

# Politechnika Wrocławska


## Technika cyfrowa 2

### wykład 11

#### Redukcja mocy

#### Niezawodność działania programów użytkowych


Katedra Metrologii Elektronicznej i Fotonicznej  
Andrzej Stępień



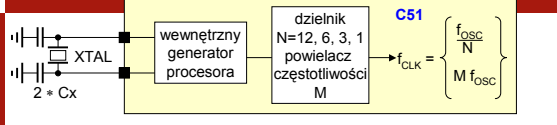
# Redukcja mocy

Czynnik sprzyjający redukcji mocy:

- technologia, mały pobór prądu w trakcie standardowej pracy
- zmniejszenie częstotliwości sygnału taktującego
- krótka faza między końcem trybu redukcji mocy i standardowym działaniem
- podtrzymanie zawartości wewnętrznych pamięci i rejestrów
- wyłączenie zbędnych, nieużywanych układów wewnętrznych
- brak zewnętrznych układów, np. pamięci programu, danych, peryferii
- sprzętowe / programowe tryby redukcji mocy

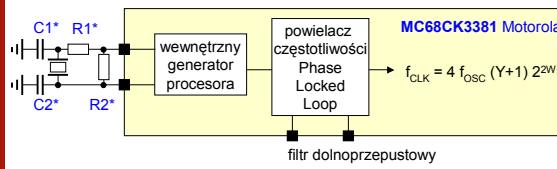


# Wewnętrzne generatory (1/2)



**C51**

$f_{CLK} = \frac{f_{OSC}}{N}$




**MC68CK3381 Motorola**

$f_{CLK} = 4 f_{OSC} (Y+1) 2^{2W+X}$

filtr dolnoprzepustowy

*\*components must be based on crystal type;  
contact crystal vendor for exact circuit*



# Wewnętrzne generatory


**LFXT1CLK** - Low/high-frequency oscillator:

- low-frequency 32,768-Hz watch crystals
- standard crystals, resonators
- external clock in the 450k .. 8MHz range

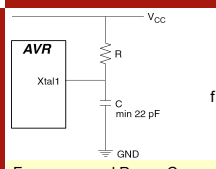
**XT2CLK** - Optional high-frequency oscillator:

- standard crystals
- resonators
- external clock in the 450k .. 8MHz range

**DCOCLK** - Internal digitally controlled oscillator (DCO) with RC-type characteristics.



# Internal RC Oscillator



**AVR051: Set-up and Use the External RC Oscillator.**  
Application Note, Atmel Corporation 2002


Short start-up time of RC oscillator:  
max. 4  $\mu$ s + 10 clock cycles

$f \approx \frac{1}{3RC}$

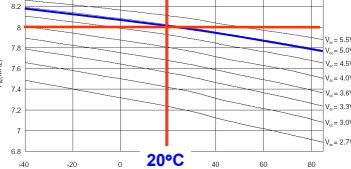
Frequency and Power Consumption for C=22pF<sup>(1)</sup> / C=100pF<sup>(2)</sup>, simulated values

Resistor Value (k $\Omega$ )	Frequency (MHz)	Typical Consumption Current
1.2	11.9 / 4.54	1.0 / 0.57
2.2	7.36 / 2.32	1.0 / 0.18
3.9	4.40 / 1.41	0.57 / 0.18
8.2	1.98	0.18
18.0	0.99	0.18

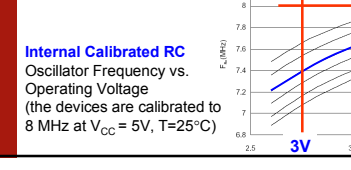
<sup>(1)</sup> C = 22 pF, and 12 pF stray capacitance (package, pad, pin, and PCB)  
<sup>(2)</sup> C = 100 pF, and 12 pF stray capacitance (package, pad, pin, and PCB), 5V



# Atmega8(L)

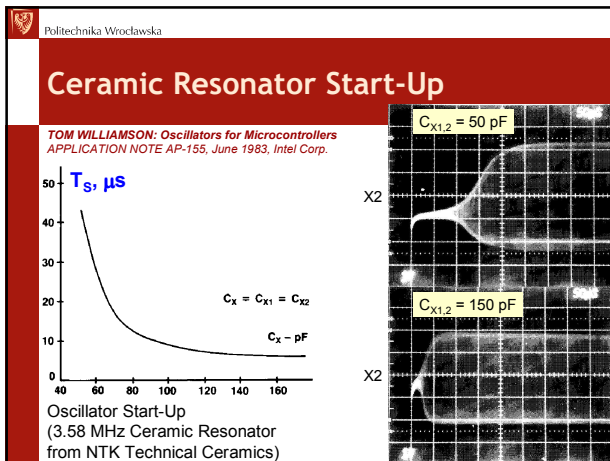


**Internal Calibrated RC Oscillator Frequency vs. Temperature**  
(the devices are calibrated to 8 MHz at V<sub>CC</sub> = 5V, T=25°C)



**Internal Calibrated RC Oscillator Frequency vs. Operating Voltage**  
(the devices are calibrated to 8 MHz at V<sub>CC</sub> = 5V, T=25°C)

1



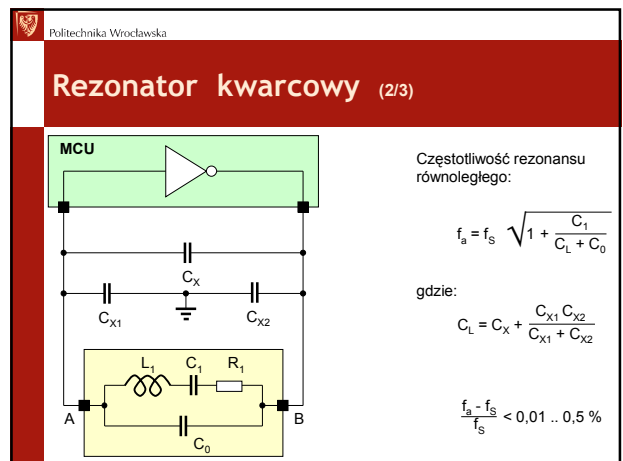
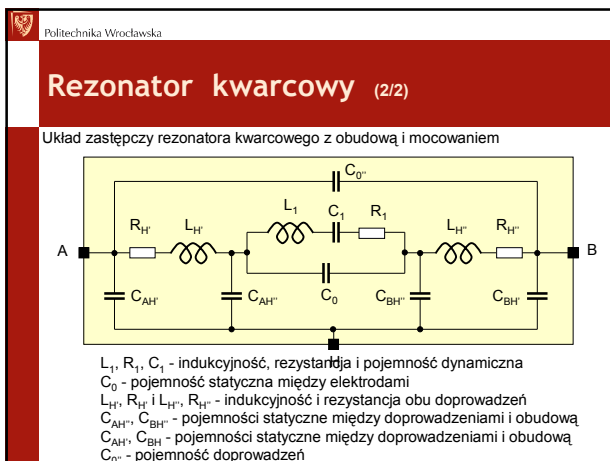
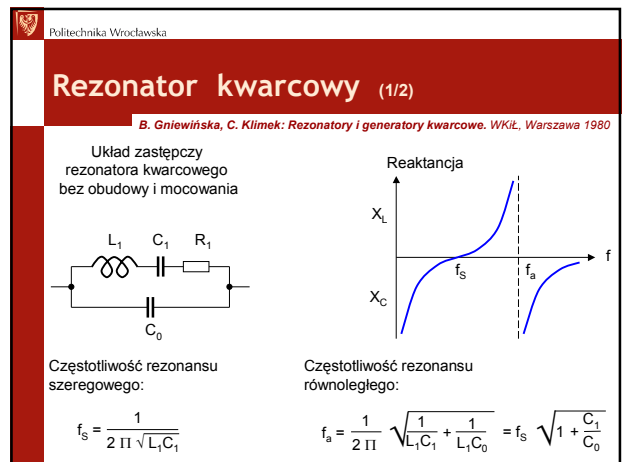
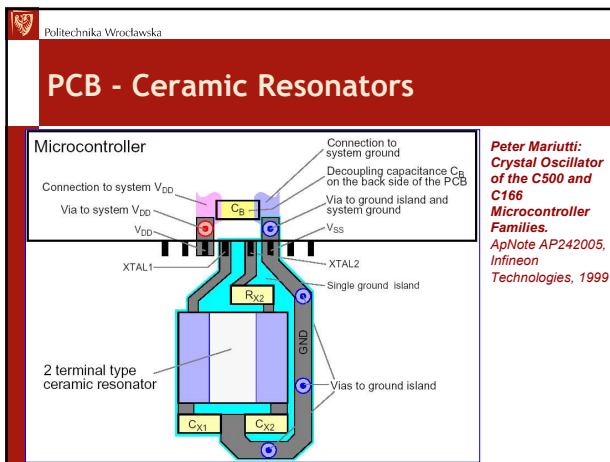
Politechnika Wrocławska

## Quartz Crystals & Ceramic Resonators

Peter Mariutti: Ceramic Resonator Oscillators and the C500 and C166 Microcontroller Families.  
ApNote AP242401, Infineon Technologies, 1999

### Principal technical Differences between Quartz Crystals and Ceramic Resonators

	Ceramic Resonator	Quartz Crystal
Price Factor (depends on quality)	1	2
Mechanical Shock Resistance	very good	good
Integrated Caps available	yes	no
Aging (for 10 years at room temperature)	$\pm 3000 \text{ ppm}$	$\pm 10 \text{ ppm}$
Initial Frequency Tolerance	$\pm 2000 \dots 5000 \text{ ppm}$	$\pm 20 \text{ ppm}$
Temperature Characteristics	$\pm 20 \dots 50 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$	$\pm 0.5 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$
Load Capacitance Characteristics	$\pm 100 \dots 350 \text{ ppm/pF}$	$\pm 15 \text{ ppm/pF}$
Oscillation Rise Time	0.01 ... 0.5 msec	1 ... 10 msec
Quality Factor (Qm)	100 ... 5 000	10 000 ... 500 000



Politechnika Wroclawska

## Quartz Crystals

**SG3030JC/JF 32kHz CRYSTAL OSCILLATOR. The Crystalmaster Product Catalog. Epsom November 2002**

IC - equivalent to TC74HCU04 (unbuffer)  
equivalent to TC74VHC04 (unbuffer) 30..50 MHz  
Toshiba Corp.

Frequency range	R <sub>F</sub> (MΩ)	R <sub>D</sub> (kΩ)	C <sub>G</sub> (pF)	C <sub>D</sub> (pF)
20 kHz to 60 kHz	20	500	10	10
60 kHz to 165 kHz	10	300	10	10
5.5 MHz to 30 MHz (Fundamental)	1	0.5	5 to 15	
30 MHz to 50 MHz (Fundamental)	1	0.5	5 to 10	

Politechnika Wroclawska

## Quartz Crystals - supply current

V <sub>CC</sub> [V]	f <sub>CLK</sub> [Hz]	t <sub>CY</sub> [μs]	Crystal I <sub>CC</sub> [μA]	External Squarewave I <sub>CC</sub> [μA]
2,4	32 k	125	8,5	4,4
5,0	32 k	125	83	10
2,4	1 M	4	199	127
5,0	1 M	4	360	283

f<sub>ACLK</sub> = 32,768 kHz

Crystal ON LPM3	Crystal OFF LPM4
I <sub>CC</sub> [μA] < 1,2 μA	I <sub>CC</sub> [μA] < 0,5 μA
I <sub>CC</sub> [μA] < 1,5 μA	I <sub>CC</sub> [μA] < 0,5 μA

I<sub>CC</sub> - total power supply current drain for COP410C

**Abdul Aleef: A Study of the Crystal Oscillator for CMOS-COPS. National Semiconductor. Application Note 400, August 1986**

**MSP430x43x, MSP430x44x. Mixed Signal Microcontroller. SLAS344C, January 2002- Revised March 2003, Texas Instrument**

Politechnika Wroclawska

## Startup Time

**Clay Turner: Use of the TMS320C5x Internal Oscillator With External Crystals or Ceramic Resonators. SPRA054, October 1995, Texas Instruments**

„Startup time is dependent on the external components used, but generally requires at last **100 ms** after power-up for the oscillator to stabilize. For this reason, a **reset delay of 150-200 ms** is recommended following power-up.”

**COP8CBR9/COP8CCR9/COP8CDR9. 8-Bit CMOS Flash Microcontroller with 32k Memory, Virtual EEPROM, 10-Bit A/D and Brownout. DS101374, April 2002, National Semiconductor**

CKI Frequency	Startup Time
10 MHz	1 – 10 ms
3.33 MHz	3 – 10 ms
1 MHz	3 – 20 ms
455 kHz	10 – 30 ms
<b>32 kHz</b>	<b>2 – 5 sec (low speed oscillator)</b>

Politechnika Wroclawska

## Crystal Oscillator Start-Up

**TOM WILLIAMSON: Oscillators for Microcontrollers APPLICATION NOTE AP-155, June 1983, Intel Corp.**

Oscillator Start-Up (4.608 MHz Crystal from Standard Crystal Corp.)

Waves on the right show the start-up of the oscillator for different load capacitances: C<sub>X1,2</sub> = 30 pF and C<sub>X1,2</sub> = 50 pF. The top trace shows the start-up for 30 pF, and the bottom trace shows the start-up for 50 pF. The traces show the signal rising from a low level to a stable high level.

Politechnika Wroclawska

## Parametry rezonatorów kwarcowych

Nominal frequency range	f	32.768 kHz
Temperature storage range	T <sub>STG</sub>	-55°C to +125°C
Maximum drive level	GL	1.0 μW <sub>MAX</sub>
Soldering condition	T <sub>SOL</sub>	Twice at under 260°C within 10 sec. or under 230°C within 3 min.
Frequency tolerance (standard)	Δf/f	±20ppm or ±50ppm (Ta=25°C, DL=0.1μW)
Peak temperature (frequency)	θT	25°C ±5°C
Temperature coefficient (frequency)	a	-0.04ppm/°C <sub>MAX</sub>
<b>Load capacitance</b>	<b>C<sub>L</sub></b>	<b>6pF</b>
Series resistance	R <sub>1</sub>	50kΩ <sub>MAX</sub>
Motional capacitance	C <sub>1</sub>	1.8pF <sub>MAX</sub>
Shunt capacitance	C <sub>0</sub>	0.9pF <sub>MAX</sub>
Insulation resistance	IR	500MΩ <sub>MIN</sub>
Aging	fa	±3ppm/Y <sub>MAX</sub> (Ta=25°C ±3°C, first year)
Shock resistance	S.R.	±5ppm <sub>MAX</sub> (test with: 3000G x 1/2 sine wave x 3 directions)

Politechnika Wroclawska

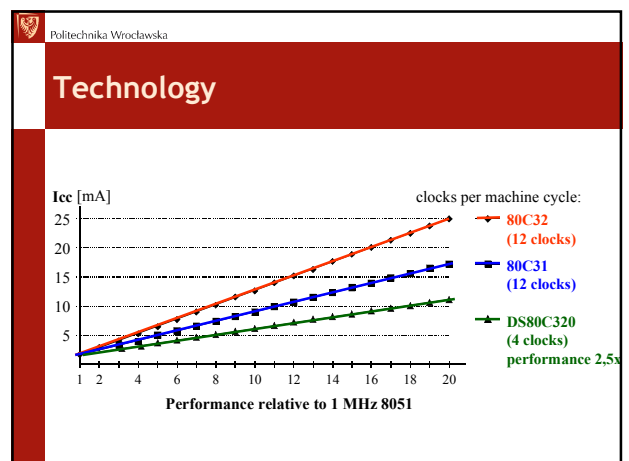
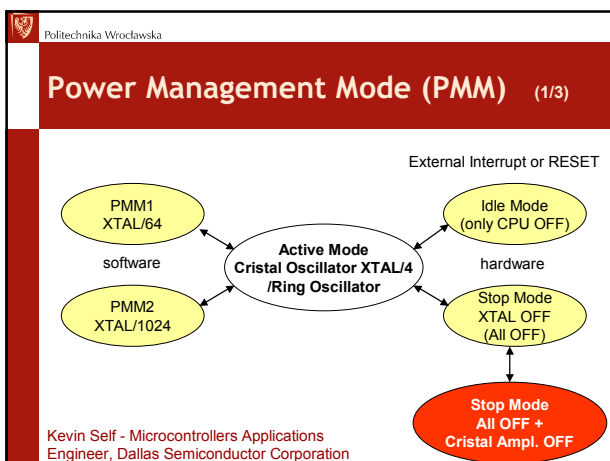
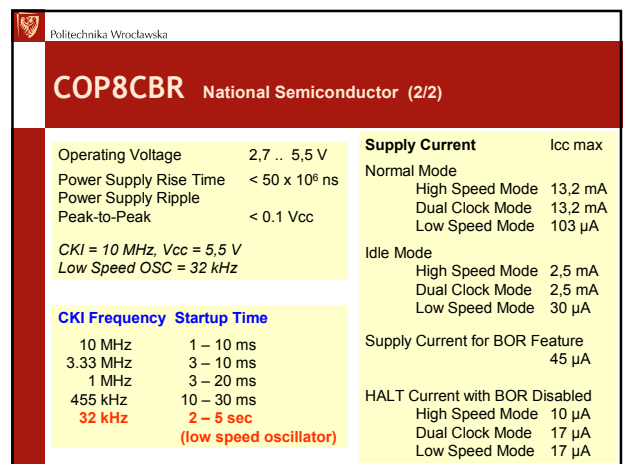
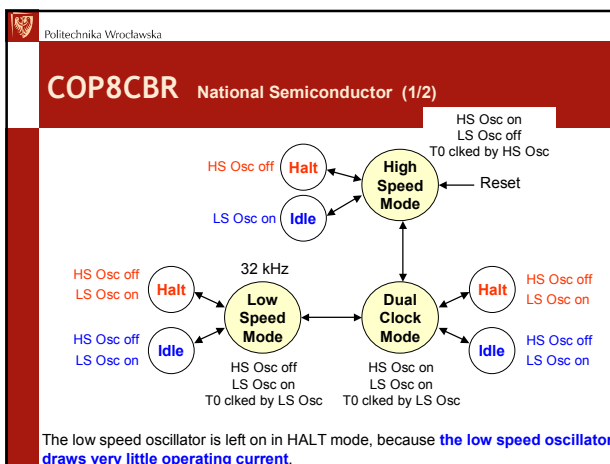
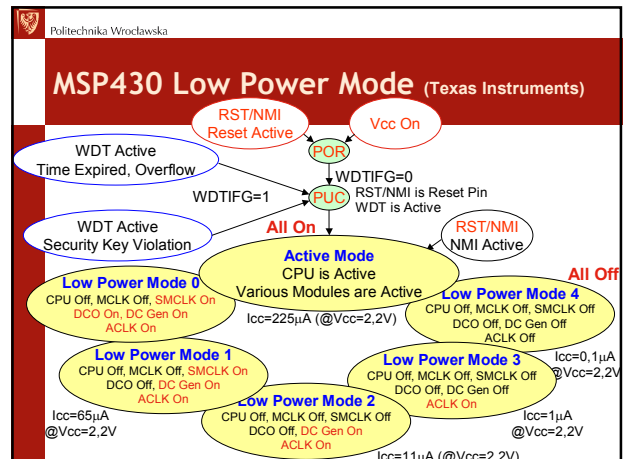
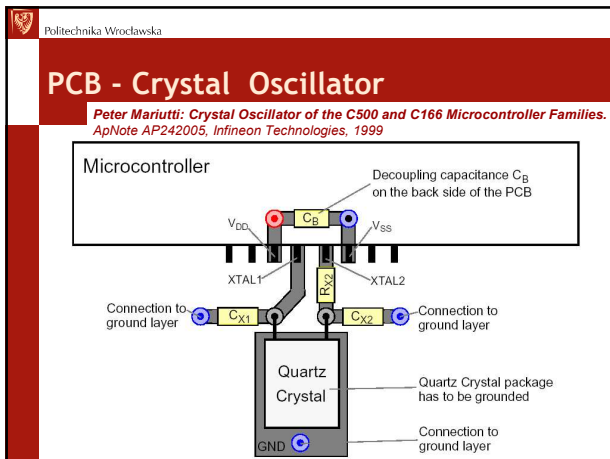
## Crystal Specifications

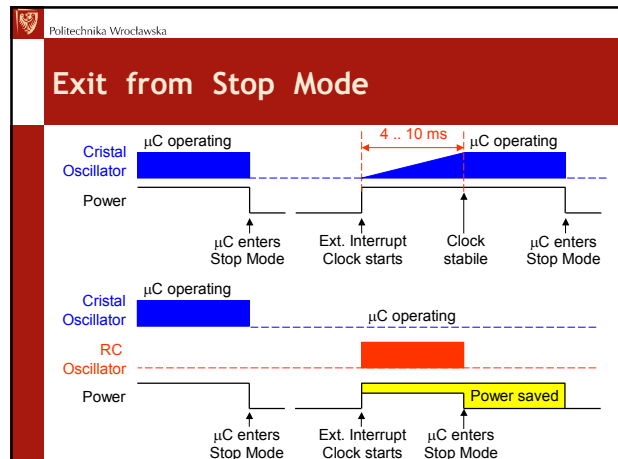
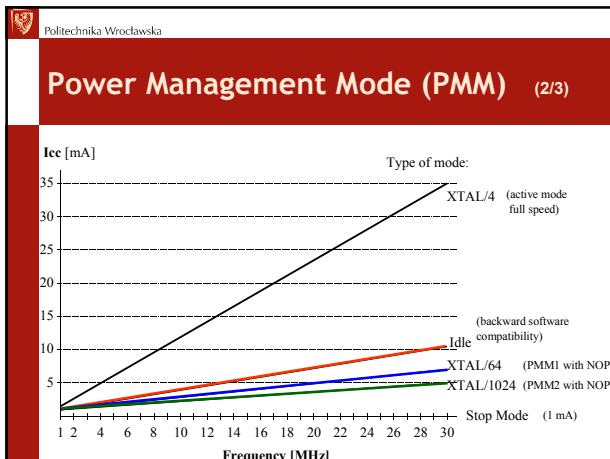
**Crystal Considerations with Dallas Real Time Clocks. APP58, Dallas Semiconductor, 1995**

Parameter	Symbol	Min	Typ	Max	Units
Nominal Frequency	F <sub>0</sub>		32,768		kHz
Load Capacitance	C <sub>L</sub>		6		pF
Temperature Turnover Point	T <sub>0</sub>	20	25	30	°C
Parabolic Curvature Constant	k			0,042	ppm/°C
Quality Factor	Q	40,000	70,000		
Series Resistance	R <sub>1</sub>			45	kΩ
Shunt Capacitance	C <sub>0</sub>		1,1	1,8	pF
Capacitance Ratio	C <sub>0</sub> / C <sub>1</sub>		430	600	
Drive Level	D <sub>L</sub>			1	μW

**Daiva DS-26S Crystal Specifications**

**DS1485 (25°C):**  
±30 seconds / month (C<sub>L</sub> = 6 pF)  
±4 minutes / month (C<sub>L</sub> = 12 pF)



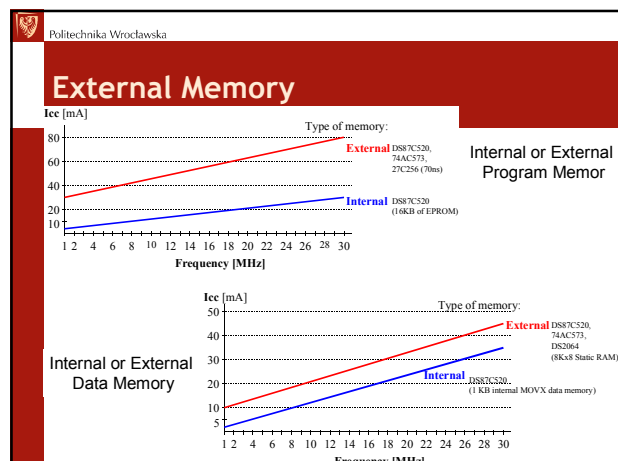


Politechnika Wrocławska

## Power Management Mode (PMM) (3/3)

Burst Mode Operation  
Energy consumed vs. processor speed for a 500 machine cycle task, active mode

Clock Frequency Period	Machine Cycle	Total Time	$I_{CC}$	Current -Time Product
10 MHz	400 ns	200 ms	12,41 mA	248 mAs
30 MHz	133 ns	66,5 ms	34,66 mA	230 mAs (-6%)



Politechnika Wrocławska

## DVS

Dynamic Voltage Scaling:

- dynamiczne przełączanie napięć zasilających w układach, które nie pracują z pełną mocą (np. odtwarzacz MP3, internetowe audio, kamera cyfrowa itp.)
- obniżenie napięcia zasilania rdzenia ( $U_{CC}$ ), zmniejszenie częstotliwości taktującej ( $f_{CLK}$ ) w mikroprocesorach, procesorach sygnałowych (DSP)
- pobór energii proporcjonalny do  $(U_{CC})^2 * f_{CLK}$ , zmiana częstotliwości taktującej
- wydłużenie czasu życia baterii o ok. 15-25% przy oszczędnym gospodarowaniu energią
- właściwe zaprojektowanie struktury mikroprocesora, DSP sterującej stabilizatorem napięcia

Politechnika Wrocławska

## Problemy z zasilaniem

- niewłaściwe zasilanie:
  - niedostateczna filtracja napięć zasilających
  - przebiegi w układach zasilania
  - duże spadki napięć na doprowadzeniach, ścieżkach drukowanych płytki
  - zaniki zasilania
- zmniejszenie wrażliwości na zakłócenia przedostające się przez zasilanie:
  - właściwa filtracja napięć zasilających, dodatkowe kondensatory filtrujące, dławiki ferromagnetyczne
  - stosowanie układów zabezpieczających przed przebiegami
  - skrócenie długości połączeń między mikroprocesorem, a zewnętrznymi układami i zasilaczem
  - właściwe prowadzenie ścieżek na płycie drukowanej
  - zewnętrzne / wewnętrzne kontrolery napięć zasilających

Politechnika Wrocławska

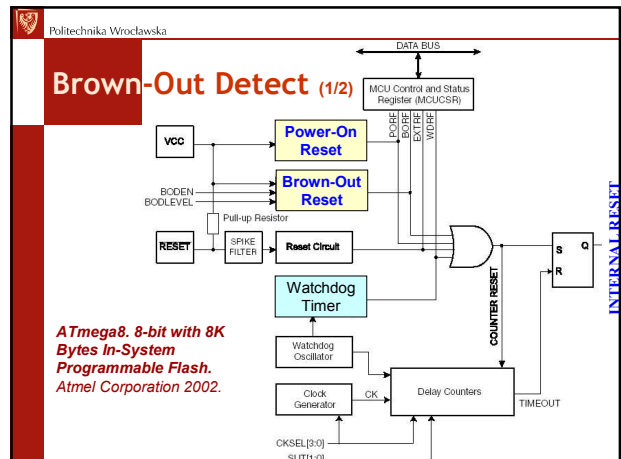
# ???

One question system designers may ask themselves is:

**"Why do I need one of these things anyway?"**

There are 3 situations that you must consider when answer-ing this question:

- what would happen to the microcontroller (or other devices in the system) if there was noise on the **supply voltage as it powers up** ?
- what would happen if there is a **glitch** on the power supply while the **system is running** ?
- what does the microcontroller do when the **system power is turned off** ?



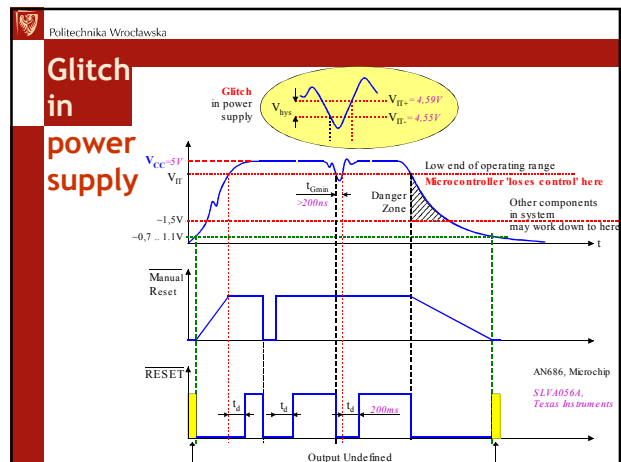
Politechnika Wrocławska

## Brown-Out Detect (2/2)

Symbol	Parameter	Condition	Min	Typ	Max	Units
$V_{BOT}$	Brown-out Reset Threshold Voltage	BODLEVEL = 1 BODLEVEL = 0	2.5 3.7	2.7 4.0	3.2 4.5	V
$t_{BOD}$	Minimum low voltage period for Brown-out Detection	BODLEVEL = 1 BODLEVEL = 0	2	2		$\mu s$
$V_{HYST}$	Brown-out Detector hysteresis			130		mV

$V_{BOT+} = V_{BOT} + V_{HYST}/2$

$V_{BOT-} = V_{BOT} - V_{HYST}/2$



Politechnika Wrocławska

## External Voltage Supervisor

**TPS31xxExx, TPS31xxH20, TPS31xxK33.**  
**ULTRALOW SUPPLY-CURRENT/SUPPLY-VOLTAGE SUPERVISORY CIRCUITS**  
SLVS363 – AUGUST 2001, Texas Instruments

- Precision Supply Voltage Supervision
- Range: 0.9 V, 1.2 V, 1.5 V, 1.6 V, 2 V, 3.3 V
- High Trip Point Accuracy: 0.75%
- Supply Current of 1.2  $\mu A$  (Typ)
- **RESET** Defined With **Input Voltages as Low as 0.4 V**
- SOT23-6 Package

Politechnika Wrocławska

## Zakłócenia elektromagnetyczne (1/2)

- oddziaływanie zewnętrznego pola elektromagnetycznego:
  - przepięcia indukowane w zewnętrżnych doprowadzeniach, ścieżkach drukowanych
  - przepięcia indukowane w wewnętrznych doprowadzeniach (indukcyjności i pojemności połączeń struktury wewnętrznej z wyprowadzeniami)
- emisja własnego pola elektromagnetycznego:
  - błędne wykonanie połączeń dla dużych prądów obciążeń
  - nadmiarowe, bezzasadne generowanie dodatkowych sygnałów
- wyładowania elektrostatyczne

Politechnika Wrocławska

## Zakłócenia elektromagnetyczne (2/2)

- właściwa konfiguracja systemu
  - eliminacja dodatkowych układów towarzyszących, np. 8-bitowy bufor linii adresowych w C51
  - eliminacja wszystkich, zbędnych zewnętrznych układów, np. zewnętrznych pamięci w C51
  - test sumy kontrolnej (CRC) całej pamięci kodu
  - stosowanie pamięci kodu programu programowanej maską
  - wyłączenie wszystkich nie używanych sygnałów sterujących, np. ALE, RD# i WR# w C51
- właściwy dobór mikrokontrolera, mechanizmów kontrolujących działanie programu:
  - programowe
  - sprzętowe

Politechnika Wrocławska

## Zabezpieczenia sprzętowe

- zmiana trybu pracy, redukcja mocy pobieranej przez mikrokontroler, włączenie zasilania rezerwowego, baterijnego zewnętrznych pamięci
- **czasowe wyłączenie procesora we wszystkich możliwych przypadkach**
- wywołanie procedury zerowania mikrokontrolera wskutek przepełnienia wewnętrznego licznika
- dodatkowy licznik o następujących cechach:
  - programowe lub sprzętowe uruchamianie licznika
  - tylko sprzętowe zatrzymanie licznika zewnętrznym sygnałem RESET
  - okresowe, programowe reprogramowanie (zerowanie) zawartości licznika w ściśle określonych warunkach (określona kombinacja sekwencji)
  - sygnalizacja stanu licznika bliskiego przepełnienia, np. przez przerwanie

Politechnika Wrocławska

## Watchdog w C320/530 Dallas/Maxim (1/3)

główny generator

WD1, WD0

I217, I220, I223, I226

ustaw

WTRF

EWT

EWDI

EA

przerwanie (adr=63h)

Watchdog

CKCON (8Eh) WD1 WD0 T2M T1M T0M MD2 MD1 MD0

WDON (0D8h) SMD01 POR EPF1 PF1 WDIW WTRF EWT RWT

TA (0C7h) Timed Access Register: 0AAh, 55h, POR/WDIF/EWT/RWT

Politechnika Wrocławska

## Watchdog w C320/530 Dallas/Maxim (2/3)

główny generator

WD1, WD0

I217, I220, I223, I226

ustaw

WTRF

EWT

EWDI

EA

przerwanie (adr=63h)

Watchdog

Okres wewnętrznych zerowań przez licznik Watchdoga w  $\mu s$ :

dzielnik wstępny	@1,832 MHz	@11,059 MHz	@12 MHz	@33 MHz
2 <sup>17</sup> + 512	71.825	11.898	10.965	3.987
2 <sup>20</sup> + 512	572.646	94.863	87.424	31.791
2 <sup>23</sup> + 512	4.579.214	758.579	699.093	245.216
2 <sup>26</sup> + 512	36.631.755	6.068.304	5.592.448	2.033.617

Politechnika Wrocławska

## Watchdog w C320/530 Dallas/Maxim (3/3)

Uruchomienie Watchdoga:

CK\_CON EQU 1000 0000b ; 2<sup>23</sup> stopień podziału dzielnika wstępnego

TA\_AA EQU 0AAh ; dostęp do bitów w rejestrze WDON

TA\_55 EQU 55h ; chronionych zapisem czasowym

Reset\_WD:

ORL CKCON, #CK\_CON ; programowanie stopnia ; podziału dzielnika

MOV TA, #TA\_AA ; start Watchdoga

MOV TA, #TA\_55

SETB RWT

MOV TA, #TA\_AA ; odblokowanie wewnętrznego zerowania

MOV TA, #TA\_55 ; przez Watchdog

SETB EWT

Politechnika Wrocławska

## Watchdog - MSP430

Write to WDTCTL Password <= 5Ah

CNTCTL = 5Ah

Restart Watchdog at 0000

EN

Clear

16-Bit Counter

CLK (32768 Hz)

MCLK

2<sup>6</sup> 2<sup>9</sup> 2<sup>13</sup> 2<sup>15</sup>

IS1, IS0

11 10 01 00

Set

WDTIFG

Reset

IRQA

Timer Mode

POR

Watchdog Mode

PUC (Watchdog Mode (OFFFEh) priority 15 (highest))

GIE

General Interrupt Flag

Interrupt Timer Mode (OFFF4h) priority 10

WDTIE

Watchdog Interrupt Enable Flag

WDTCTL (120h) read access = 69h write access = 5Ah