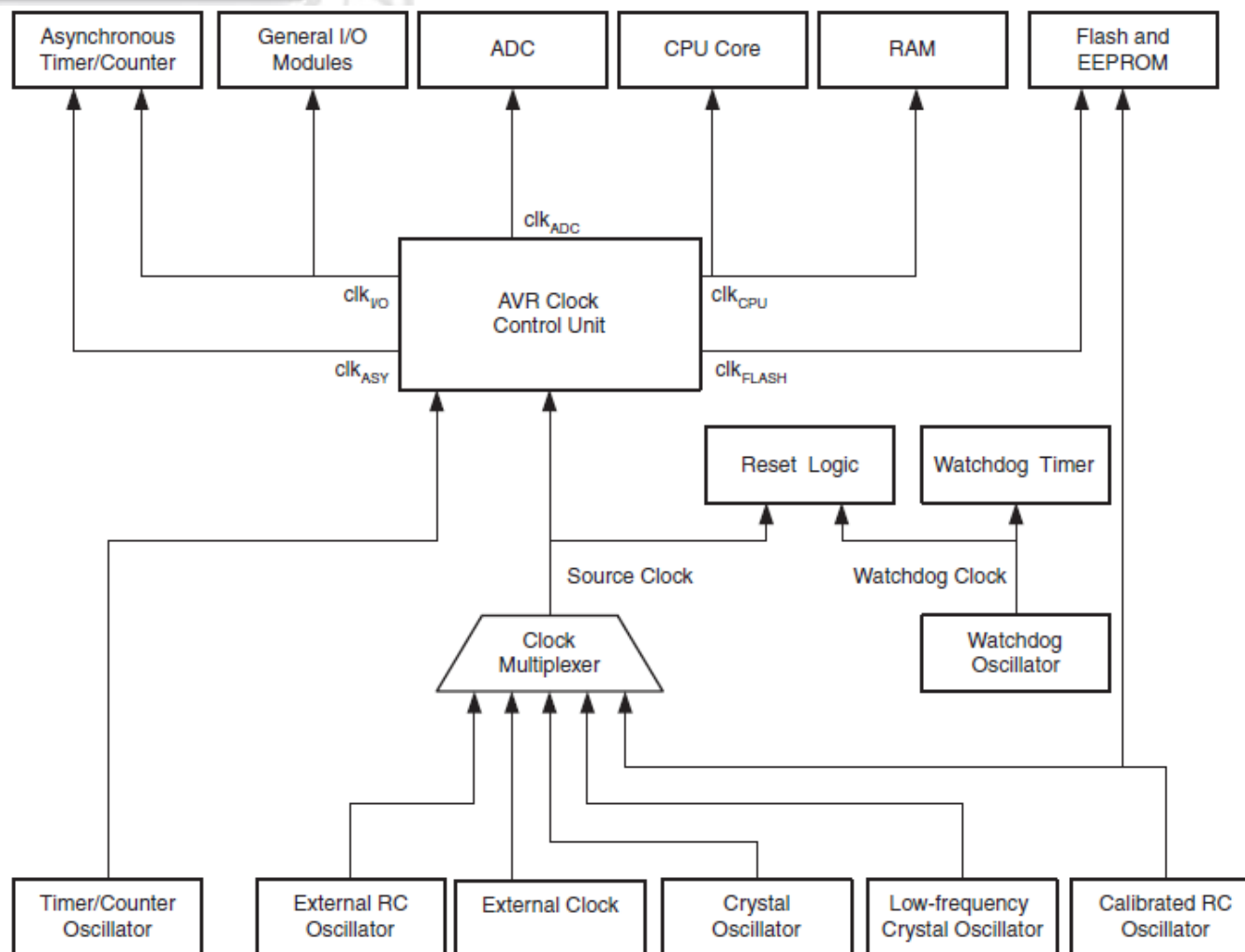




سیستم ساعت و گزینه های آن

در میکروکنترلرهای خانواده AVR

سیستم ساعت و گزینه‌های آن در میکروکنترلرهای AVR



سیستم ساعت و گزینه‌های آن

- در یک زمان مشخص، نیازی به فعال بودن همه پالس‌های ساعت نمی‌باشد.
- برای کاهش مصرف توان، پالس‌های ساعتی که به ماژول‌های غیرفعال می‌روند را می‌توان به طور کامل متوقف یا توسط روش‌های مختلف مدیریت توان و حالت‌های خواب، در وضعیت خواب قرار داد.
- منابع ساعت:
 - ساعت CPU
 - ساعت ورودی/خروجی
 - ساعت فلش
 - ساعت زمان سنج ناهمگام
 - ساعت ADC

سیستم‌های ساعت و توزیع آن‌ها

ساعت CPU (clk_{CPU}):

- ساعت CPU به ماژول‌های مختلف میکروکنترلر که با هسته آن در ارتباط هستند منتقل می‌شود.
- بعضی از این ماژول‌ها عبارتند از فایل‌ثبات همه منظوره، ثبات وضعیت و اشاره‌گر پشته
- متوقف کردن ساعت CPU، هسته را از انجام عملیات و محاسبات عمومی باز می‌دارد.

سیستم‌های ساعت و توزیع آن‌ها

ساعت ورودی/خروجی‌ها ($\text{clk}_{\text{I/O}}$):

- ساعت ورودی/خروجی، توسط اغلب ماژول‌های ورودی/خروجی مانند زمان‌سنج/شمارنده، SPI و USART، TWI و ماژول‌های وقفه خارجی استفاده می‌شود.

البته باید توجه داشت که برخی از وقفه‌های خارجی توسط مدارات منطقی ناهمگام موجود بر روی ورودی وقفه تشخیص داده می‌شوند که به این وقفه‌ها اجازه می‌دهد که حتی در حالت خاموش بودن ساعت ورودی/خروجی تشخیص داده شوند.

- همچنین باید توجه داشت که شناسایی آدرس در ماژول‌های TWI هنگامی که $\text{clk}_{\text{I/O}}$ متوقف باشد به صورت ناهمگام انجام می‌شود که این مهم، دریافت آدرس TWI را در تمام حالت‌های خواب میسر می‌سازد.

سیستم‌های ساعت و توزیع آن‌ها

ساعت فلش ($\text{clk}_{\text{FLASH}}$):

- ساعت فلش عملیات مربوط به واسط فلش را کنترل می‌کند. ساعت فلش معمولاً به صورت همزمان با ساعت CPU فعال است.

ساعت زمان سنج ناهمگام (clk_{ASY}):

- ساعت زمان سنج ناهمگام اجازه می‌دهد که زمان سنج/شمارنده ناهمگام به صورت مستقیم از ساعت کریستال ۳۲ کیلوهرتز خارجی استفاده کند.
- این منبع ساعت اختصاصی باعث می‌شود که بتوان از زمان سنج/شمارنده به عنوان یک شمارنده بلادرنگ، حتی زمانی که دستگاه در حالت خواب به سر می‌برد، استفاده کرد.

سیستم‌های ساعت و توزیع آن‌ها

ساعت ADC (clk_{ADC}):

- این ساعت، یک ساعت اختصاصی برای ADC است.
- این موضوع امکان توقف ساعت CPU و ساعت ورودی/خروجی به منظور کاهش نویز تولید شده توسط مدارهای رقمی را فراهم می‌نماید.
- بدین شکل عملیات تبدیل ADC صحیح‌تر انجام می‌شود.

انتخاب منابع ساعت

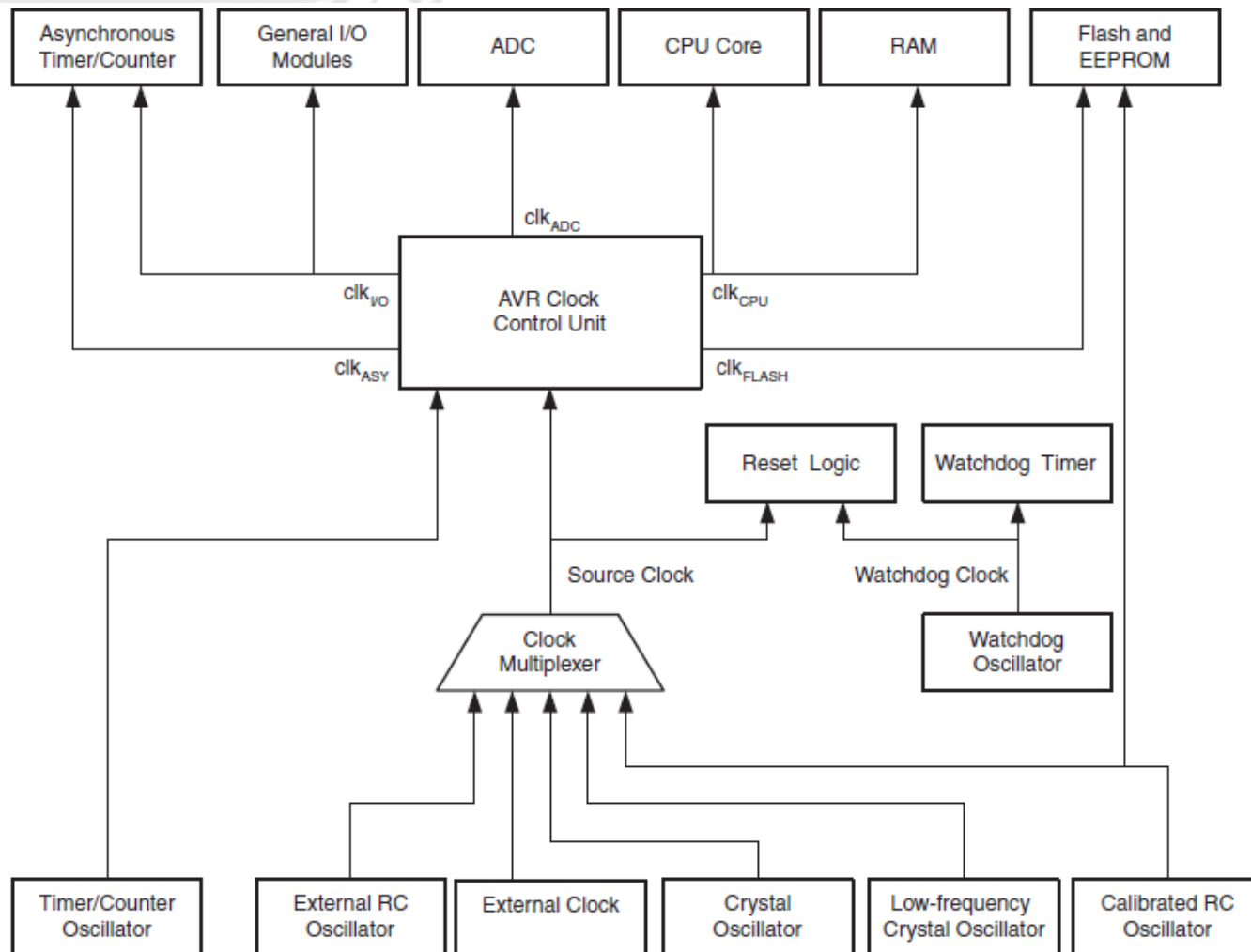
- میکروکنترلر می تواند از منابع ساعت مختلفی استفاده کند.
- انتخاب منبع ساعت توسط بیت های فیوز که در جدول زیر آمده انتخاب می شود.
- سیگنال ساعت از منبع انتخاب شده به مولد ساعت میکروکنترلر وارد شده و به ماژول های مناسب مسیردهی می شود.

توجه: برای همه فیوزها 1 به معنی برنامه ریزی نشده و 0 به معنی برنامه ریزی شده می باشد.

| Device Clocking Option | CKSEL3..0 |
|------------------------------------|-------------|
| External Crystal/Ceramic Resonator | 1111 - 1010 |
| External Low-frequency Crystal | 1001 |
| External RC Oscillator | 1000 - 0101 |
| Calibrated Internal RC Oscillator | 0100 - 0001 |
| External Clock | 0000 |

گزینه های انتخاب ساعت میکروکنترلر

سیستم ساعت و گزینه‌های آن



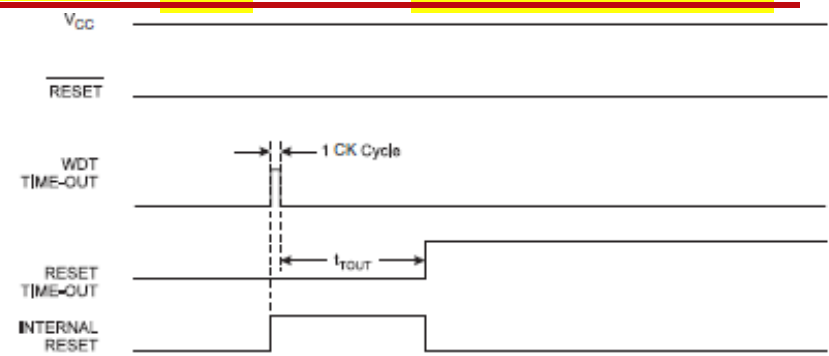
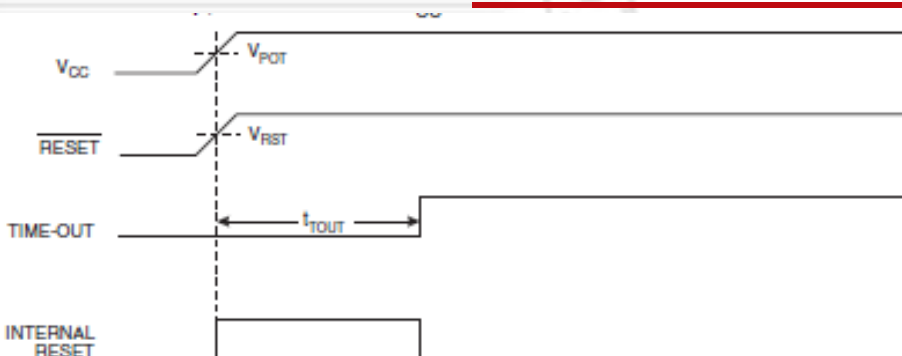
منابع ساعت

۱- هنگامی که CPU از حالت خاموش (power down) یا صرفه جویی توان (power save) خارج می شود، یک زمان **time-out** (مهلت) باید سپری شود تا پایداری عملکرد نوسان ساز پیش از شروع اجرای دستورالعمل ها تضمین شود. منبع ساعت انتخاب شده برای زمانبندی روند راه اندازی میکروکنترلر و تولید **time-out** فوق استفاده می شود.

۲- هنگامی که CPU بعد از یک **بازنشانی** شروع بکار می کند، یک **تاخیر اضافه** نیاز دارد تا ولتاژ تغذیه میکروکنترلر خاموش بعد از **start-up** و قبل از شروع عملیات عادی به یک سطح پایدار برسد (شکل سمت چپ).

۳- بعد از **بازنشانی** میکروکنترلر توسط **زمان سنج نگهبان**، نیز باید زمان **time-out** سپری شود تا پس از آن میکروکنترلر به کار عادی خود بازگردد (شکل سمت راست).

از ساعت نوسان ساز نگهبان برای ایجاد تاخیر و **time-out** در موارد ۲ و ۳ استفاده می شود.



منابع ساعت

- میکروکنترلر در زمان فروش به صورت پیش فرض با مقادیر بیت های فیوز زیر برنامه ریزی شده است:

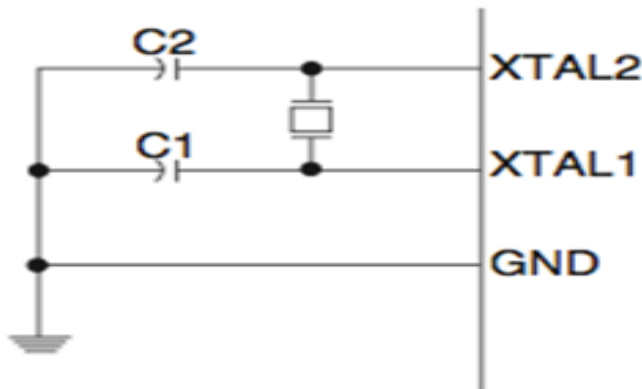
$SUT = "10"$ و $CKSEL = "0001"$

SUT: سرواژه حاصل از کلمات Start Up Time
CKSEL: از واژه های ClocK SElect گرفته شده است.

نوسان ساز کریستالی

• XTAL1 و XTAL2 به ترتیب ورودی و خروجی مدار داخلی (تقویت کننده) می باشند که می تواند به عنوان یک نوسان ساز سوار بر تراشه، نشان داده شده در شکل زیر، مورد استفاده قرار گیرد.

• می توان از یک کریستال کوارتز یا یک تشدید ساز سرامیکی استفاده نمود.



نحوه اتصال کریستال
نوسان ساز

نوسان ساز کریستالی

- فیوز CKOPT بین دو حالت برنامه ریزی شده و غیر برنامه ریزی شده برای تقویت کننده نوسان ساز یکی را انتخاب می کند.
 - وقتی CKOPT برنامه ریزی شود، خروجی نوسان ساز یک نوسان کامل با افت و خیز از حداقل تا حداکثر ولتاژ خواهد داشت:
 - این حالت هنگام کار در محیط های با نویز زیاد یا هنگامی که خروجی حاصل از XTAL2 یک ساعت دیگر را راه اندازی می کند مناسب می باشد.
 - این حالت محدوده فرکانسی وسیعی دارد.
 - وقتی که CKOPT برنامه ریزی نشود، خروجی نوسان ساز افت و خیز کمتری در دامنه خواهد داشت:
 - این موضوع کاهش توان مصرفی چشم گیری را موجب خواهد شد.
 - این حالت محدوده فرکانسی کوچکتری دارد
- توجه: برای همه فیوزها 1 به معنی برنامه ریزی نشده و 0 به معنی برنامه ریزی شده می باشد.**

نوسان ساز کریستالی

- نوسان ساز می تواند در **چند** حالت متفاوت کار کند که هر کدام برای یک محدوده فرکانسی خاص بهینه است.
- حالت کاری توسط فیوزهای CKSEL3...1 تعیین می شود.
- فیوز CKSEL0 به همراه فیوزهای SUT1...0 زمان راه اندازی را مشخص می کنند.

| CKOPT | CKSEL3..1 | Frequency Range (MHz) | Recommended Range for Capacitors C1 and C2 for Use with Crystals (pF) |
|-------|--------------------|-----------------------|---|
| 1 | 101 ⁽¹⁾ | 0.4 - 0.9 | — |
| 1 | 110 | 0.9 - 3.0 | 12 - 22 |
| 1 | 111 | 3.0 - 8.0 | 12 - 22 |
| 0 | 101, 110, 111 | $1.0 \leq$ | 12 - 22 |

توجه ۱: این گزینه تنها باید برای تشدیدسازهای سرامیکی استفاده شوند و نه برای کریستال ها

نوسان ساز کریستالی

زمان‌های start-up بعد از حالات صرفه‌جویی در توان (مثل حالات power down و power save) در حالت انتخاب ساعت نوسان ساز کریستالی

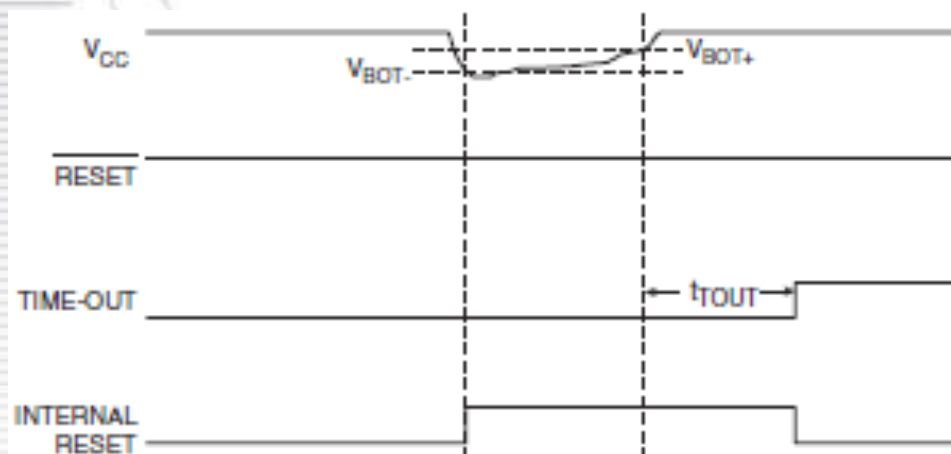
| CKSEL0 | SUT1..0 | Start-up Time from Power-down and Power-save | Additional Delay from Reset ($V_{CC} = 5.0V$) | Recommended Usage |
|--------|---------|--|---|---|
| 0 | 00 | 258 CK ⁽¹⁾ | 4.1 ms | Ceramic resonator, fast rising power |
| 0 | 01 | 258 CK ⁽¹⁾ | 65 ms | Ceramic resonator, slowly rising power |
| 0 | 10 | 1K CK ⁽²⁾ | — | Ceramic resonator, BOD enabled |
| 0 | 11 | 1K CK ⁽²⁾ | 4.1 ms | Ceramic resonator, fast rising power |
| 1 | 00 | 1K CK ⁽²⁾ | 65 ms | Ceramic resonator, slowly rising power |
| 1 | 01 | 16K CK | — | Crystal Oscillator, BOD enabled |
| 1 | 10 | 16K CK | 4.1 ms | Crystal Oscillator, fast rising power |
| 1 | 11 | 16K CK | 65 ms | Crystal Oscillator, slowly rising power |

توجه: ۱. این گزینه‌ها فقط موقعی باید استفاده شوند که فرکانس ساعت نزدیک به بیشینه فرکانس کار آن نباشد و نیز پایداری فرکانس در زمان راه‌اندازی برای کاربرد مورد نظر مهم نباشد. این انتخاب‌ها برای کریستال‌ها مناسب نیستند.

توجه: ۲. این گزینه‌ها برای استفاده با تشدیدسازهای سرامیکی بوده و پایداری را در راه‌اندازی تضمین می‌کنند. آنها را می‌توان با کریستال‌هایی که در فرکانس کاری نزدیک به بیشینه فرکانس کار میکروکنترلر نوسان نمی‌کنند یا در مواردی که پایداری در راه‌اندازی مهم نباشد نیز استفاده نمود.

نوسان ساز کریستالی

زمان های start-up برای انتخاب ساعت نوسان ساز کریستالی

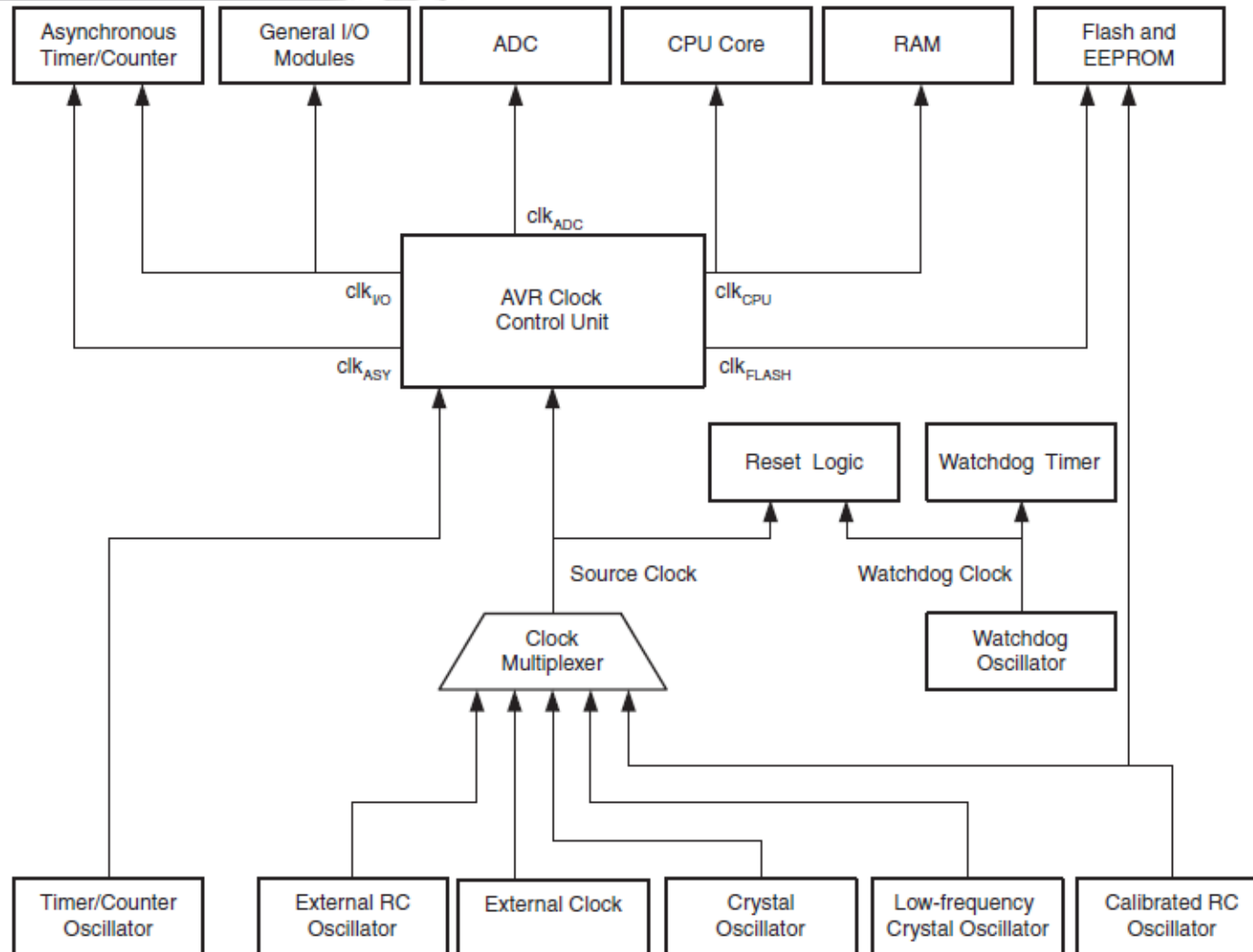


تشخیص BOT: Brown out

نوسان‌سازهای کریستالی فرکانس پایین

- برای استفاده از یک کریستال با فرکانس ۳۲.۷۶۸ کیلوهرتز (از این کریستال در ساعت‌های دیجیتال استفاده می‌شود) به عنوان منبع ساعت میکروکنترلر، نوسان‌ساز کریستالی فرکانس پایین باید با تنظیم فیوزهای CKSEL به صورت 1001 انتخاب شود.
- با برنامه‌ریزی فیوز CKOPT، کاربر می‌تواند از خازن‌های داخلی موجود بر روی پایه‌های XTAL1 و XTAL2 استفاده نماید. بدین ترتیب نیاز به خازن‌های خارجی مرتفع می‌شود.
- خازن‌های داخلی ظرفیت نامی برابر ۳۶ پیکوفاراد دارند.

سیستم ساعت و گزینه های آن



نوسان سازهای کریستالی فرکانس پایین

زمان‌های راه‌اندازی مربوط به انتخاب ساعت نوسان ساز کریستالی فرکانس پایین

- اگر این نوسان ساز انتخاب شود، زمان مربوط به راه‌اندازی توسط فیوزهای SUT مطابق جدول زیر تعیین می‌شود.

| SUT1..0 | Start-up Time from Power-down and Power-save | Additional Delay from Reset ($V_{CC} = 5.0V$) | Recommended Usage |
|---------|--|---|----------------------------------|
| 00 | 1K CK ⁽¹⁾ | 4.1 ms | Fast rising power or BOD enabled |
| 01 | 1K CK ⁽¹⁾ | 65 ms | Slowly rising power |
| 10 | 32K CK | 65 ms | Stable frequency at start-up |
| 11 | Reserved | | |

توجه: ۱. این تنظیمات باید تنها زمانی استفاده شوند که پایداری فرکانس در زمان راه‌اندازی و آغاز کار میکروکنترلر مهم نباشد.

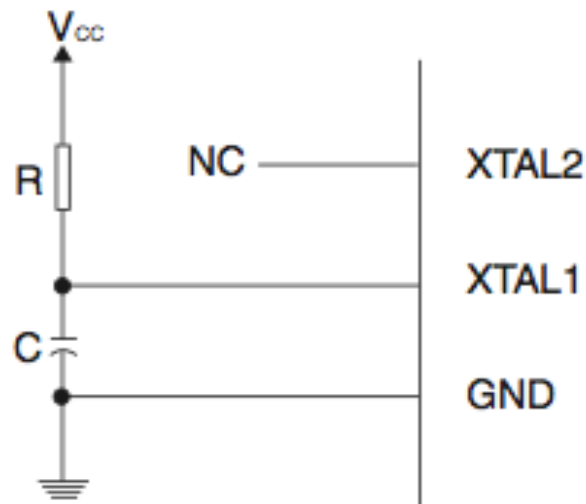
نوسان ساز خارجی با مدار RC

- برای برنامه‌های غیر حساس به زمانبندی که دقت ساعت برای آنها اهمیتی ندارد، می‌توان از مدار RC خارجی استفاده نمود.
- فرکانس بطور تقریبی توسط فرمول $f = 1/(3RC)$ محاسبه می‌شود. C باید حداقل ۲۲ پیکوفاراد باشد.
- با برنامه‌ریزی فیوز CKOPT، کاربر می‌تواند یک خازن داخلی ۳۶ پیکوفاراد را بین XTAL1 و GND فعال کند تا نیازی به خازن خارجی نباشد.

نوسان ساز خارجی با مدار RC

- نوسان ساز می تواند در ۴ حالت متفاوت کار کند که هر کدام از آنها برای یک محدوده فرکانسی خاص بهینه می باشند.
- این حالت کاری توسط فیوزهای CKSEL3...0 تعیین می شود که در جدول زیر دیده می شود.

مدار RC خارجی برای تولید ساعت



| CKSEL3..0 | Frequency Range (MHz) |
|-----------|-----------------------|
| 0101 | 0.1 ≤ 0.9 |
| 0110 | 0.9 - 3.0 |
| 0111 | 3.0 - 8.0 |
| 1000 | 8.0 - 12.0 |

حالت های عملیاتی نوسان ساز RC خارجی

نوسان ساز خارجی با مدار RC

زمان‌های راه‌اندازی برای انتخاب ساعت نوسان ساز RC خارجی

- اگر این نوسان ساز انتخاب شود، زمان راه‌اندازی توسط فیوز SUT تعیین می‌شود.

| SUT1..0 | Start-up Time from Power-down and Power-save | Additional Delay from Reset ($V_{CC} = 5.0V$) | Recommended Usage |
|---------|--|---|----------------------------------|
| 00 | 18 CK | — | BOD enabled |
| 01 | 18 CK | 4.1 ms | Fast rising power |
| 10 | 18 CK | 65 ms | Slowly rising power |
| 11 | 6 CK ⁽¹⁾ | 4.1 ms | Fast rising power or BOD enabled |

توجه ۱: در صورت کار کردن میکروکنترلر در فرکانس کاری نزدیک به بیشینه فرکانس کاری مجاز، این حالت نباید استفاده شود.

نوسان ساز RC کالیبره شده داخلی

- نوسان ساز کالیبره شده داخلی یک ساعت با فرکانس ثابت ۱، ۲، ۴ یا ۸ مگاهرتز را فراهم می سازد.
- همه فرکانس ها مقادیر نامی در شرایط ۵ ولت و ۲۵ درجه سلسیوس می باشند.
- این ساعت می تواند به عنوان ساعت سیستم، توسط برنامه ریزی فیوزهای CKSEL استفاده شود.
- در صورت انتخاب این ساعت هیچ قطعه خارجی مورد نیاز نیست.
- هنگامی که با این ساعت کار می کنیم باید فیوز CKOPT را برنامه ریزی نشده باقی بگذاریم (یعنی CKOPT=1).

نوسان ساز RC کالیبره شده داخلی

- در حال بازنشانی میکروکنترلر، سخت افزار بایت کالیبره سازی را درون ثبات OSCCAL بارگذاری می کند و بدین ترتیب نوسان ساز RC را به صورت خودکار کالیبره می کند.
- در شرایطی که تغذیه میکروکنترلر ۵ ولت است، در دمای ۲۵ درجه سلسیوس و انتخاب نوسان ساز با فرکانس های ۱، ۲، ۴ یا ۸ مگاهرتز، این نوع کالیبره کردن، فرکانسی با دقت ۰.۳٪ فرکانس نامی فراهم می کند.
- اگر این نوسان ساز به عنوان ساعت میکروکنترلر استفاده شود، نوسان ساز نگهبان همچنان برای زمان سنج نگهبان و زمان time-out ریست استفاده می شود.

نوسان ساز RC کالیبره شده داخلی

حالت‌های عملیاتی نوسان ساز RC کالیبره شده داخلی

| CKSEL3..0 | Nominal Frequency (MHz) |
|---------------------|-------------------------|
| 0001 ⁽¹⁾ | 1.0 |
| 0010 | 2.0 |
| 0011 | 4.0 |
| 0100 | 8.0 |

توجه ۱: این گزینه پیش فرض میکروکنترلر در زمان ساخت می باشد.

منابع ساعت

- میکروکنترلر در زمان فروش به صورت پیش فرض با مقادیر بیت های فیوز زیر برنامه ریزی شده است:

$$SUT = "10" \text{ و } CKSEL = "0001"$$

- بنابر این منبع ساعت پیش فرض، نوسان ساز RC درونی ۱ مگاهرتز با طولانی ترین زمان راه اندازی می باشد.

- این منبع ساعت پیش فرض تضمین می کند که همه کاربران بتوانند میکروکنترلر را با همین فرکانس ساعت ۱ مگاهرتز راه اندازی و بعداً با برنامه ریزی بیت های فیوز، هر منبع ساعت مناسب دیگری را جایگزین نمایند.

نوسان ساز RC کالیبره شده داخلی

زمان‌های راه‌اندازی مربوط به انتخاب ساعت نوسان ساز RC کالیبره شده داخلی

- هنگامی که این نوسان ساز انتخاب شود، زمان‌های راه‌اندازی به وسیله فیوزهای SUT تعیین می‌شوند.
- پایه‌های XTAL1 و XTAL2 باید به صورت متصل نشده باقی بمانند.

| SUT1..0 | Start-up Time from Power-down and Power-save | Additional Delay from Reset ($V_{CC} = 5.0V$) | Recommended Usage |
|-------------------|--|---|---------------------|
| 00 | 6 CK | — | BOD enabled |
| 01 | 6 CK | 4.1 ms | Fast rising power |
| 10 ⁽¹⁾ | 6 CK | 65 ms | Slowly rising power |
| 11 | Reserved | | |

توجه: ۱. این گزینه پیش فرض میکروکنترلر در زمان ساخت می‌باشد.

ثبات کالیبراسیون نوسان ساز - OSCCAL

بیت‌های ۰ تا ۷ CAL7...0 : مقدار کالیبراسیون نوسان ساز
ثبات کالیبراسیون نوسان ساز

| Bit | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | |
|---------------|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|--------|
| | CAL7 | CAL6 | CAL5 | CAL4 | CAL3 | CAL2 | CAL1 | CAL0 | OSCCAL |
| Read/Write | R/W | R/W | R/W | R/W | R/W | R/W | R/W | R/W | |
| Initial Value | Device Specific Calibration Value | | | | | | | | |

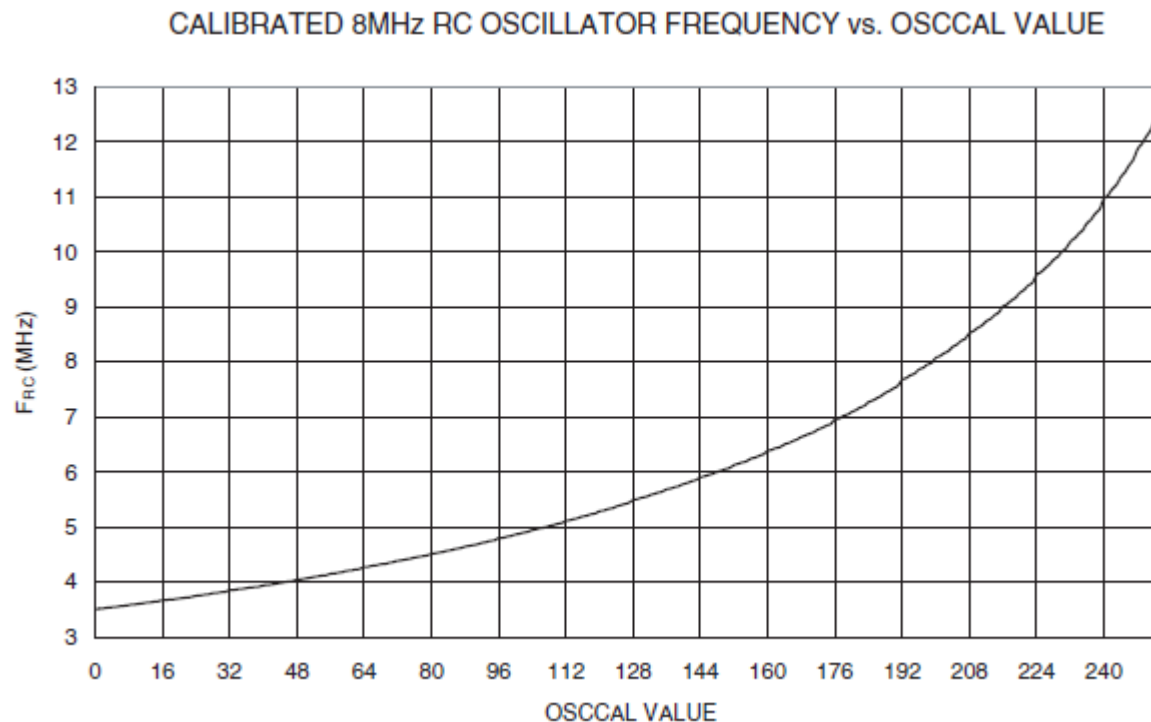


نوسان ساز RC کالبره شده داخلی ثبات کالبراسیون نوسان ساز - OSCCAL

- نوشتن بایت کالبراسیون در این آدرس باعث می شود که اسیلاتور داخلی به گونه ای تنظیم شود که تا حد زیادی انحراف فرکانسی از نوسان ساز داخلی حذف شوند.
- این کار در حین بازنشانی و شروع بکار مجدد تراشه انجام می شود.
- وقتی که OSCCAL صفر شود، کمترین مقدار فرکانس ممکن انتخاب می شود.
- نوشتن مقادیر غیر صفر در این ثبات، فرکانس نوسان ساز داخلی را افزایش می دهد.
- نوشتن مقدار \$FF در این ثبات بیشترین مقدار فرکانس ممکن را ایجاد می کند.

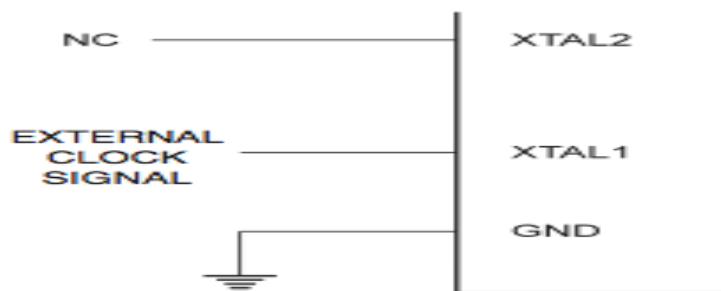
نوسان ساز RC کالیبره شده داخلی ثبات کالیبراسیون نوسان ساز - OSCCAL

فرکانس اسیلاتور RC با فرکانس 8MHz کالیبره شده، بر حسب مقدار OSCCAL



ساعت خارجی

- برای راه اندازی توسط یک منبع **ساعت خارجی**، پایه XTAL1 باید مشابه شکل زیر استفاده شود.
- برای استفاده از ساعت خارجی برای میکروکنترلر، باید فیوزهای **CKSEL** به صورت **0000** برنامه ریزی شوند.
- با برنامه ریزی CKOPT، کاربر می تواند یک خازن داخلی ۳۶ پیکوفاراد را بین XTAL1 و GND فعال سازد.



مدار راه انداز ساعت خارجی

ساعت خارجی

زمان‌های راه‌اندازی برای انتخاب ساعت خارجی

- هنگامی که این منبع ساعت انتخاب شود، زمان راه‌اندازی توسط فیوز SUT مشابه جدول زیر تعیین خواهد شد.

| SUT1..0 | Start-up Time from Power-down and Power-save | Additional Delay from Reset ($V_{CC} = 5.0V$) | Recommended Usage |
|---------|--|---|---------------------|
| 00 | 6 CK | — | BOD enabled |
| 01 | 6 CK | 4.1 ms | Fast rising power |
| 10 | 6 CK | 65 ms | Slowly rising power |
| 11 | Reserved | | |

ساعت خارجی

- هنگامی که یک ساعت خارجی اعمال می‌شود، لازم است که از تغییرات ناگهانی اعمال شده به فرکانس جلوگیری شود تا کارکرد پایدار میکروکنترلر تضمین شود.
- تغییر فرکانس بیش از ۲٪ از یک چرخه ساعت به چرخه ساعت بعدی می‌تواند رفتار پیش‌بینی نشده‌ای را باعث شود.
- لازم است تضمین شود که میکروکنترلر در طول این تغییرات فرکانس ساعت، در حالت بازنشانی قرار داشته باشد.

نوسان ساز زمان سنج / شمارنده

- برای میکروکنترلرهای AVR با پایه‌های نوسان ساز زمان سنج / شمارنده (TOSC1 و TOSC2)، کریستال به صورت مستقیم بین دو پایه متصل می‌شود. نیازی به خازن‌های خارجی وجود ندارد.
- نوسان ساز برای کار با کریستال ساعت با فرکانس ۳۲.۷۶۸ کیلوهرتز بهینه شده است.
- اعمال یک ساعت خارجی به TOSC1 توصیه نمی‌شود.
- خازن‌های داخلی دارای ظرفیت ۳۶ پیکوفاراد هستند.