하 캐패시터에 의해 결정됩니다. 따라서 부하용량을 크게 하면 Sosc의 PPM 안정성은 향상되지만, 크리스털 오실레이터의 소비전력 요구도 증가합니다. 따라서 PIC32MX SOSCO 핀의 직렬저항을 적절히 설정함으로써 크리스털 오실레이터 단자의 SOSCO 측 전압을 제한하여야 합니다. P = IE이므로 이는 크리스털 오실레이터에 대한 SOSCI 신호를 감쇠시키고, 따라서 크리스털 오실레이터의 부하를 줄여 줍니다.

PIC32MX Sosc 회로 부품의 선정(1/2)

1. 최종적인 PCB 상의 Sosc 회로를 그림 3의 구성으로 측정합니다.

Note: PPM을 측정할 때에는 Sosc 크리스털 오실레이터의 어떤 핀에도 오실로스코프의 프로브를 연결하지 않습니다. 이는 프로브의 정전용량이 PPM 측정값에 영향을 미치기 때문입니다.

그림 3: Sosc 트림 민감도/부하용량의 측정 회로



2. PIC32MX 오실레이터는 아래와 같이 설정합니다:

   PIC32MX 소프트웨어 설정:

   - DEVCFG1<OSCIOFNC> = 1 //CLKO 활성화
   - DEVCFG1<POSCMOD> = 0b11 //POSC 비활성화
   - DEVCFG1<FSOSCEN> = 1 //Sosc 활성화
   - DEVCFG1<FNOSC> = 0b100 //Sosc를 PIC32MX 클럭 소스로 선택
   - DEVCFG1<IESO> = 0 //2단계 구동을 비활성화
   - 애플리케이션 코드로 `while(1)`루프를 실행
3. 동일 제조업체/동일 품번의 2개의 크리스털 오실레이터를 준비하여 하나를 애플리케이션 보드에 납땜합니다.

Note: 이들 크리스털 오실레이터는 각기 다른 제조 로트로 만들어져야 합니다. 크리스털 오실레이터의 PPM은 제조 로트마다 다르므로 이는 중요합니다. 따라서 이들 2개의 크리스털 오실레이터는 서로 다른 판매처로부터 구입하는 것이 좋습니다.

4. CLOAD 부하 캐패시터(초기 CLOAD = 28 pF)를 PCB에 납땜합니다.
5. PIC32MX에 전원을 공급하고 Agilent 53220A 주파수 카운터(또는 8자리 이상의 정밀도를 갖는 동일 제품)을 사용하여 주파수를 측정합니다.

6. 측정된 주파수와 CLOAD 부하 캐패시터의 값을 표 4에 표시된 스프레드 시트에 기재합니다.

표 4: 스프레드 시트 예제

부하 캐패시터 (pF ±1%)	이상적인 크리스털 오실레이터 주파수	CLKO 핀에서 측정한 주파수(오실레이터 1)	PPM 오실레이터 1	CLKO 핀에서 측정한 주파수(오실레이터 2)	PPM 오실레이터 2
28	32768				
32	32768				
36	32768				
40	32768				
44	32768				
48	32768				
52	32768				
56	32768				
60	32768				

7. PPM은 스프레드 시트 내에서 식 4를 사용하여 계산합니다.

식 4: PPM 계산

$$PPM = \left(\left(\left(\frac{Measured\ PIC32\ CLKO\ Pin\ Frequency}{32768}\right) - 1\right) \cdot 1000000\right)$$

8. 부하용량값 CLOAD를 4 pF 늘립니다(허용오차가 ±1%인 캐패시터를 사용).
9. 부하용량값이 60 pF 이상이 될때까지 4~8단계를 반복합니다.
10. 크리스털 오실레이터를 제조 로트가 다른 제품(제조업체/품번은 동일)으로 교체합니다.

> **Note:** 이들 크리스털 오실레이터는 각기 다른 제조 로트로 만들어져야 합니다. 크리스털 오실레이터의 PPM은 제조 로트마다 다르므로 이는 중요합니다. 따라서 이들 2개의 크리스털 오실레이터는 서로 다른 판매처로부터 구입하는 것이 좋습니다.

11. 4~10단계를 반복한 뒤 12단계로 나아갑니다.
12. Excel 등을 사용하여 2개의 크리스털 오실레이터의 결과를 그래프(X축: CLOAD 부하용량, Y축: PPM)에 표시합니다.
13. 그래프 상의 2개의 트림 민감도 곡선이 서로 교차(또는 가장 근접)하는 위치의 CLOAD 부하용량을 PIC32MX 애플리케이션에 적용합니다.

© 2018 Microchip Technology Inc.

PIC32MX Sosc 회로 부품의 선정(2/2)

파트 2에서는 선정된 부하 캐패시터에 따라 크리스털 오실레이터의 구동 전력 사양값을 넘는 부하가 발생하지 않는 것을 확인합니다. 사양값을 넘는 경우, 크리스털 오실레이터의 수명이 짧아질 가능성이 있습니다. 크리스털 오실레이터의 구동 전력 사양값은 그 크리스털 오실레이터가 소비 가능한 최대 전력입니다. 크리스털 오실레이터에서 관찰된 출력부하(즉 부하용량)가 증가하면 크리스털 오실레이터의 소비전력은 증가합니다. 부하 캐패시터의 용량은 단계 13에 의해 결정되므로 전력 레벨을 감쇠시키려면 신호 진폭을 낮추어야 합니다. 이를 위해 일반적으로는 SOSCO 핀에 직렬 저항 Rs를 삽입합니다. Rs 저항은 Sosc 신호를 감쇠시킵니다. P = IE이므로 Sosc 전압 진폭이 감소하면 크리스털 오실레이터가 요구한 구동 전력 레벨은 낮아집니다.

Note:	직렬 저항 Rs를 추가하면 트림 민감도 곡선은 Y축(PPM) 방향으로 시프트되지만, 트림 민감도 곡선이 교차하는(또는 가장 근접하는) 위치의 부하용량은 변화하지 않습니다. 따라서 위의 모든 순서를 반복할 필요는 없습니다.

크리스털 오실레이터의 소비전력은 각종 방법(오실로스코프의 전류 프로브, 네트워크 분석기, Sosc 정현파와 전류비로부터 PMS 전류를 계산하는 식 등)을 사용하여 측정할 수 있으나 복잡하기 때문에 여기서는 개별 방법에 대해 설명하지 않습니다. 이에 대해서는 인터넷에 검색하여 자세한 정보를 참조하십시오.

이 문서에서는 크리스털 오실레이터의 수명을 중시하지 않으므로 Rs 숏컷(shortcut) 근사법을 사용합니다.

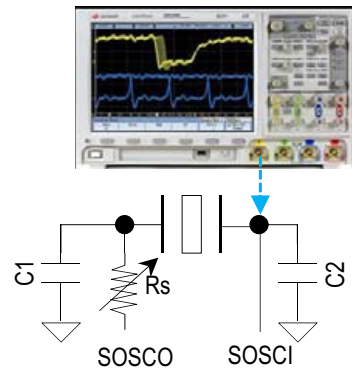
특성화되어 있지 않으나 PIC32MX 제품군 디바이스가 확실히 동작하려면 400 mV 이상의 SOSCI 신호 피크-투-피크 진폭이 필요합니다. SOSCI 신호 진폭이 작은(즉 구동 레벨이 낮고 저전력임) 경우일수록 Sosc의 기동 시간은 길어집니다(최악조건(-40ºC)에서는 약 5초가 소요되는 경우가 있음).

직렬저항 RS 숏컷 근사법 (파트 1에서 계속)

Note:	아래 단계의 최종 목표는 고정 Rs 저항을 사용하여 SOSCI 핀에서 약 600 ~ 900 mV의 전압을 얻는 것입니다(오실로스코프의 프로브를 제외한 상태). 이로 인해 크리스털 오실레이터의 구동 전력을 사양 내의 적절한 범위로 유지할 수 있습니다.

14. Sosc 회로는 그림 4와 같이 구성합니다. Sosc 회로에 영향을 미치는 기생용량을 최소화하기 위해 Sosc 회로의 트레이스/리드 길이는 가능한 짧게 합니다.
    - Rs 포텐셔미터: 다회전, 0-200KΩ, 낮은 인덕턴스, 낮은 정전용량 포텐셔미터 (예: Bourns Inc. P/N3224X-1-204E)

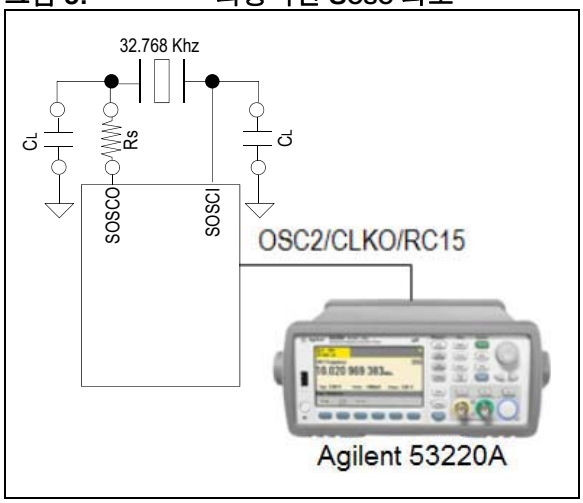
그림 4: Sosc RS 근사 측정법



오실로스코프 프로브와 Rs 포텐셔미터는 Sosc 신호를 약 50 ~ 200mV 감쇠시키는 것과 함께 정전용량과 인덕턴스를 회로에 추가합니다. 이를 보상하기 위해 오실로스코프에서 측정한 SOSCI의 진폭이 약 700 mV(피크-투-피크)가 되도록 포텐셔미터 Rs를 조정합니다. 오실로스코프의 프로브를 제외하고 포텐셔미터 Rs를 고정저항(±1%)으로 교환했을 때의 SOSCI 진폭은 600 ~ 900 mV 범위 내여야 합니다.

15. 오실로스코프의 세로축 단위는 500 mV /div로 하고, SOSCI가 700 mV가 되도록 Rs 포텐셔미터를 조정합니다.
16. Rs 포텐셔미터의 저항값을 측정하고, 이보다 작고 가장 가까운 표준적인 값의 고정저항(표면실장형, ±1%)으로 교환합니다(가장 가깝고 포텐셔미터보다 큰 표준저항값은 사용하지 않습니다).
17. 오실로스코프에서 SOSCI의 진폭을 다시 측정하고, 피크-투-피크가 600 ~ 900 mV.인 범위 내에 있는 것을 확인합니다. 범위 내에 있지 않은 경우 단계 15로 돌아가 Rs 포텐셔미터를 다시 조정합니다. 범위 내에 있으면 단계 18로 나아갑니다.
18. 단계 13에서 선정한 CLOAD 부하 캐패시터(±1%)와 단계 16에서 선정한 고정 Rs 저항(±1%)을 사용하여 Sosc 회로를 그림 5대로 구성합니다.

그림 5: 최종적인 Sosc 회로



19. 7자리 정확도를 갖는 주파수계를 사용하여 PIC32MX CLKO 핀 주파수를 측정하고,
20. 아래 식에 따라 PPM을 계산합니다:

    PPM = (((Measured PIC32 CLKO pin frequency / 32768) - 1) * 1000000)

21. 이 PPM 값을 clocks/minute으로 계산합니다:

    Clocks/min = ((32768 * 60sec * PPM) / 1000000

22. PIC32MX RTCC 모듈은 소프트웨어에서 설정 가능한 조정 레지스터 RTCCON를 내장하고 있습니다. 이 레지스터의 CAL 비트를 사용하면 ±512 clocks/min으로 조정할 수 있습니다. 단계 21에서 구한 clock/min 값에 기반하여 CAL 비트에서 적절한 RTCC 조정값을 선택합니다. 단계 21에서 구한 clocks/min이 음(-)의 값인 경우, CAL 비트에서는 이 값으로 가장 가까운 양 (+)의 clocks/min 값을 선택합니다. 마찬가지로 단계 21에서 구한 clocks/min이 양(+)의 값인 경우, CAL 비트에서는 이 값으로 가장 가까운 음(-)의 clocks/min 값을 선택합니다.
23. 위와 같이 Sosc와 RTCC는 적절히 교정되며 최선의 정확도와 안정성을 얻을 수 있습니다.

PIC32MX 제품군 검증 완료 SOSC/RTCC 레퍼런스 디자인 솔루션

Note:	다음은 검증이 완료된 턴키 솔루션 예제입니다.

이 솔루션에서는 다음 구성 성분을 사용합니다(그림 6 참조):

- PIC32MX330/350/370/430/450/470 마이크로컨트롤러
- 크리스털 오실레이터: ABS07-32.768KHZ-T
- 크리스털 오실레이터 최대 구동 전력 사양값 = 1 µW
- RS = 169k ±1%
- 크리스털 오실레이터의 부하 캐패시터 = 39 pF ±1%

다음은 주요 내용입니다:

- SOSCO 직렬 저항으로 Rs = 169k ±1%를 선택함으로써 크리스털 오실레이터의 구동 전력을 720 nW 이하(28%의 여유를 확보)로 제한합니다.
- 3개의 크리스털 오실레이터(동일 업체/동일 품번 제품을 적어도 2개 이상의 서로 다른 제조 로트로부터 조달)의 트림 민감도 곡선을 측정합니다.
- Rs = 169k ±1%를 추가하면 아직 교정되지 않은 RTCC PPM은 -35 ±5 PMM 에서 -45.8 ±0 PPM으로 변화합니다.
- Rs 저항의 변경 또는 추가에 따라 크리스털 오실레이터의 트림 민감도 곡선은 Y축(PPM) 방향으로 시프트되지만, X축(부하용량) 방향으로는 시프트되지 않습니다. 따라서 곡선끼리 서로 가까워지는(또는 교차하는) 위치의 부하용량은 변화하지 않습니다.

트림 민감도 곡선에 기반한 Sosc PPM 계산

그림 7에 따라 PPM은 아래와 같이 계산할 수 있습니다.

미교정 PPM: -45.8 PPM @ 39 pF ±1%.

미교정 오차 = ((32768 * 60 sec * (-45.8) PPM) / 1000000 = -90.046 clocks/min.

PIC32MX RTCCON<CAL> = 0b0001011010; //비트로 RTCC 교정값 = +90 clock pulses/minute를 선택:

- RTCC 교정 후의 clocks/min 정확도

  = -0.046 clocks/min //(90 - 90.046)

- RTCC 교정 후의 sec/month 정확도

  = ((60 * -0.046 clocks/min * 24 * 30) / 32768)

  = -0.06 sec/month

  교정 후의 등가 PPM = [-0.060645 / (60 * 60 * 24 * 30)] * 1000000 = -0.0234 PPM

Note:	위의 값은 크리스털 오실레이터의 주파수 허용오차(±PPM)와 마이크로컨트롤러의 제조 공정에 따른 오차를 포함하지 않습니다. 자세한 내용은 **"최악 조건에서의 PPM 정확도"**를 참조하십시오.

최악 조건에서의 PPM 정확도

이론적으로 구할 수 있는 최악조건에서의 애플리케이션 총 정확도는 다음과 같습니다.

- = [Non-Silicon Accuracy + PIC32 Process err +Crystal Frequency Tolerance]
- = [-0.0234 + (±5) + (±20)]
- = ±25 PPM (Worst case considering all error sources)

© 2018 Microchip Technology Inc.

표 5: 레퍼런스 디자인의 SOSC+RTCC 총 정확도

Typical	Maximum
±15 PPM	±25 PPM

그림 6: 검증 완료된 PIC32MX Sosc 크리스털 오실레이터 솔루션

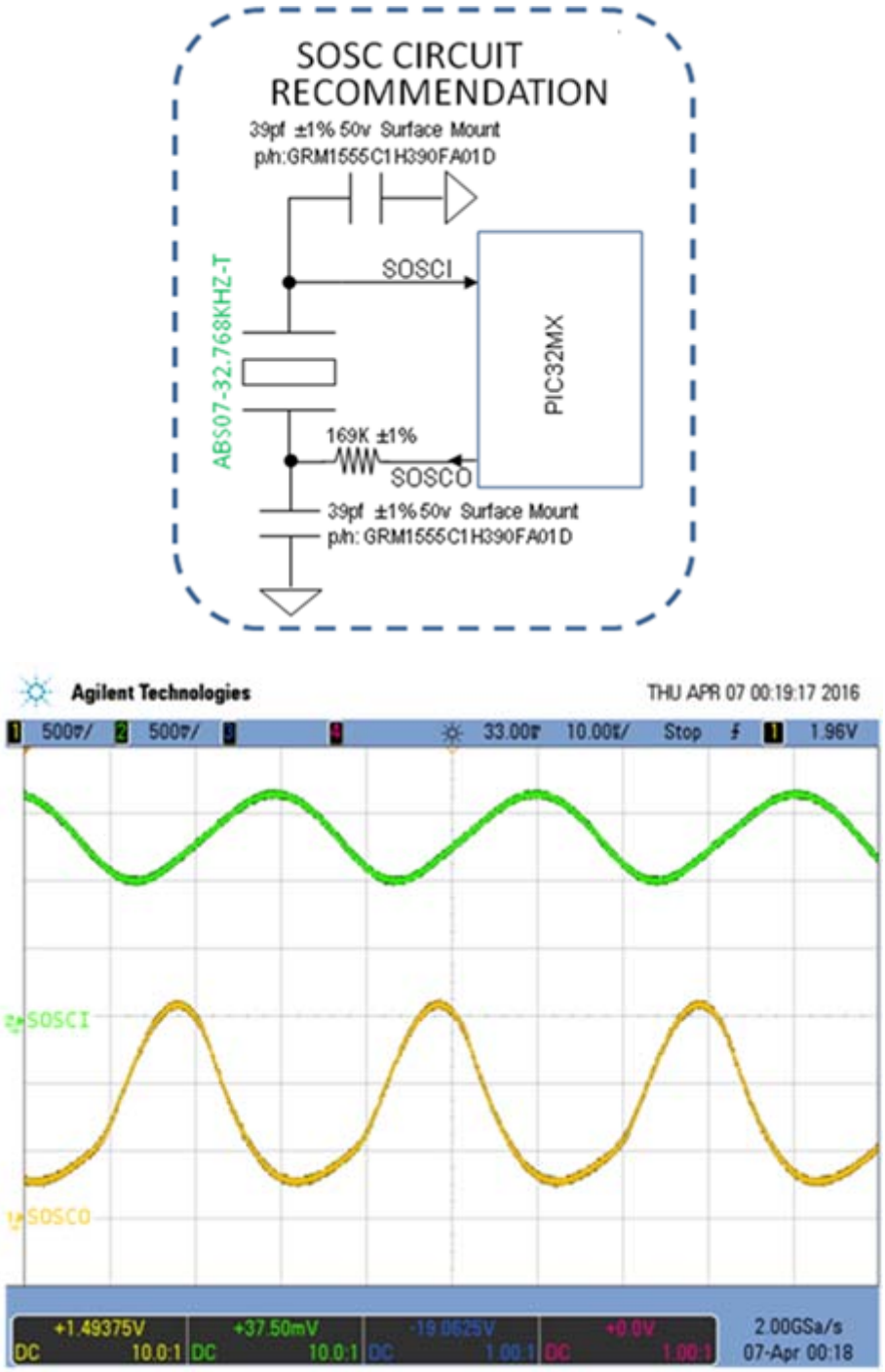
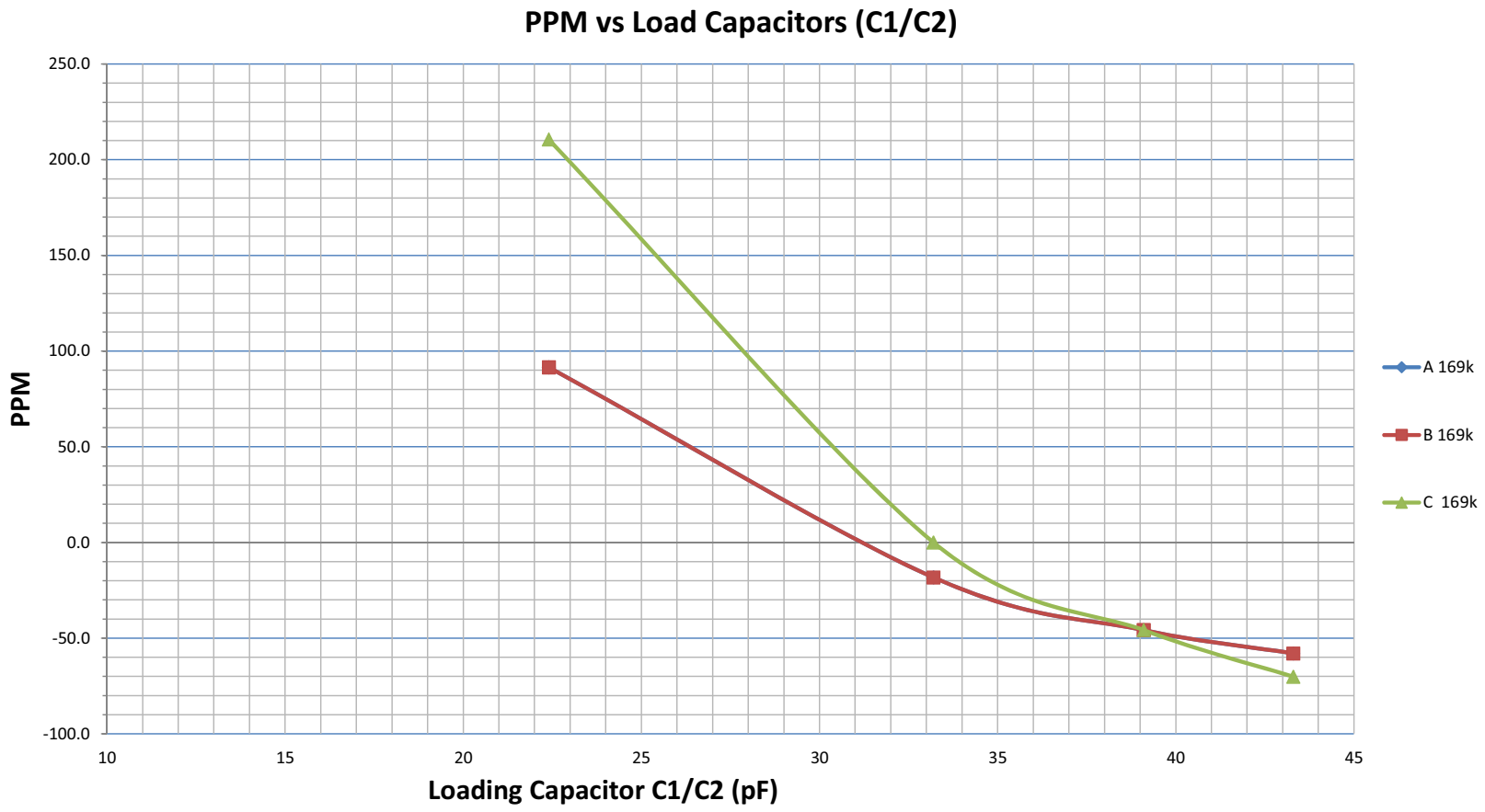


그림 7: 다수의 동일 타입 크리스털 오실레이터 (ABS07-32.768 KHZ-T) 로 측정한 트림 민감도 곡선



© 2018 Microchip Technology Inc.

주요 내용

Note:	이는 모든 동일 제조업체/동일 품번 크리스털 오실레이터입니다.

그림 7은 제조 로트가 다른 크리스털 오실레이터를 사용하여 테스트하는 것의 중요성을 나타냅니다. 2개의 크리스털 오실레이터(A와 B)의 제조 로트는 동일합니다. A의 곡선은 B의 곡선 아래에 감추어져 보이지 않습니다. 즉 A와 B의 트림 민감도 곡선은 모두 동일하므로, 2개의 민감도 곡선이 교차 또는 가장 가까이 접근하는 위치(즉 집적도 대비 가장 안정적인 Sosc 동작이 가능한 적정 부하용량)를 특정할 수는 없습니다. 크리스털 오실레이터 C는 A 및 B와는 다른 판매자로부터 구입한 것이므로, 제조일도 다릅니다. C의 특성은 A 및 B와는 약간 다르므로 트림 곡선끼리 교차(또는 가장 가까운)하는 위치의 부하용량(이 예에서는 39 pF ±1%)를 특정할 수 있습니다.

Note:	트린 민감도 곡선끼리 교차하지 않는 경우도 있으나 가장 가까이 접근하는 위치는 마찬가지입니다. 기울기가 거의 수평인 영역에서 곡선끼리 교차 또는 가장 가까이 접근하는 위치의 부하용량값을 선택합니다.

동일한 제조업체/품번을 갖는 크리스털 오실레이터라도, 제조 공정(PPM 및 ESR 사양값의 허용오차)으로 인해 트림 민감도 곡선은 달라집니다.

결론

PIC32MX 제품군 디바이스에서 애플리케이션의 동작 범위와 집적도에 따른 Sosc RTCC의 정밀도/안정성은 Sosc 트림 민감도 특성에 따라 영향을 받습니다. 이 문서에서는 이에 간련된 각종 영향 인자에 대해 설명했습니다. 안정된 RTCC 정밀도를 얻으려면 부하용량에 대한 PPM 그래프(트림 민감도 곡선)에 대해 곡선의 기울기가 거의 수평인 영역에서 PPM이 서로 가장 가까운 위치의 부하용량을 선정하고, RTCC 조정 비트를 사용하여 오차를 적절히 보상(RTCC clocks/minute를 증감) 하여야 합니다. 동일 제조업체/품번을 갖는 크리스털 오실레이터를 사용하는 한 이 교정 방법은 하나의 애플리케이션 보드를 사용하여 한 번만 실행하며, 그 결과를 모든 애플리케이션 보드에 적용함으로써 보드마다의 편차를 최소한으로 줄알 수 있습니다.

NOTES:

© 2018 Microchip Technology Inc.

Microchip 디바이스의 코드 보호 기능에 대한 자세한 내용은 다음과 같습니다:

• Microchip 제품은 특정 Microchip 데이터 시트에 포함된 사양을 충족합니다.

• Microchip 은 자사 제품군을 의도한 방식에 따라 정상 조건에서 사용할 경우 현재 시장에 출시된 동종 제품 중 가장 안전한 제품군으로 봅니다.

• 코드 보호 기능을 훼손하는 데 부정 및 심지어 불법적인 수단까지 이용되고 있습니다. Microchip 이 알고 있는 바에 따르면, 이러한 모든 수단을 이용하기 위해서는 Microchip 데이터 시트에 포함된 작동 사양 외의 방법으로 Microchip 제품을 사용해야 합니다 . 대부분의 경우 이러한 행위를 하는 자는 지적 자산 도용과 연관되어 있습니다.

• Microchip 은 코드 안전성에 대해 우려하는 고객과 협력하고자 합니다.

• Microchip 이나 다른 반도체 제조업체도 코드 안전성을 보장할 수 없습니다. 코드 보호는 Microchip 이 제품의 " 침해 불가능성 " 을 보증한다는 의미가 아닙니다.

코드 보호는 지속적으로 발전하고 있습니다. Microchip 은 당사 제품의 코드 보호 기능을 지속적으로 개선하기 위해 노력하고 있습니다.

Microchip 의 코드 보호 기능을 훼손하려는 시도는 디지털 밀레니엄 저작권법 (Digital Millennium Copyright Act) 위반에 해당할 수 있습니다.

이러한 행위에 의해 귀하의 소프트웨어 또는 기타 저작권을 소유한 작업물에 무단 액세스가 이루어졌다면 해당 법률을 근거로 소송을 제기할 수있습니다.

디바이스 애플리케이션 및 유사 내용과 관련하여 본 출판물에 포함된 정보는 귀하의 편의를 위해 제공된 것이며 업데이트로 대체될 수 있습니다. 귀하의 애플리케이션이 해당 사양을 충족하는지 확인하는 것은 귀하의 책임입니다. Microchip은 정보와 관련하여 명시적, 묵시적, 서면, 구두, 법적 또는 다른 보증이나 진술을 하지 않으며, 여기에는 조건, 품질, 성능, 상업성, 특정 목적에의 적합성을 포함하되 이에 제한되지 않습니다. Microchip은 이 정보 및 이 정보의 사용으로 발생한 모든 책임을 부인합니다. Microchip 디바이스를 생명 유지 및 / 또는 안전 애플리케이션 용도로 사용하는 위험은 전적으로 구매자에게 있으며, 구매자는 그러한 사용으로 인해 발생한 모든 손해, 청구, 소송 또는 비용으로부터 Microchip을 옹호, 보호하며 배상을 약속하는 데 동의합니다. Microchip 지적 재산권 하에 어떠한 라이센스도 묵시적 또는 다른 방식으로 제공되지 않습니다.

Microchip 은 세계 본사 , 애리조나 주 챈들러 및 템피 , 오리건 주 그레샘의 설계 및 웨이퍼 가공 설비와 캘리포니아 주 및 인도의 설계 센터에 대해 ISO/TS-16949:2009 인증을 획득하였습니다. Microchip 의 고품질 시스템 프로세스 및 절차는 PIC® MCU 및 dsPIC® DSC, KEELOQ® 코드 호핑 디바이스, 직렬 EEPROM, 마이크로 주변장치, 비휘발성 메모리 및 아날로그 제품에 적용되고 있습니다. Microchip 의 개발 시스템의 설계 및 제조를 위한 품질 시스템도 ISO 9001:2000 인증을 획득하였습니다.

QUALITY MANAGEMENT SYSTEM
CERTIFIED BY DNV
═ ISO/TS 16949 ═

상표

Microchip 이름과 로고, Microchip 로고, AnyRate, AVR, AVR 로고, AVR Freaks, BeaconThings, BitCloud, CryptoMemory, CryptoRF, dsPIC, FlashFlex, flexPWR, Heldo, JukeBlox, KEELOQ, KEELOQ logo, Kleer, LANCheck, LINK MD, maXStylus, maXTouch, MediaLB, megaAVR, MOST, MOST 로고, MPLAB, OptoLyzer, PIC, picoPower, PICSTART, PIC32 로고, Prochip Designer, QTouch, RightTouch, SAM-BA, SpyNIC, SST, SST 로고, SuperFlash, tinyAVR, UNI/O, XMEGA 는 미국 및 기타 국가에서 Microchip 의 등록 상표입니다.

ClockWorks, The Embedded Control Solutions Company, EtherSynch, Hyper Speed Control, HyperLight Load, IntelliMOS, mTouch, Precision Edge, Quiet-Wire는 미국에서 Microchip Technology Incorporated의 등록 상표입니다.

Adjacent Key Suppression, AKS, Analog-for-the-Digital Age, Any Capacitor, AnyIn, AnyOut, BodyCom, chipKIT, chipKIT 로고, CodeGuard, CryptoAuthentication, CryptoCompanion, CryptoController, dsPICDEM, dsPICDEM.net, Dynamic Average Matching, DAM, ECAN, EtherGREEN, In-Circuit Serial Programming, ICSP, Inter-Chip Connectivity, JitterBlocker, KleerNet, KleerNet logo, Mindi, MiWi, motorBench, MPASM, MPF, MPLAB Certified logo, MPLIB, MPLINK, MultiTRAK, NetDetach, Omniscient Code Generation, PICDEM, PICDEM.net, PICkit, PICtail, PureSilicon, QMatrix, RightTouch logo, REAL ICE, Ripple Blocker, SAM-ICE, Serial Quad I/O, SMART-I.S., SQI, SuperSwitcher, SuperSwitcher II, Total Endurance, TSHARC, USBCheck, VariSense, ViewSpan, WiperLock, Wireless DNA, and ZENA는 미국 및 기타 국가에서 Microchip 의 상표입니다.

SQTP는 미국에서 Microchip Technology Incorporated 의 서비스 마크입니다.

Silicon Storage Technology는 기타 국가에서 Microchip Technology Incorporated 의 등록 상표입니다.

GestIC는 기타 국가에서 Microchip Technology Inc.,의 자회사인 Microchip Technology Germany II GmbH & Co.KG 의 등록 상표입니다.

위에 언급된 다른 모든 상표는 각각 해당 회사의 자산입니다.

© 2018, Microchip Technology Incorporated, All Rights Reserved.

ISBN: 978-1-5224-2654-7

각국의 영업소 및 서비스

미주

본사
2355 West Chandler Blvd.
Chandler, AZ 85224-6199
Tel: 480-792-7200
Fax: 480-792-7277
기술지원 :
http://www.microchip.com/support
웹사이트 :
www.microchip.com
아틀란타
Duluth, GA
Tel: 678-957-9614
Fax: 678-957-1455
오스틴 , TX
Tel: 512-257-3370
보스턴
Westborough, MA
Tel: 774-760-0087
Fax: 774-760-0088
시카고
Itasca, IL
Tel: 630-285-0071
Fax: 630-285-0075
클리블랜드
Independence, OH
Tel: 216-447-0464
Fax: 216-447-0643
달라스
Addison, TX
Tel: 972-818-7423
Fax: 972-818-2924
디트로이트
Novi, MI
Tel: 248-848-4000
휴스턴 , TX
Tel: 281-894-5983
인디애나폴리스
Noblesville, IN
Tel: 317-773-8323
Fax: 317-773-5453
로스앤젤레스
Mission Viejo, CA
Tel: 949-462-9523
Fax: 949-462-9608
뉴욕 , NY
Tel: 631-435-6000
새너제이 , CA
Tel: 408-735-9110
캐나다 - 토론토
Tel: 905-673-0699
Fax: 905-673-6509

아시아 / 태평양

아태평양 지사
Suites 3707-14, 37th Floor
Tower 6, The Gateway
Harbour City, Kowloon
홍콩
Tel: 852-2943-5100
Fax: 852-2401-3431
호주 - 시드니
Tel: 61-2-9868-6733
Fax: 61-2-9868-6755
중국 - 베이징
Tel: 86-10-8569-7000
Fax: 86-10-8528-2104
중국 - 청두
Tel: 86-28-8665-5511
Fax: 86-28-8665-7889
중국 - 충칭
Tel: 86-23-8980-9588
Fax: 86-23-8980-9500
중국 - 동관
Tel: 86-769-8702-9880
중국 - 항저우
Tel: 86-571-8792-8115
Fax: 86-571-8792-8116
중국 - 홍콩 SAR
Tel: 852-2943-5100
Fax: 852-2401-3431
중국 - 난징
Tel: 86-25-8473-2460
Fax: 86-25-8473-2470
중국 - 칭다오
Tel: 86-532-8502-7355
Fax: 86-532-8502-7205
중국 - 상하이
Tel: 86-21-5407-5533
Fax: 86-21-5407-5066
중국 - 센양
Tel: 86-24-2334-2829
Fax: 86-24-2334-2393
중국 - 센젠
Tel: 86-755-8864-2200
Fax: 86-755-8203-1760
중국 - 우한
Tel: 86-27-5980-5300
Fax: 86-27-5980-5118
중국 - 시안
Tel: 86-29-8833-7252
Fax: 86-29-8833-7256

아시아 / 태평양

중국 - 샤먼
Tel: 86-592-2388138
Fax: 86-592-2388130
중국 - 주하이
Tel: 86-756-3210040
Fax: 86-756-3210049
인도 - 방갈로르
Tel: 91-80-3090-4444
Fax: 91-80-3090-4123
인도 - 뉴델리
Tel: 91-11-4160-8631
Fax: 91-11-4160-8632
인도 - 푸네
Tel: 91-20-3019-1500
일본 - 오사카
Tel: 81-6-6152-7160
Fax: 81-6-6152-9310
일본 - 도쿄
Tel: 81-3-6880- 3770
Fax: 81-3-6880-3771
한국 - 대구
Tel: 82-53-744-4301
Fax: 82-53-744-4302
한국 - 서울
Tel: 82-2-554-7200
Fax: 82-2-558-5932 or
82-2-558-5934
말레이시아 - 쿠알라룸푸르
Tel: 60-3-6201-9857
Fax: 60-3-6201-9859
말레이시아 - 페낭
Tel: 60-4-227-8870
Fax: 60-4-227-4068
필리핀 - 마닐라
Tel: 63-2-634-9065
Fax: 63-2-634-9069
싱가포르
Tel: 65-6334-8870
Fax: 65-6334-8850
대만 - 신주
Tel: 886-3-5778-366
Fax: 886-3-5770-955
대만 - 까오슝
Tel: 886-7-213-7828
대만 - 타이페이
Tel: 886-2-2508-8600
Fax: 886-2-2508-0102
태국 - 방콕
Tel: 66-2-694-1351
Fax: 66-2-694-1350

유럽

오스트리아 - 벨스
Tel: 43-7242-2244-39
Fax: 43-7242-2244-393
덴마크 - 코펜하겐
Tel: 45-4450-2828
Fax: 45-4485-2829
프랑스 - 파리
Tel: 33-1-69-53-63-20
Fax: 33-1-69-30-90-79
독일 - 뒤셀도르프
Tel: 49-2129-3766400
독일 - 카를스루헤
Tel: 49-721-625370
독일 - 뮌헨
Tel: 49-89-627-144-0
Fax: 49-89-627-144-44
이탈리아 - 밀라노
Tel: 39-0331-742611
Fax: 39-0331-466781
이탈리아 - 베니스
Tel: 39-049-7625286
네덜란드 - 드루넨
Tel: 31-416-690399
Fax: 31-416-690340
폴란드 - 바르샤바
Tel: 48-22-3325737
스페인 - 마드리드
Tel: 34-91-708-08-90
Fax: 34-91-708-08-91
스웨덴 - 스톡홀름
Tel: 46-8-5090-4654
영국 - 워킹엄
Tel: 44-118-921-5800
Fax: 44-118-921-5820

11/07/16

© 2018 Microchip Technology Inc.