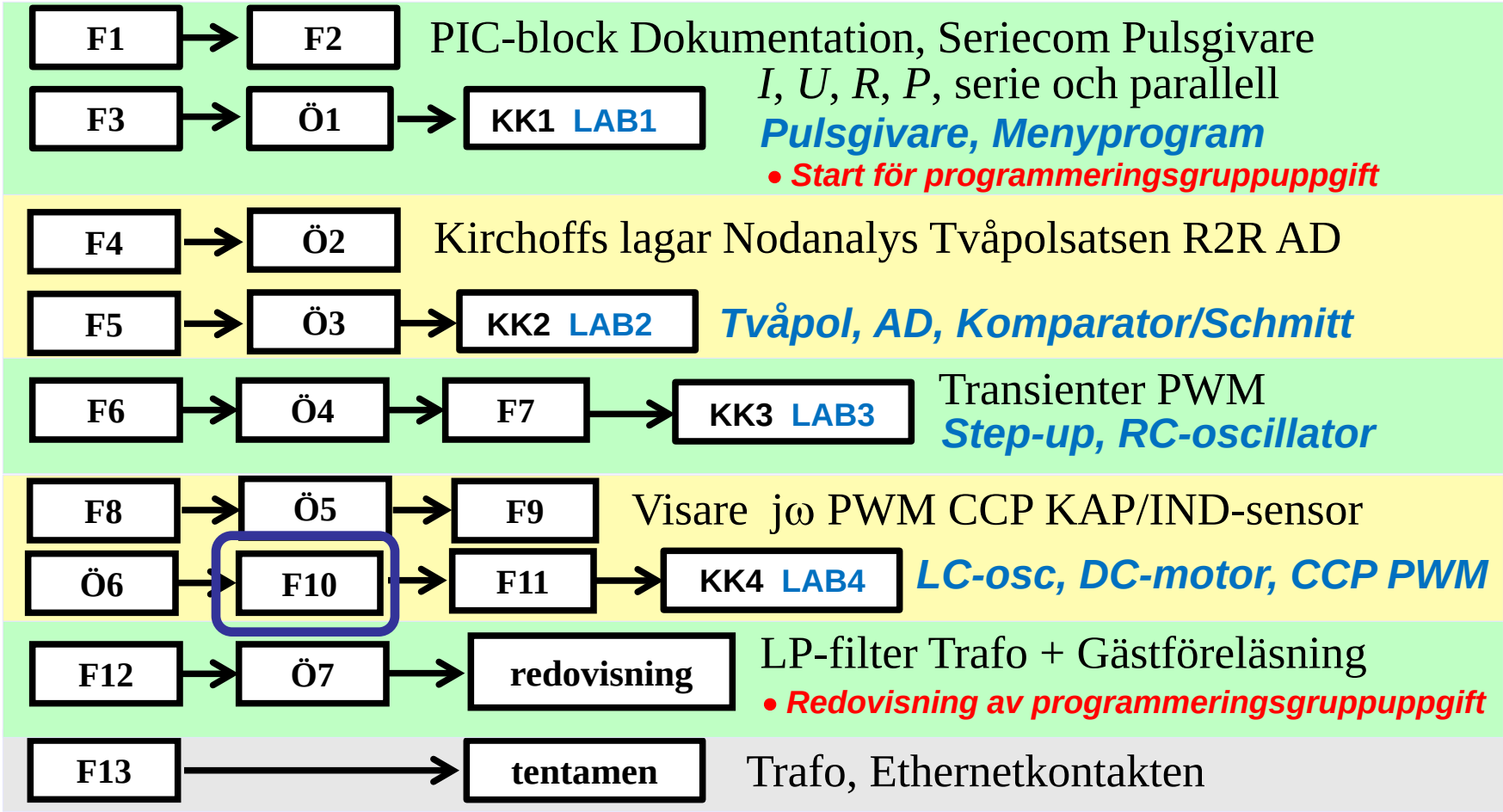
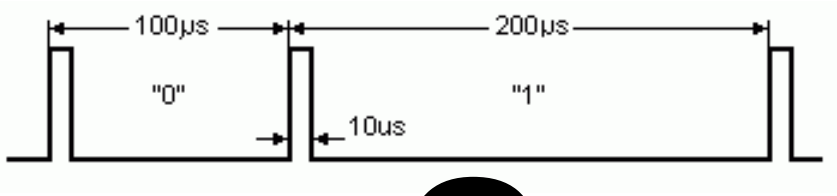
IE1206 Inbyggd Elektronik

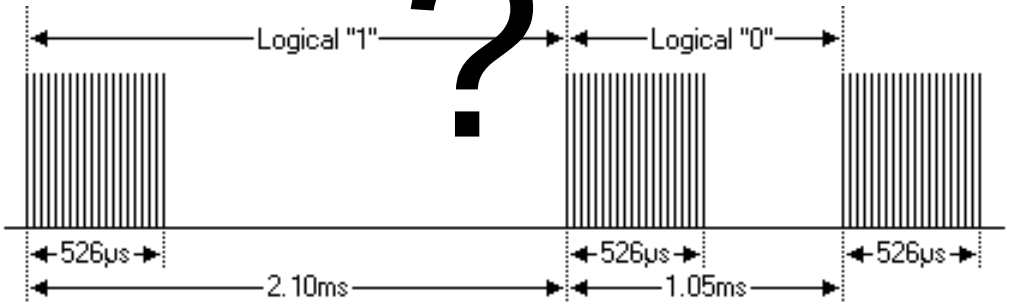


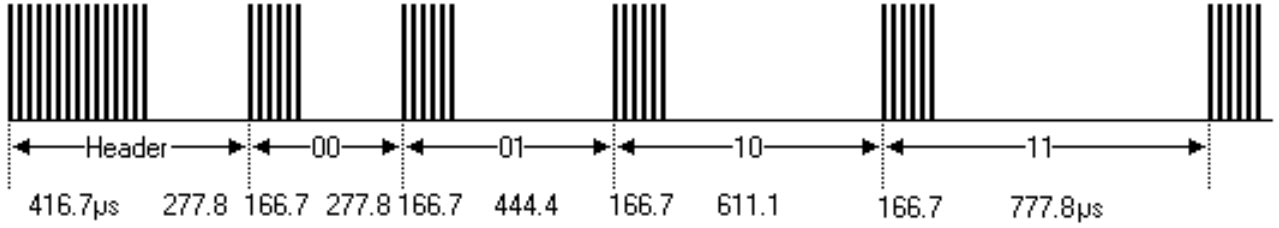
William Sandqvist william@kth.se

Hur mäter man pulser?



?





Att mäta olika digitala pulser är en av PIC-processorns huvuduppgifter

William Sandqvist william@kth.se

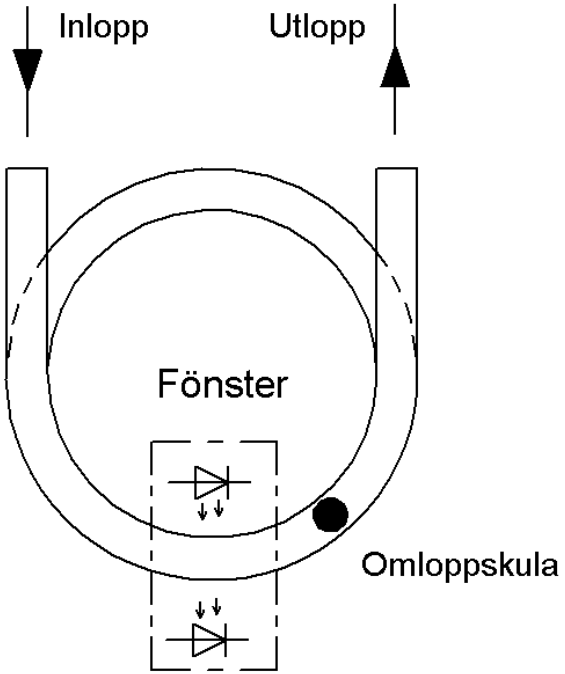
William Sandqvist william@kth.se

- *Pulser från otaliga sensorer*

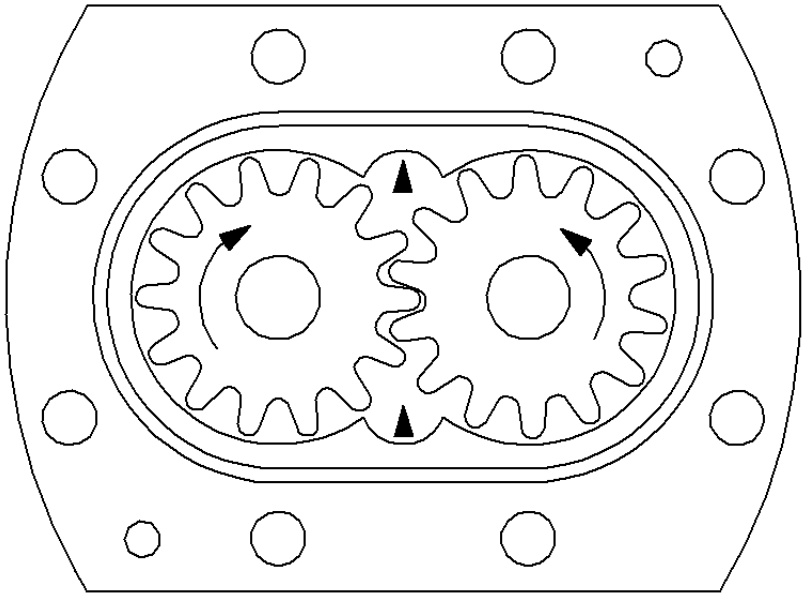
Otaliga givare har som utstorhet någon form av digitala pulser: antal, tid, periodtid, frekvens, dutycycle …
Här följer några exempel:

Medströmsmätare. Omloppskulan strömmar med vätskan och passerar fotodioden varje varv.

Givaren används som bensin-mätare, **antalet** pulser från foto-dioden summeras som förbrukat bränsle.

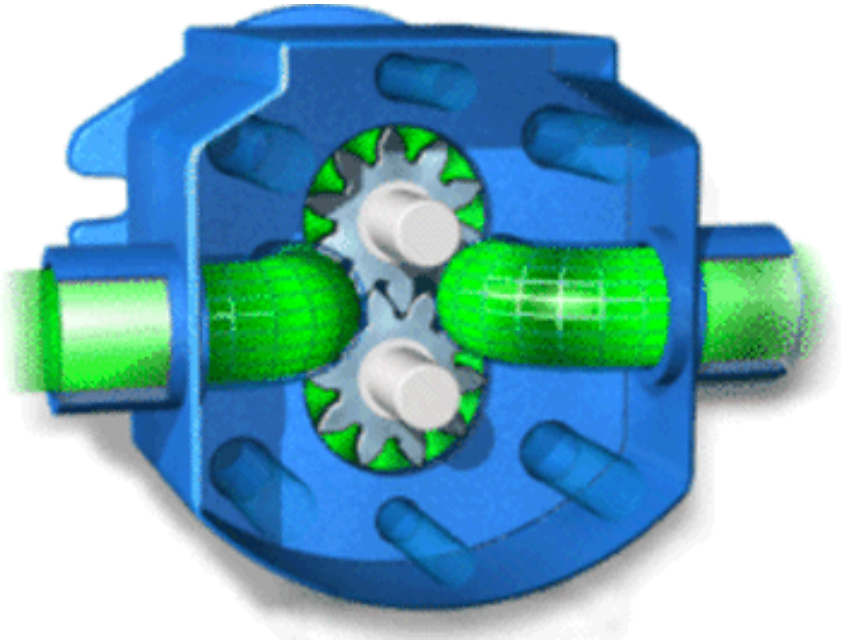


ex. Antal

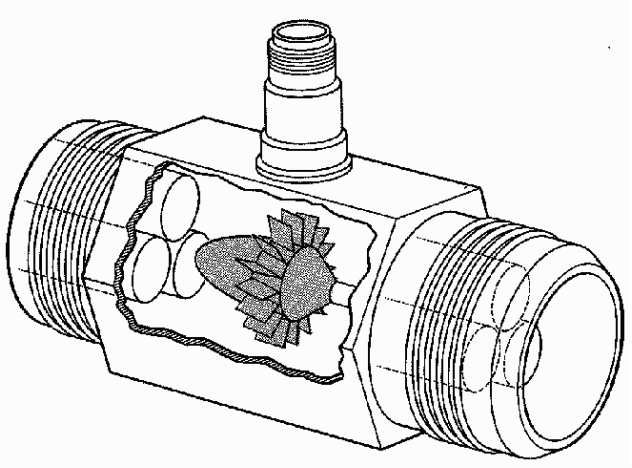


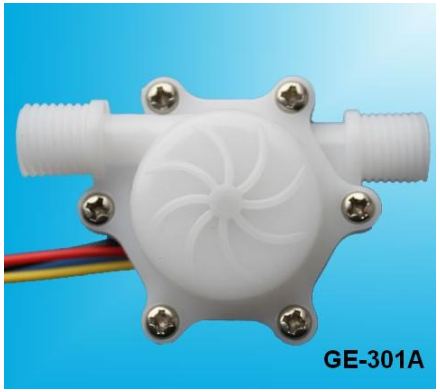
Kugghjulsmätare. Vätska förflyttas i ”kuggluckorna”. Inget läckage, kan mäta mycket *små* vätskemängder (upplösningen är volymen i en kugglucka). Används som bensinmätare på bensinstationerna. **Antalet** vridningsvarv är ett mått på vätskemängden.

William Sandqvist william@kth.se



Propeller och turbin -mätare





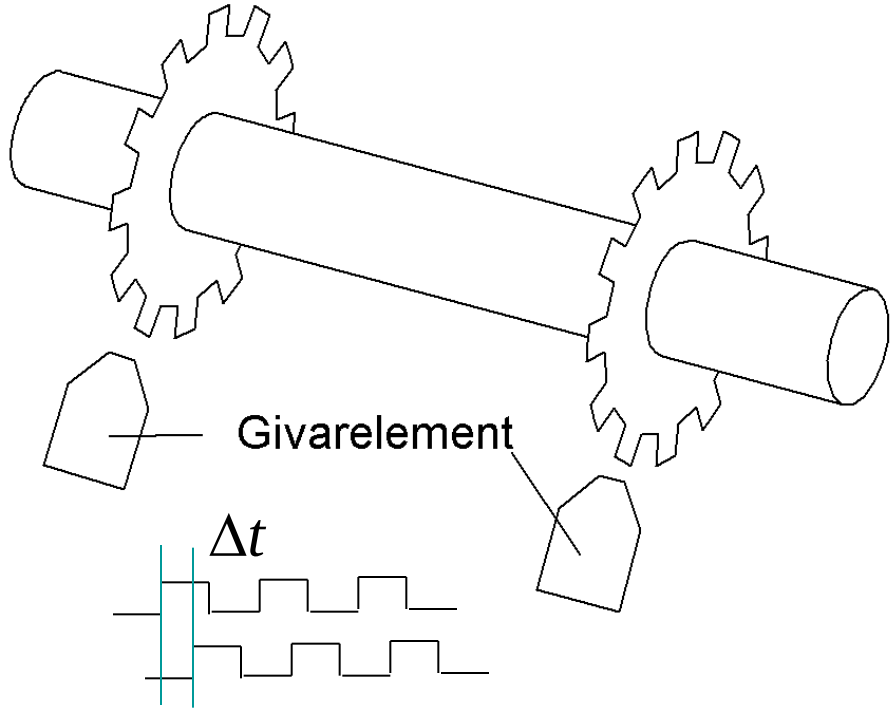
Pulsfrekvensen är proportionell mot strömningshastigheten.

William Sandqvist william@kth.se

ex. Pulstid

Momentmätare.

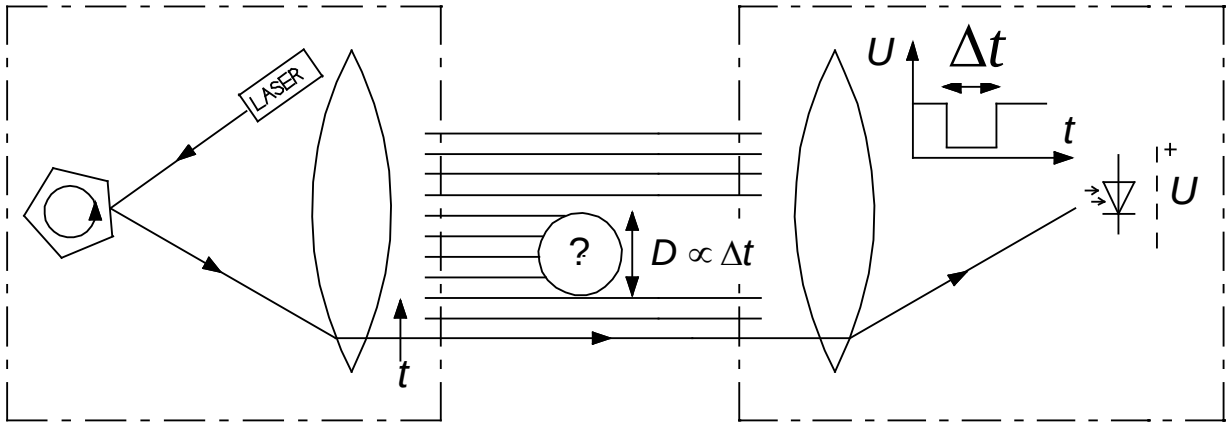
Då ett vridmoment överförs med en roterande axel vrids (skjuvas) denna så att kugg-hjulen vrids i förhållande till varandra. Det blir en blir en mätbar *tids-skillnad* mellan pulserna från givar-elementen, som känner av kuggtopparnas passage.



Vridmomentet kan räknas fram utifrån denna tids-skillnad med kännedom om axelns vridstyvhet.

William Sandqvist william@kth.se

ex. Pulstid

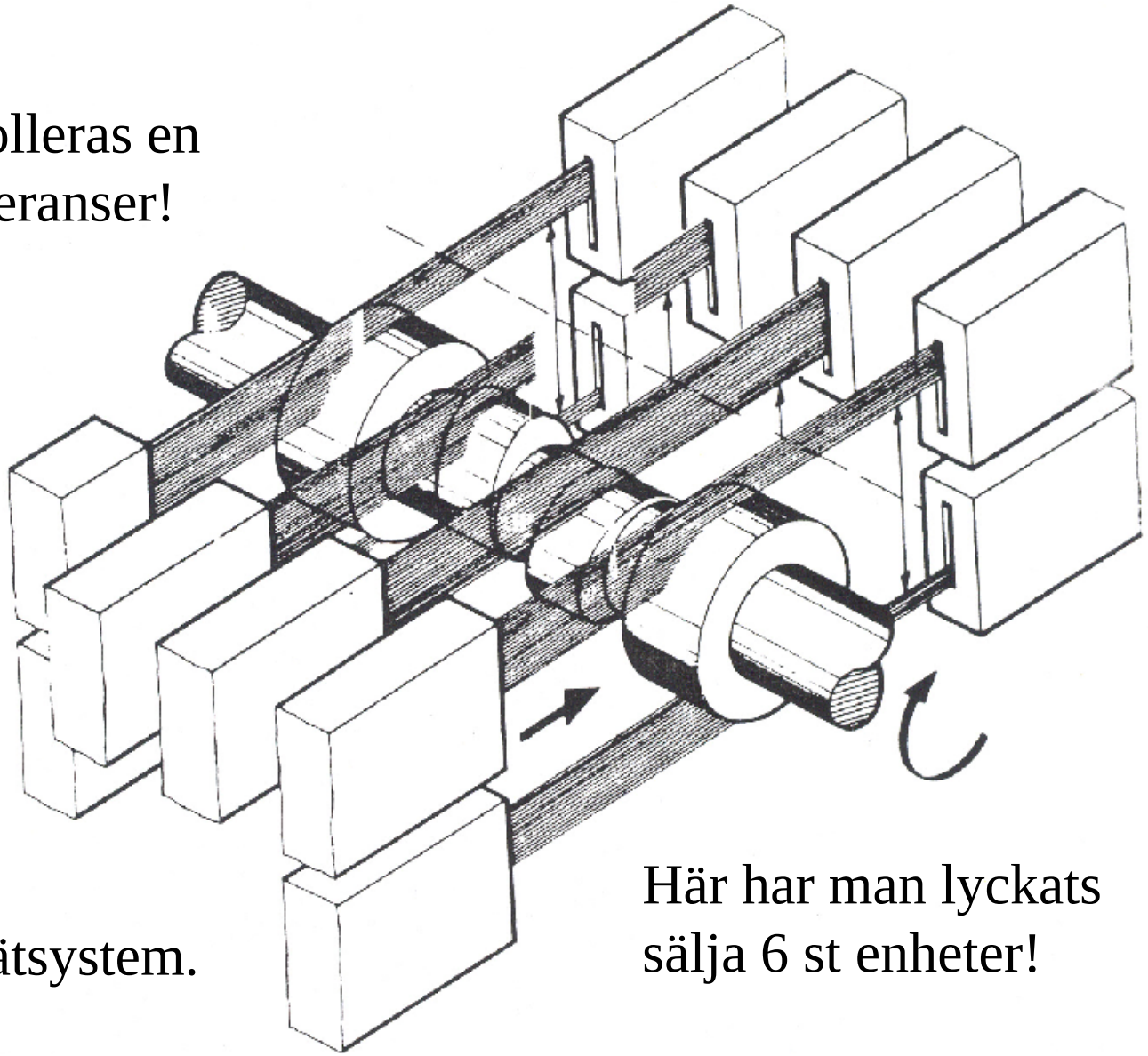


Laser Scan Micrometer. Mätobjektets diameter skuggar laserljuset. En upplösning om 1 μm är möjlig.

$$D \propto \Delta t$$

William Sandqvist william@kth.se

Så här kontrolleras en kamaxels toleranser!

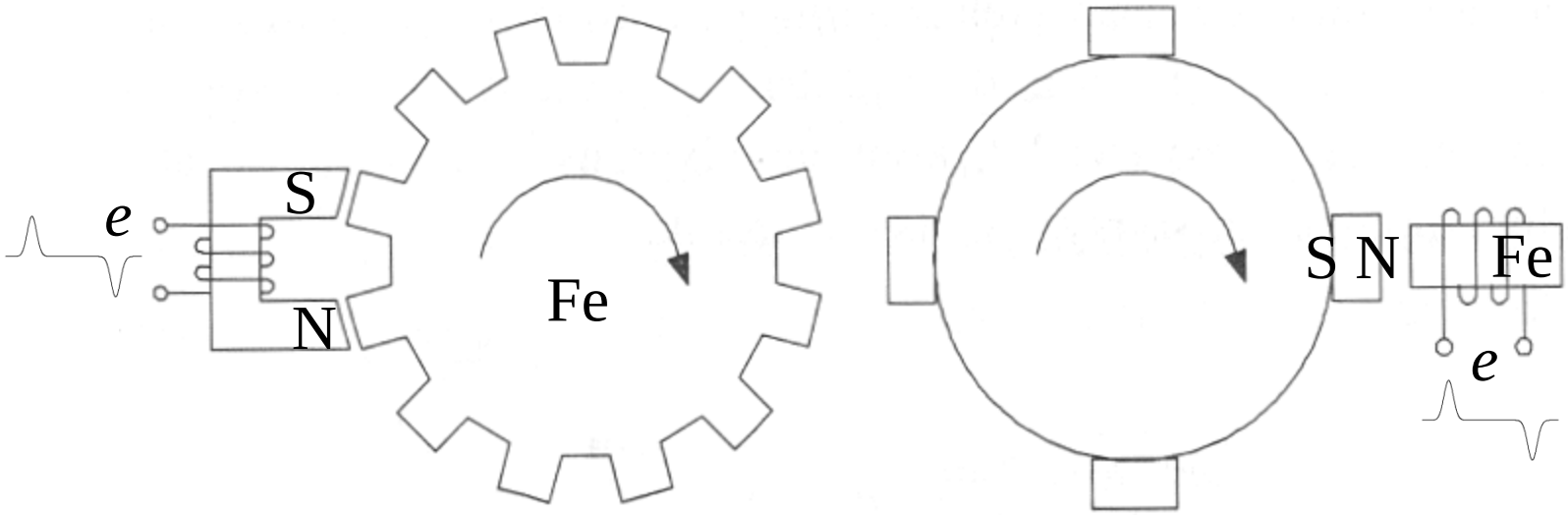


Försäljarens önskedröm:
Datoriserat mätsystem.

Här har man lyckats sälja 6 st enheter!

William Sandqvist william@kth.se

Induktiv pulsgivare

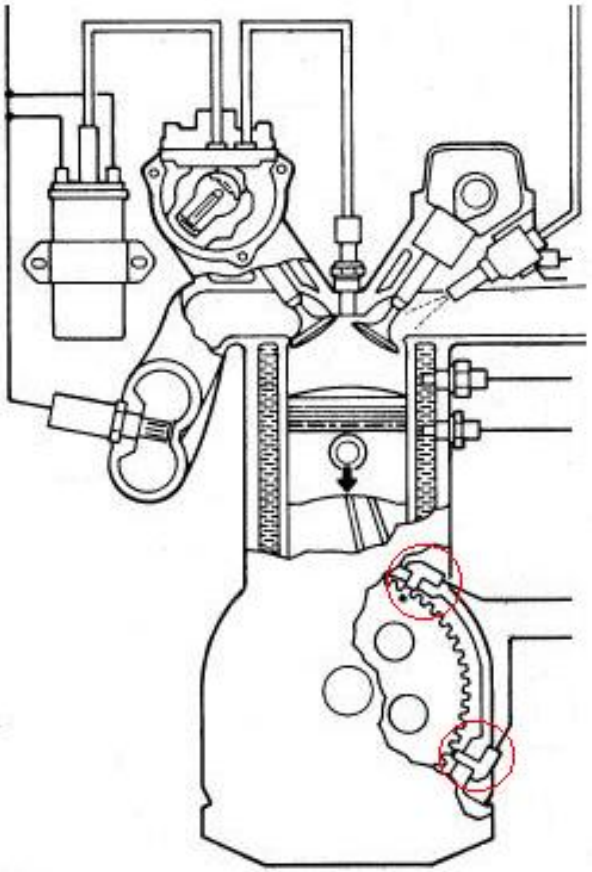


Vissa krav ställs på de magnetiska egenskaperna.

$$e \propto \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

William Sandqvist william@kth.se

Styrning av förbränningsmotor



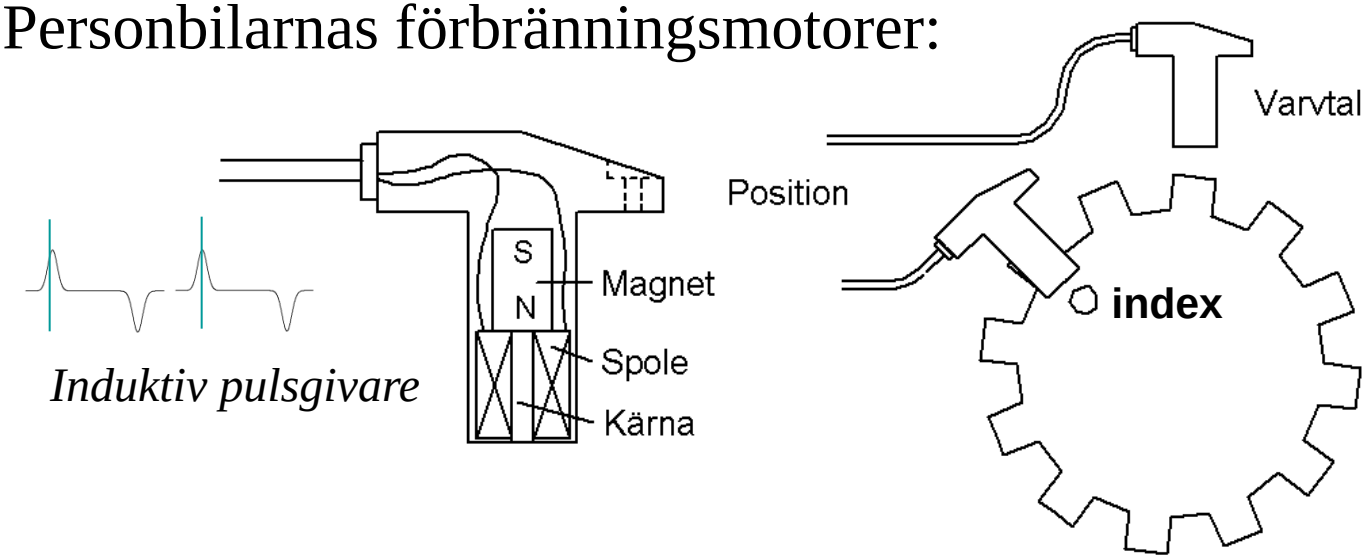
Induktiv pulsgivare

Induktiv pulsgivare

William Sandqvist william@kth.se

ex. Pulstid, antal

Personbilarnas förbränningsmotorer:

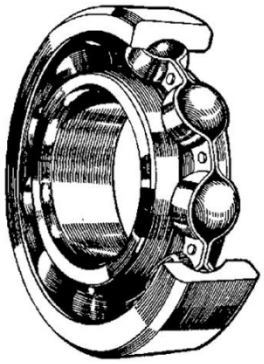


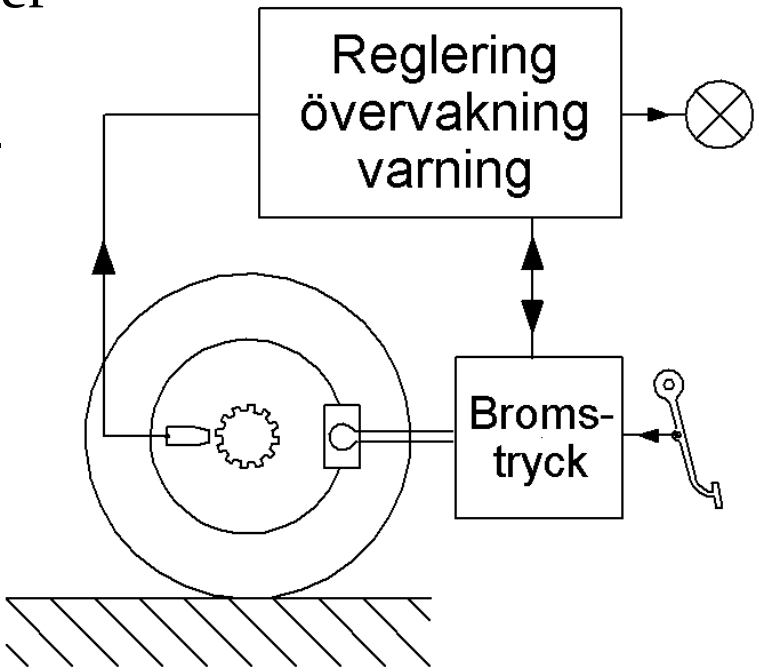
Varvtal och vinkel mäts mot ett kugghjul (”startkransen”) med en induktiv pulsgivare. Givaren ger en **puls** för varje kuggtopp. Varvtalet räknas ut från **pulstiden** mellan två kuggtoppar.

Ett ”indexmärke” markerar vinkeln 0°.
(Alternativt kan en kugge ”saknas” vid 0°).

*ex. **Låg** pulsfrekvens*

ABS-bromsar. När hjulet ”låser sig”, släpper det greppet mot marken. Detta upptäcker ABS-systemet och ”minskar” då på bromstrycket.





En pulsgivare integrerad i hjullagret ger en pulsfrekvens som är proportionell mot hjulets varvtal. ”Låst” hjul innebär **låg pulsfrekvens**.

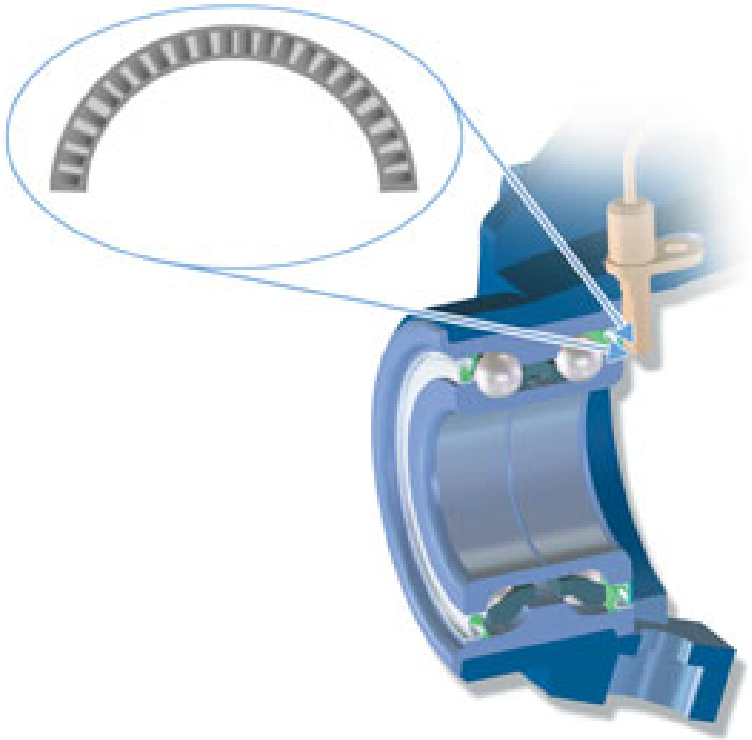
Givare **integreras** numera ofta i *rena* verkstadsprodukter

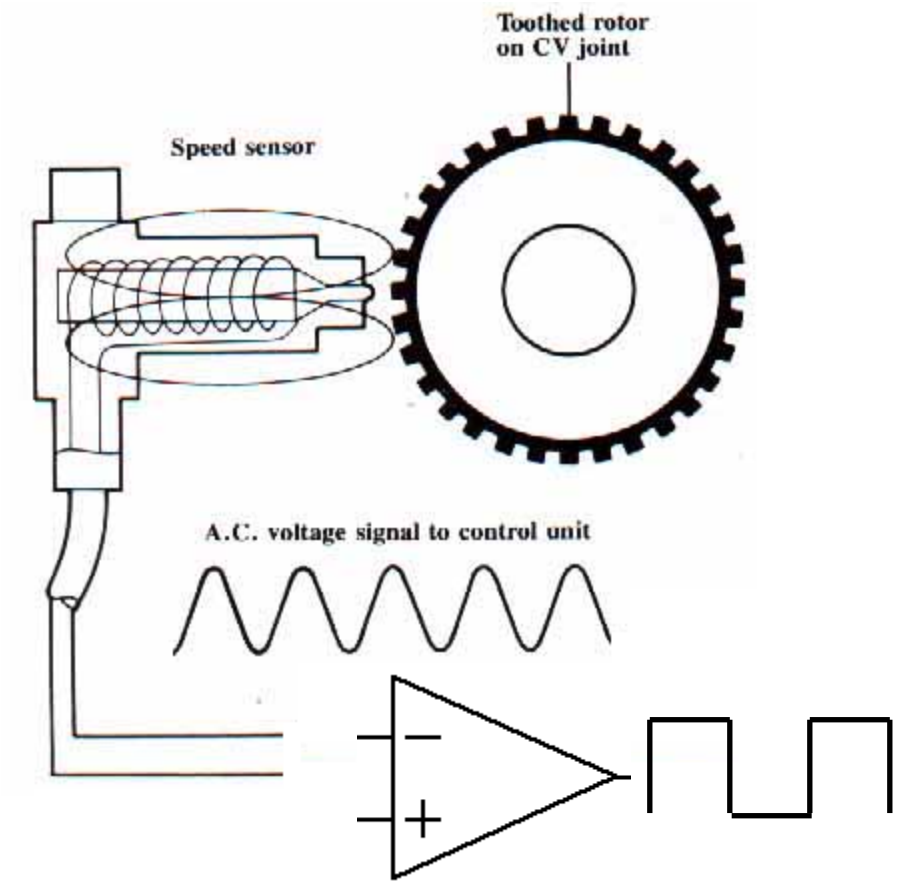
Hjullagerenhet med integrerad ABS-sensor. SKF.

William Sandqvist william@kth.se

Induktiv ABS-givare (spole)

Det tandade metallhjulet är **inbakat** i kullagrets plast-tätning!
(ex. SKF)

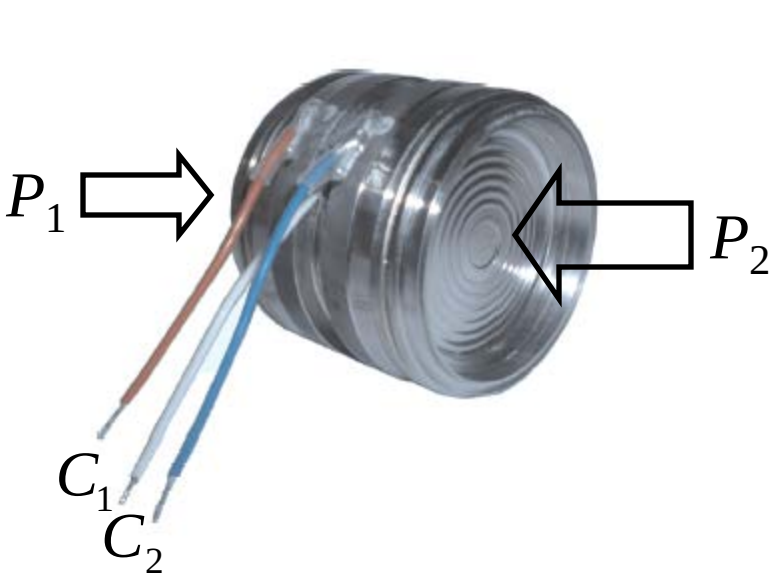


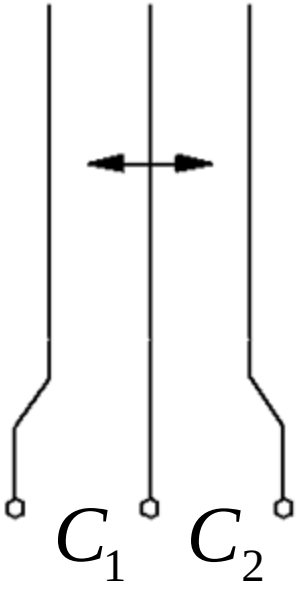


William Sandqvist william@kth.se

William Sandqvist william@kth.se

f Kapacitiv tryckgivare

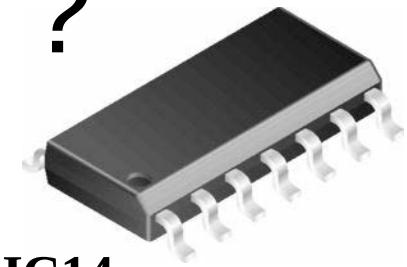




Differentialkondensator för tryckskillnad

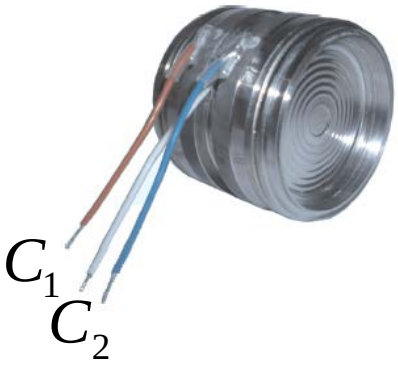
William Sandqvist william@kth.se

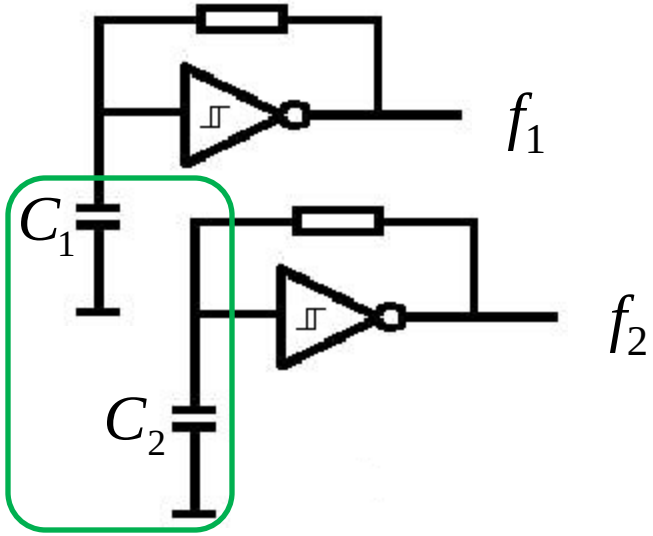
Enkel mätutrustning ?



74HC14

Sex CMOS Schmitt-trigger inverter





$$\frac{f_1}{f_2}$$

Två oscillatorer byggs *nära* differentialkondensatorerna. Frekvenserna f_1 och f_2 mäts. Bildar man **kvoten** mellan frekvenserna får man en storhet där allt som påverkat givarna *lika* undertrycks (= kan förkortas bort).

William Sandqvist william@kth.se

William Sandqvist william@kth.se

Noggrann mätning av *f*

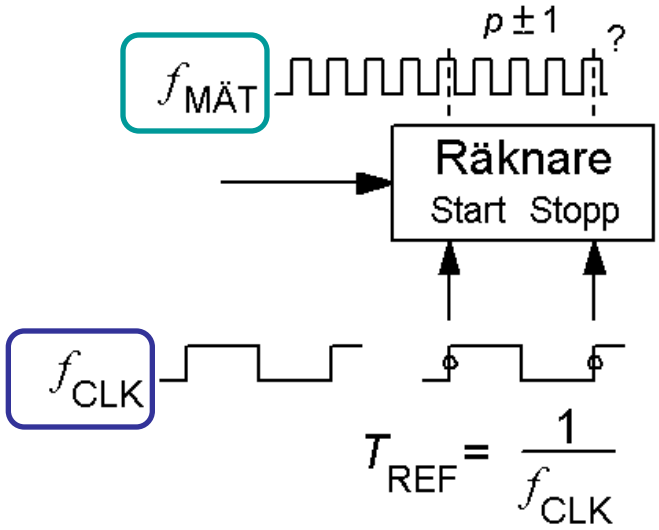
Mätning av frekvens kan ske mycket noggrant. Mycket noggrannare än andra mätningar.

Sensorerna avger pulser av mycket varierande utseende och frekvenser – det finns inte en enda mätmetod som kan täcka alla mätfall.

PIC-processorn har **tre** olika **TIMER**’s och en CCP-enhet för detta. Processorklockan kan genereras med åtta olika metoder.

Frekvensmätning

Hög frekvens
$f_{MÄT} > f_{CLK}$



Kvantisering.
Räknaren räknar bara ”hela” pulser.

$$f = \frac{p \pm 1}{T_{REF}}$$

$$f = (p \pm 1) \cdot f_{CLK}$$

- **Direkt frekvensmätning**

Antalet positiva flanker *p* under *en* period av T_{REF} räknas ($T_{REF}=1/f_{CLK}$).

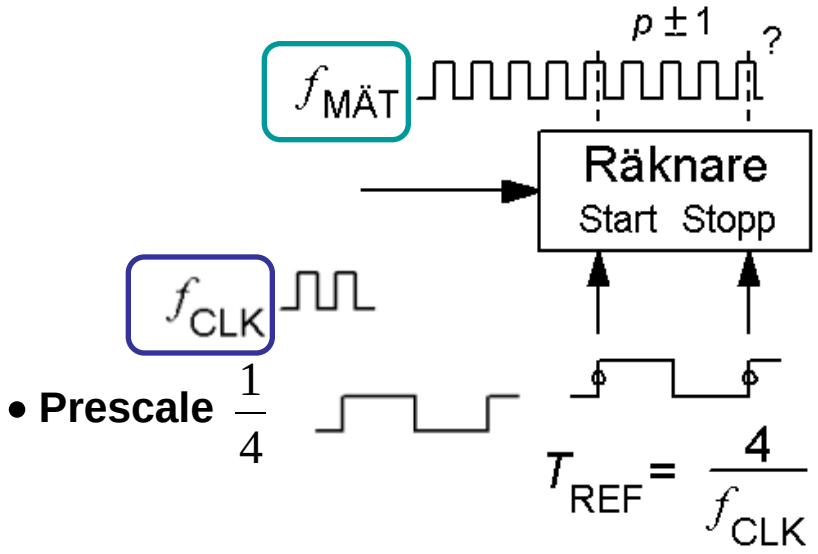
Hög mätfrekvens $f_{MÄT}$ tillsammans med *lång* mättid T_{REF} minimerar inverkan av **kvantiseringsfelet**.

William Sandqvist william@kth.se

Frekvensmätning

Lägre frekvens

$f_{MÄT} > \frac{1}{4} f_{CLK}$



$$T_{REF} = \frac{1}{\frac{1}{4} \cdot f_{CLK}} = \frac{4}{f_{CLK}}$$

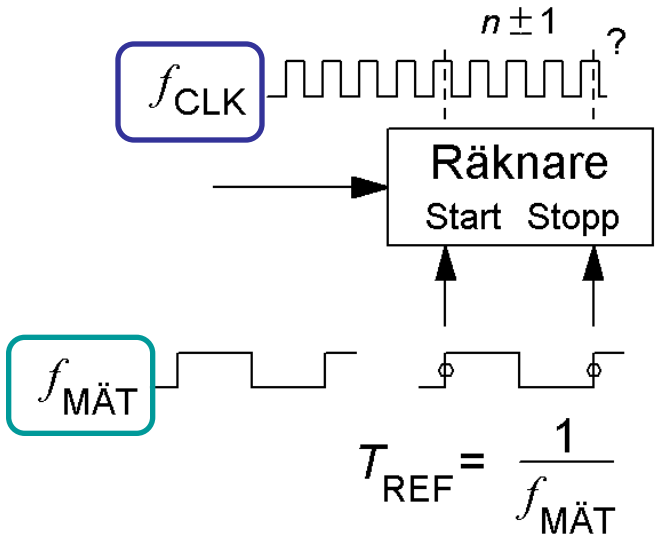
$$f = \frac{p \pm 1}{T_{REF}} = \frac{(p \pm 1) \cdot f_{CLK}}{4}$$

Lägre mätfrekvens kräver att mättiden förlängs genom att man delar ned referens-frekvensen f_{CLK} med en **prescaler**.

William Sandqvist william@kth.se

Periodtidmätning

Låg frekvens
$f_{MÄT} < f_{CLK}$



$$f = \frac{f_{CLK}}{(n \pm 1)}$$

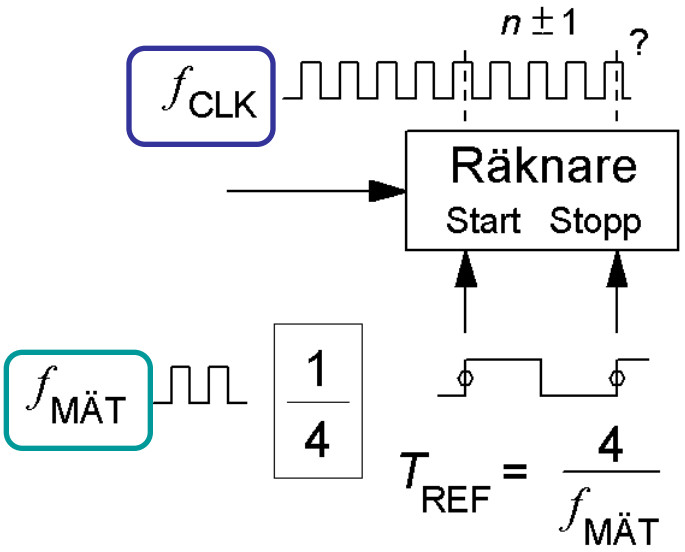
Alternativt kan man vid låg mätfrekvens göra en **periodtidmätning**. Detta är indirekt frekvensmätning. Mätfrekvensen får man genom att *invertera* räknevärdet.

Under en period av mätsignalen räknar man *n* klockpulser.

Multiperiodtidmätning

Högre frekvens

$\frac{1}{4} f_{MÄT} < f_{CLK}$



$$f = k \cdot \frac{f_{CLK}}{(n \pm 1)}$$

Högre mätfrekvenser kan mätas med **multiperiodtid-mätning**. Mätfrekvensen delas då ned med en faktor *k* innan mätningen (registrera var 4:e eller var 16:e flank).

- PIC-processorn är förberedd för alla dessa olika mätmetoder. (Och många fler …)

William Sandqvist william@kth.se

Klockfrekvensens noggrannhet

Förutom kvantiseringsfel, dvs. att man bara räknar hela pulser, kommer man alltid att ha ett **relativt fel** som är lika stort som referensfrekvensens fel.

Ex. Armbandsur kräver kristall. Kristaller har typiskt fel Δf ± 20 ppM (parts per million). f = 4 MHz ± 80 Hz.

Önskemål: uret får inte dra sig mer än 10 sek/månad.
10s/(30[dgr]·24[tim]·60[min]·60[sek]) = 25 ppM.

William Sandqvist william@kth.se

Klockfrekvensens noggrannhet

Ex. Tidtagarur som ska användas till ett 800 m lopp.
(2 minuters total mättid räcker troligen)
Önskemål: upplösning 0,01 sek.
1/(2[min]·60[sek]·100) = 1 ‰.

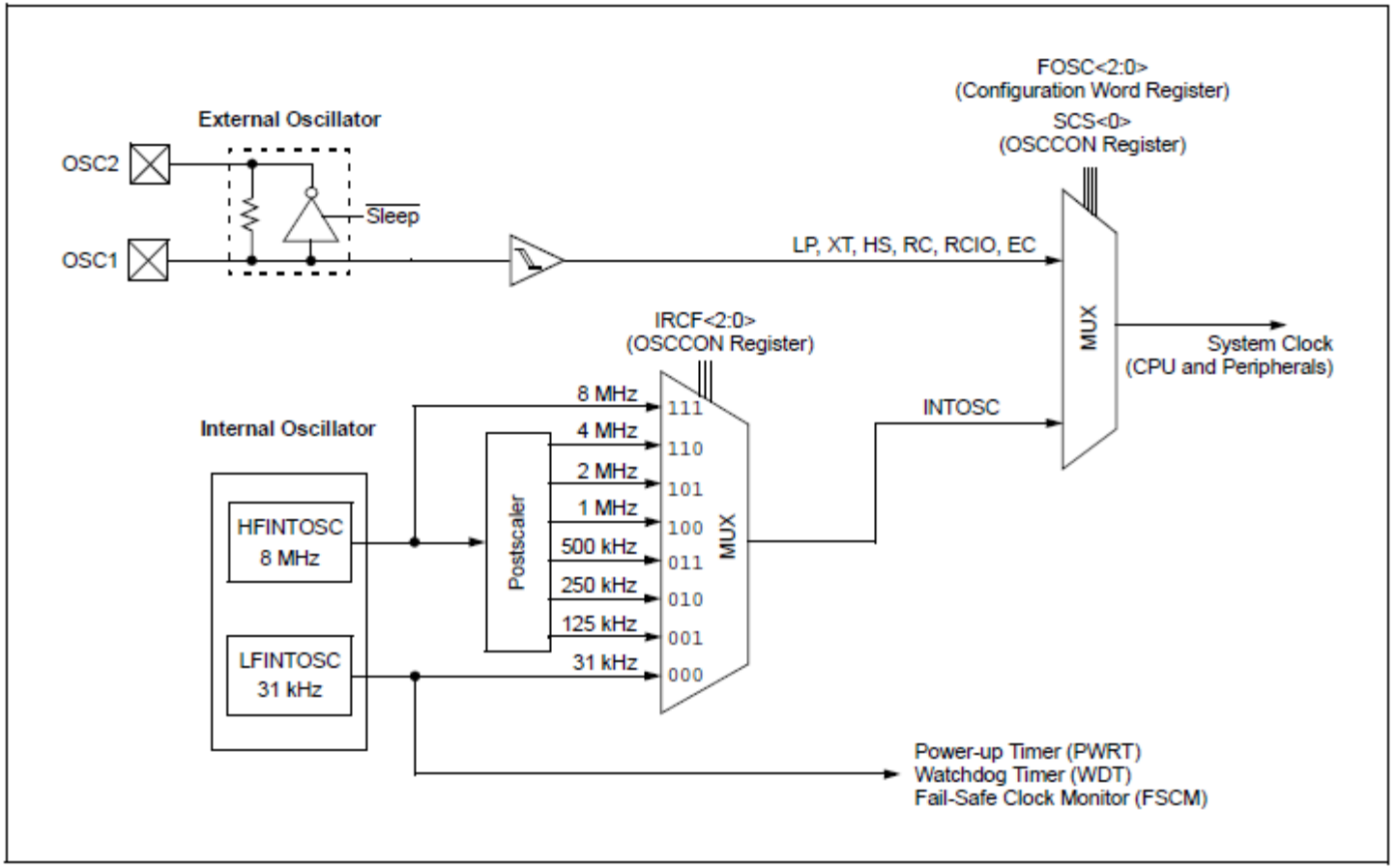
En RC-oscillator har typiskt 5% fel, om den inte trimmas.
(R 1%, men C sällan bättre än 5%)

PIC16F690-processorns inre RC-oscillator är **fabrikstrimmad** till ±1%.
Detta räcker inte … men den går att fintrimma!

William Sandqvist william@kth.se

PIC-processorns klockmodul

FIGURE 3-1: SIMPLIFIED PIC® MCU CLOCK SOURCE BLOCK DIAGRAM



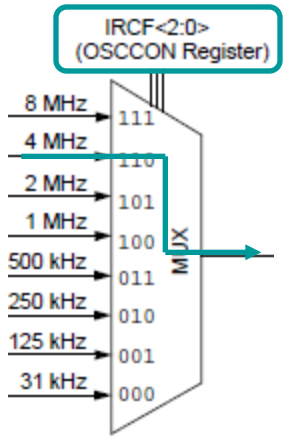
William Sandqvist william@kth.se

PIC-processorns klockmodul

REGISTER 3-1: OSCCON: OSCILLATOR CONTROL REGISTER

U-0	R/W-1	R/W-1	R/W-0	R-1	R-0	R-0	R/W-0
—	IRCF2	IRCF1	IRCF0	OSTS(1)	HTS	LTS	SCS
bit 7							bit 0

- Vid laborationerna använder vi standardinställningen, default, 4 MHz – som gör det enkelt att beräkna exekveringstid.



REGISTER 3-2: OSCTUNE: OSCILLATOR TUNING REGISTER

U-0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
—	—	—	TUN4	TUN3	TUN2	TUN1	TUN0
bit 7							bit 0

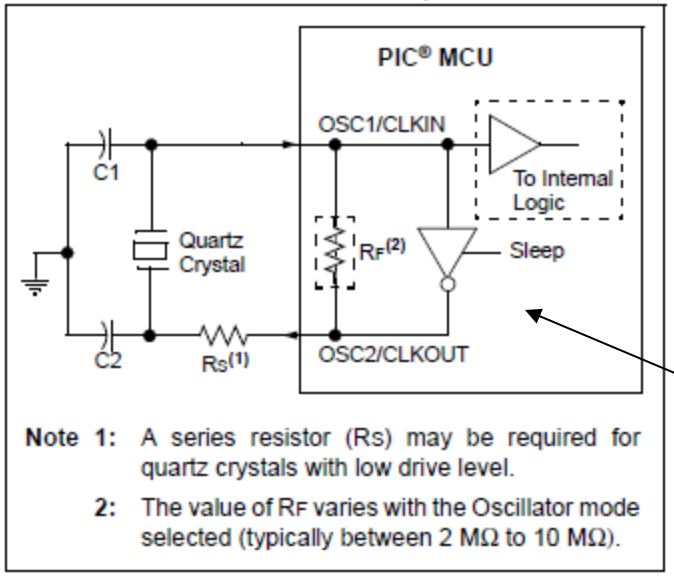
10000(min) – **0**0000 (fabrikstrim) – **0**1111(max)

- Om man har möjlighet att ”trimma själv” så kan den fabrikstrimmade frekvensen justeras i ±16 små steg till ≈ ±0,5‰ . *Nu tillräckligt för tidtagaruret!*

William Sandqvist william@kth.se

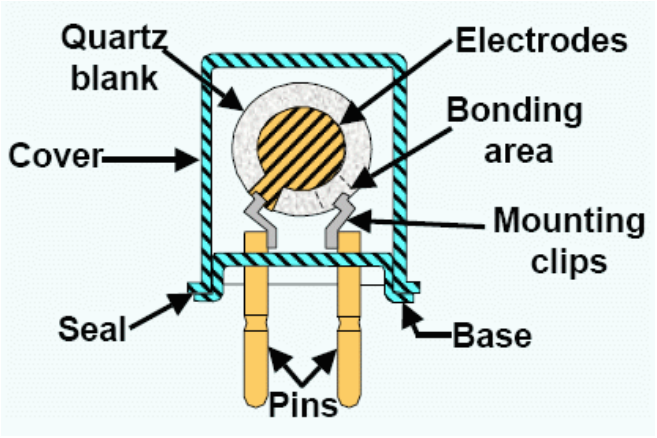
Yttre kristall

FIGURE 3-3: QUARTZ CRYSTAL OPERATION (LP, XT OR HS MODE)



Note 1: A series resistor (RS) may be required for quartz crystals with low drive level.

2: The value of RF varies with the Oscillator mode selected (typically between 2 MΩ to 10 MΩ).

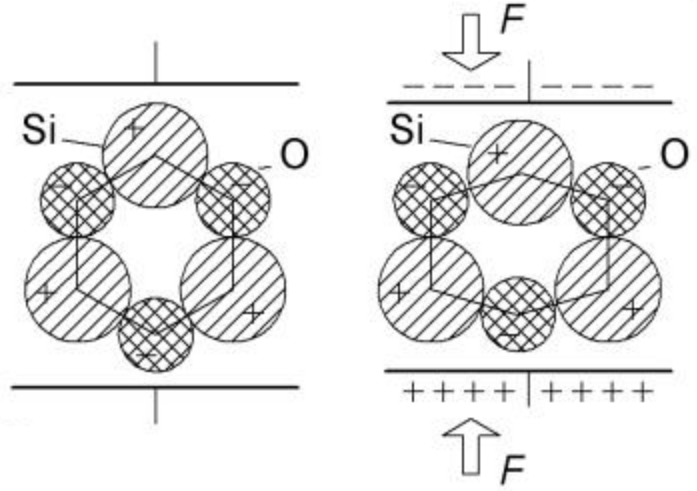


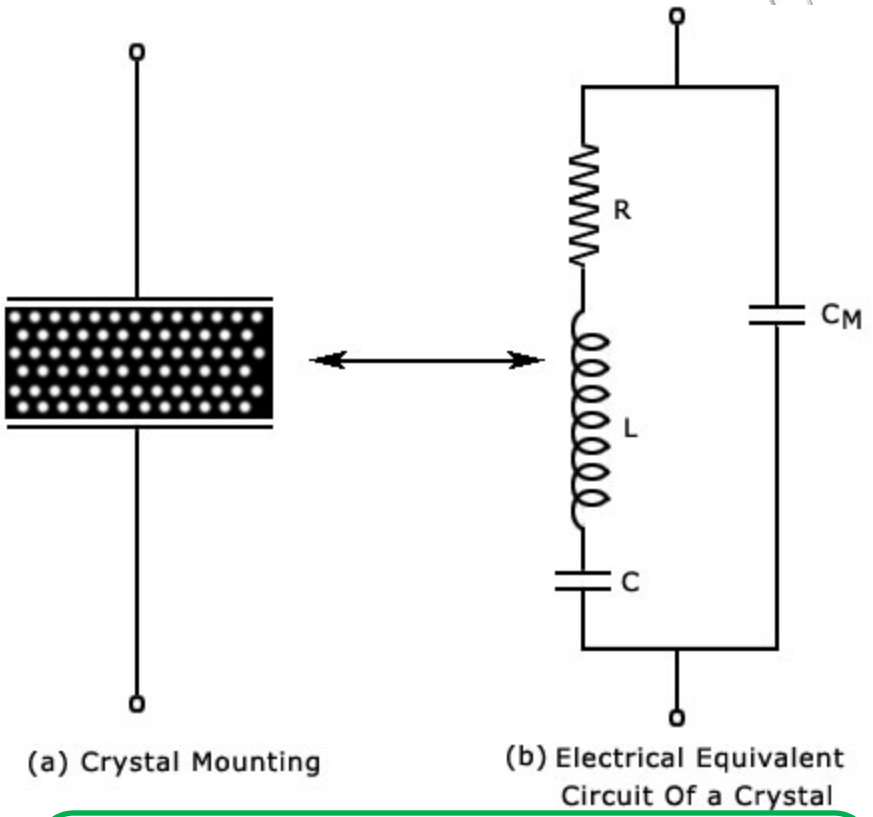
Samma slags krets som till kursens LC-oscillatorlab.

PIC-processorerna kan använda yttre kristall. C1 och C2 kan man ”skolka ifrån” på kopplingsdäck, men de är nödvändiga på ett mönsterkort.

William Sandqvist william@kth.se

Piezoelektrisk kristall



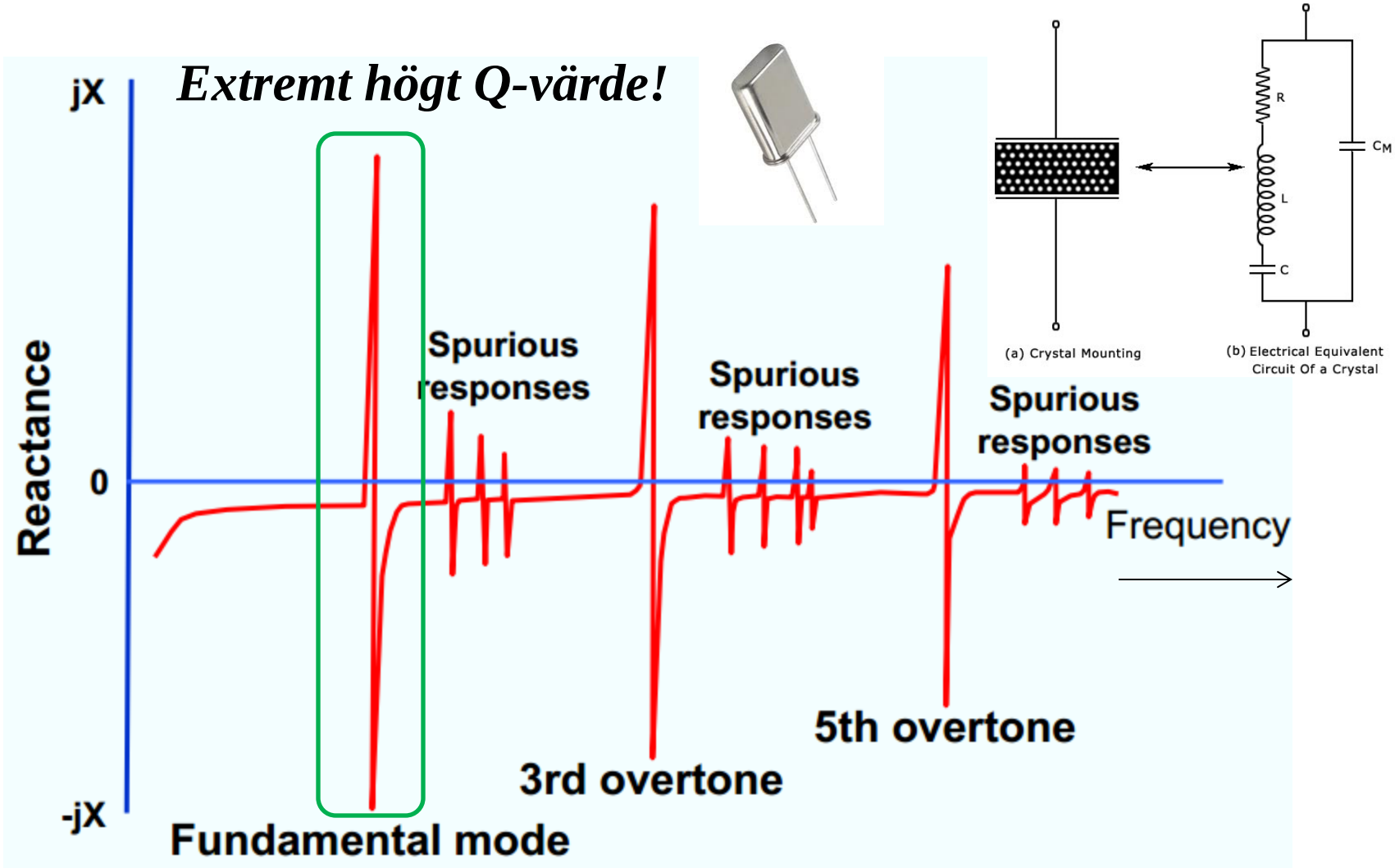


Tillför man ström (laddning) till en ”bergkristall” komprimeras den, när den sedan ”fjädrar” tillbaka avger den ström.

- Elektriskt kan kristallen jämföras med en resonanskrets – med **extremt** högt Q-värde.

William Sandqvist william@kth.se

Piezoelektrisk kristall



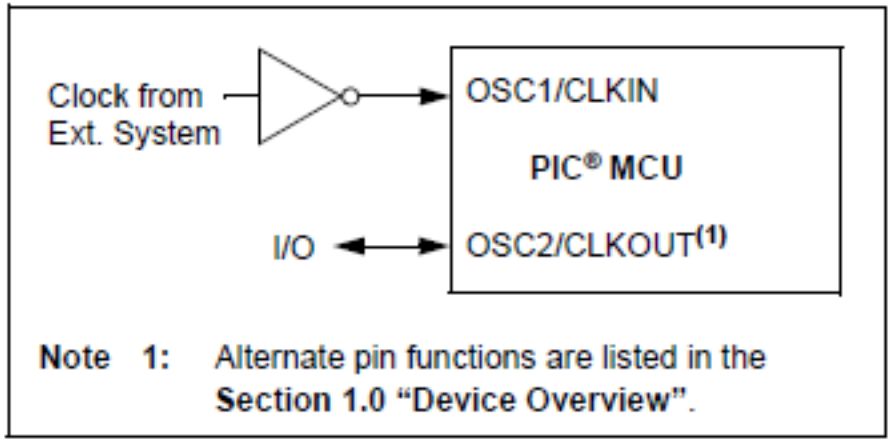
William Sandqvist william@kth.se

Yttre klockfrekvenssignal

PIC-processorerna kan använda *yttre* klockfrekvenssignal.

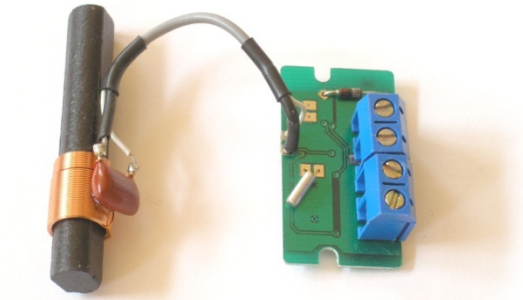
Har man tillgång till en **exakt frekvens** kan PIC-processorn bli lika exakt. (Bilden visar en sådan extern klockmodul med oscillator och kristall ”allt i ett”).

FIGURE 3-2: EXTERNAL CLOCK (EC) MODE OPERATION



Atom-normal?

Radiokontrollerade klockor från tex. Claes Ohlsson & co är **låsta** till en atomnormal i tyskland.
Det kan faktiskt gå att få tag på extremt noggrann referensfrekvens till lågt pris!



En sådan klockmodul ger en puls per sekund (med undantag för sekund nr 60). En så kallad PPS-signal.

William Sandqvist william@kth.se

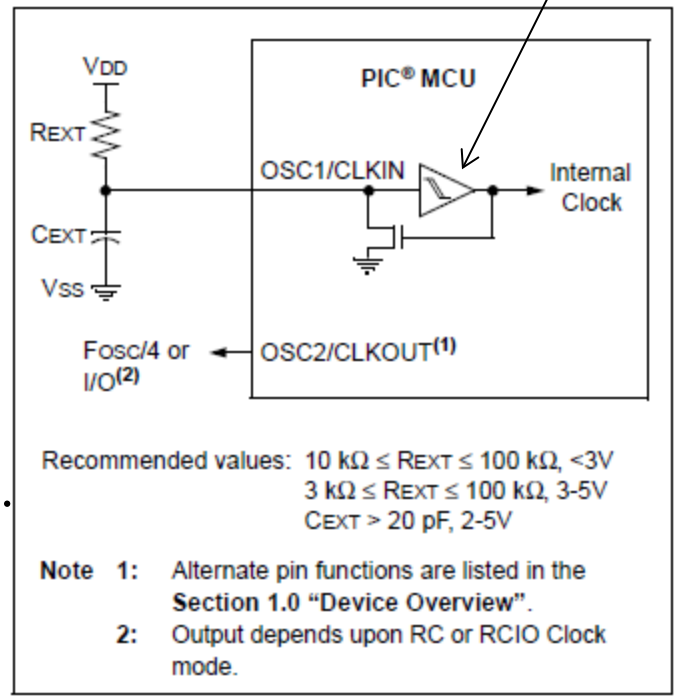
Låg klockfrekvens *RC*

Schmitt-trigger

När frekvensnoggrann-
heten inte har så stor
betydelse
– yttre RC-krets.

Datainsamling av ett mätvärde om dagen kräver ingen hög klockfrekvens. Man kan sedan ändra/höja klock-frekvensen i programmet när processorn ska avrapportera!

FIGURE 3-5: EXTERNAL RC MODES

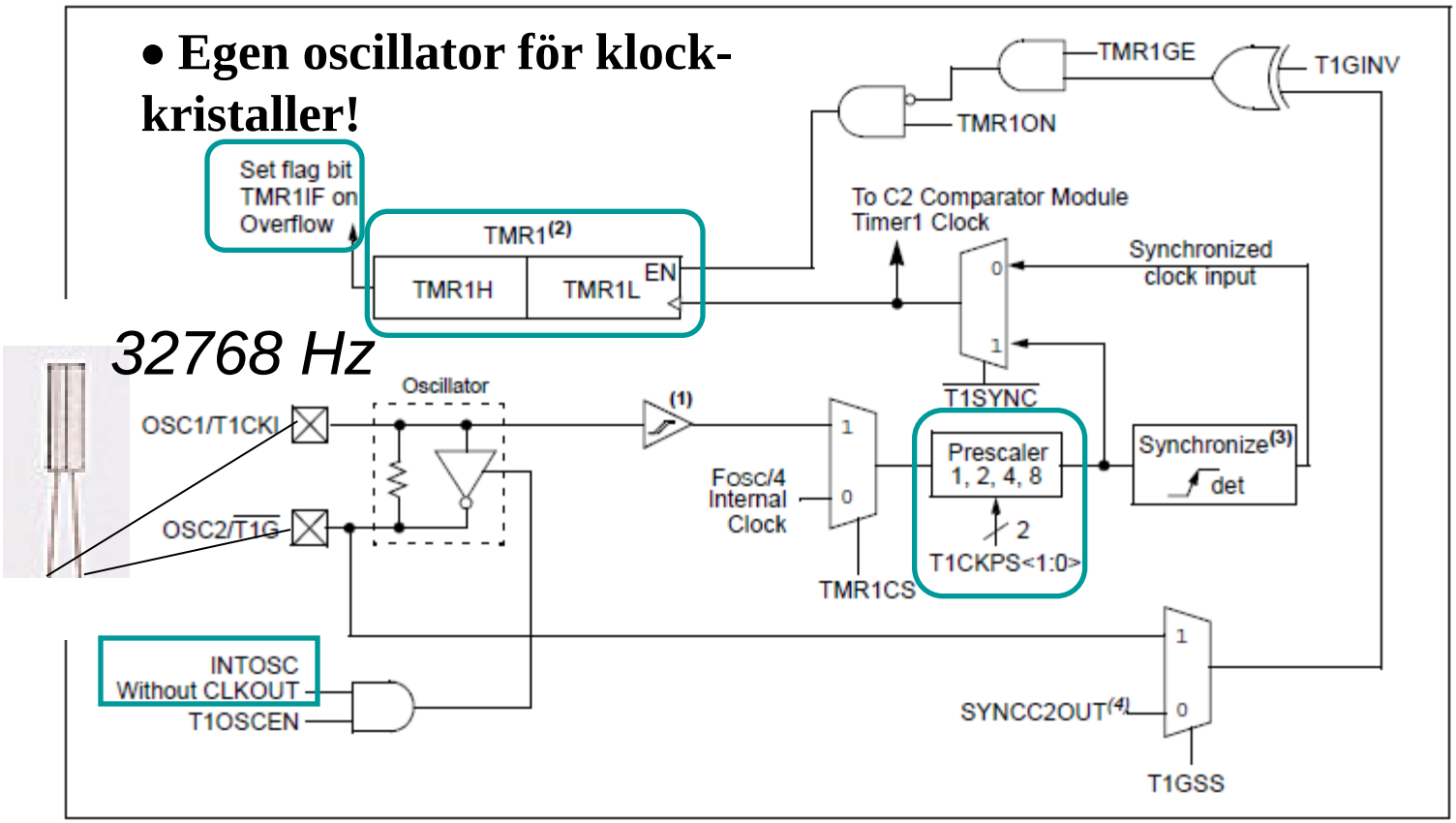


- Ju lägre klockfrekvens desto lägre strömför-brukning, och mindre risk för att PIC-processorn avger störningar

William Sandqvist william@kth.se

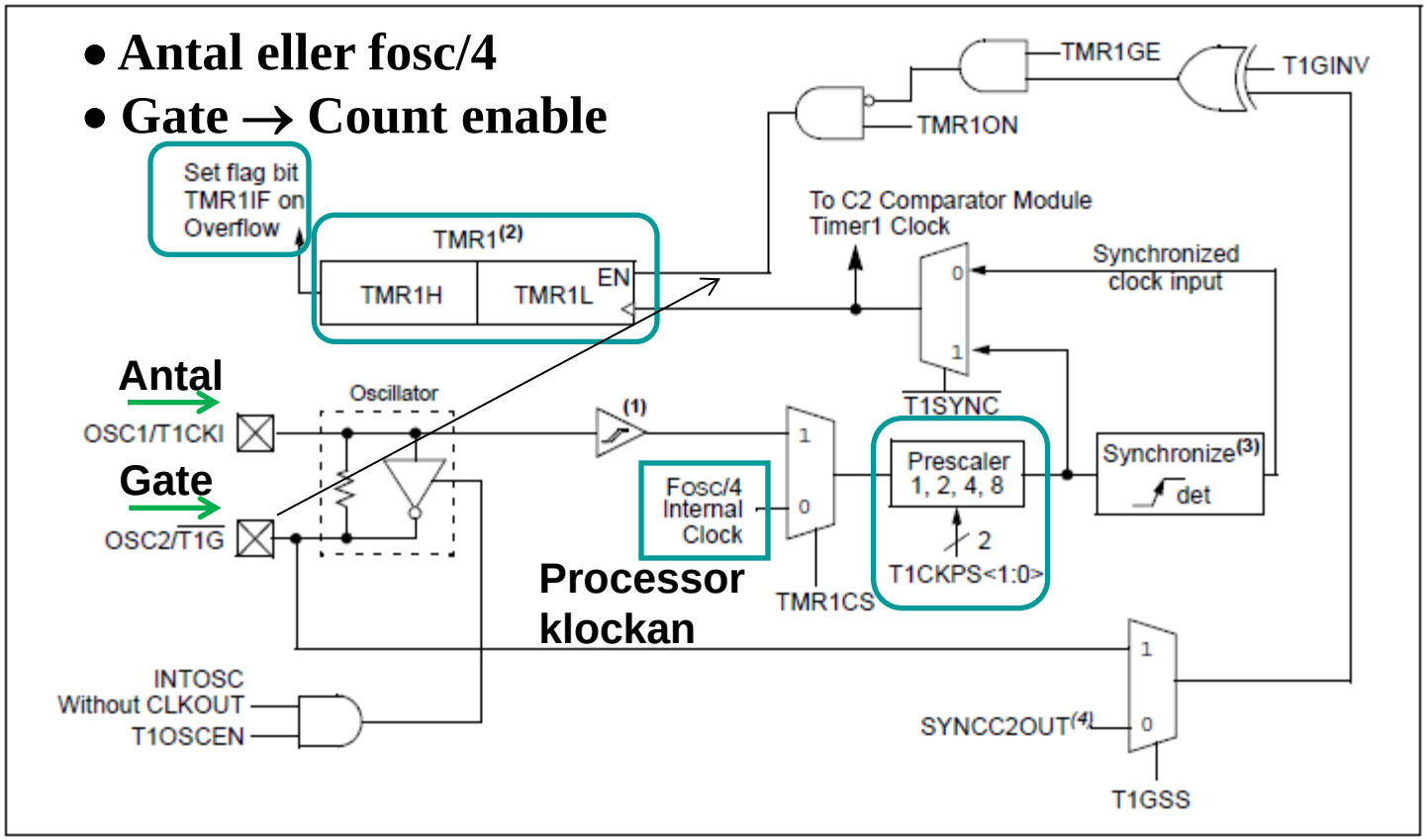
PIC 16F690 Timer1

FIGURE 6-1: TIMER1 BLOCK DIAGRAM



PIC 16F690 Timer1

FIGURE 6-1: TIMER1 BLOCK DIAGRAM



PIC 16F690 Timer1

Timer1 är en 16-bitars timer/counter. Man når den genom två 8-bitars-register **`TMR1H`** och **`TMR1L`**. En flagga **`TMR1IF`** sätts om timern räknat runt. Måste 0-ställas ifall man vill veta om detta sker igen.
Timer1 kan använda en egen oscillator – för 32768 Hz tidtagarkristaller, eller processorklockan. Timer 1 har sedan en **Prescaler** {1:1,1:2,1:4,1:8}.

REGISTER 6-1: T1CON: TIMER 1 CONTROL REGISTER

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
T1GINV(1)	TMR1GE(2)	T1CKPS1	T1CKPS0	T1OSCEN	$\overline{\text{T1SYNC}}$	TMR1CS	TMR1ON
bit 7							bit 0
0	**0**	prescaler		**0**	**1**	**0**	**1**

Inställning vid frekvesmätningslab.

William Sandqvist william@kth.se

Hur läser man från en 16-bit "free running" Timer1?

Timer1 är en 16-bitarsräknare. Den måste läsas av som två 8-bitarstal, de 8 mest signifikanta bitarna **TMR1H** och de 8 minst signifikana bitarna **TMR1L**. Detta kan vara ett problem eftersom Timern kan "slå runt" mellan avläsningarna av 8-bits talen. Följande kod visar det säkra sättet:

```
long unsigned int time; char TEMPH; char TEMPL;
TEMPH = TMR1H; TEMPL = TMR1L;
if (TEMPH == TMR1H) // Timer1 not rolled over = good value
 {
   time = TEMPH*256;
   time += TEMPL;
 }
else // Timer1 rolled over - no new rollover for some time
     // lots of time to read new good values
 {
   time = TMR1H*256;
   time += TMR1L;
 }
```

OK direkt

OK nu

William Sandqvist william@kth.se

Hur skriver man till en 16-bit "free running" Timer1?

Det kan också vara problematiskt att *skriva* till en 16-bitarsräknare eftersom det måste ske som två 8-bitarstal. Detta är det säkra sättet:

```
TMR1L = 0; // clear low byte = no rollover for some time
TMR1H = 12345/256; // high byte of constant 12345
TMR1L = 12345%256; // low byte of constant 12345
```

Talet **12345** ryms i 16 bitar. Med heltalsdivision / och modulo **%** delas en konstant enkelt upp i två 8-bitarsdelar. Ett annat sätt är att använda hexadecimala konstanter:

$12345_{10} = 3039_{16}$ `TMR1H=0x30` `TMR1L=0x39`

William Sandqvist william@kth.se

CCP **synkroniseringsregister**

ECCP-enheten, Enhenced Capture/Compare/(PWM)

- Man kan undvika att skriva till och läsa från Timer1-registren – det finns *synkroniserade register* i ECCP-enheten för detta!

FIGURE 11-1: CAPTURE MODE OPERATION BLOCK DIAGRAM

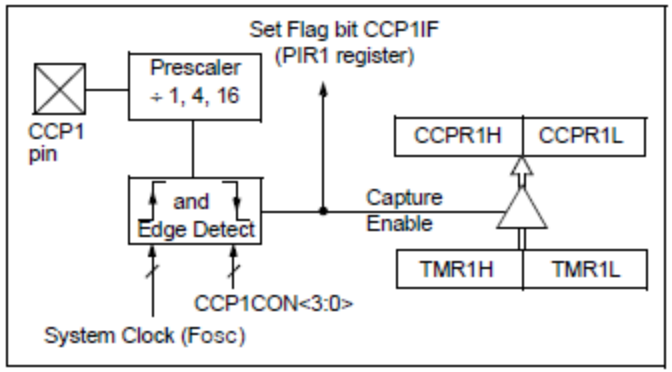
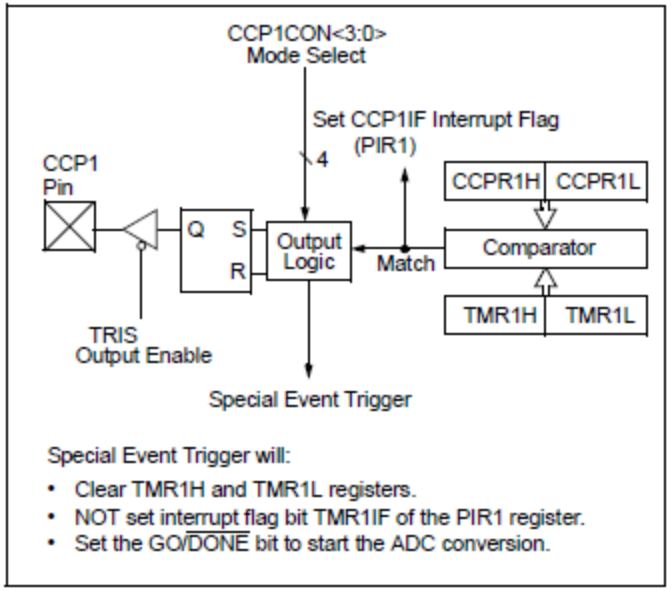


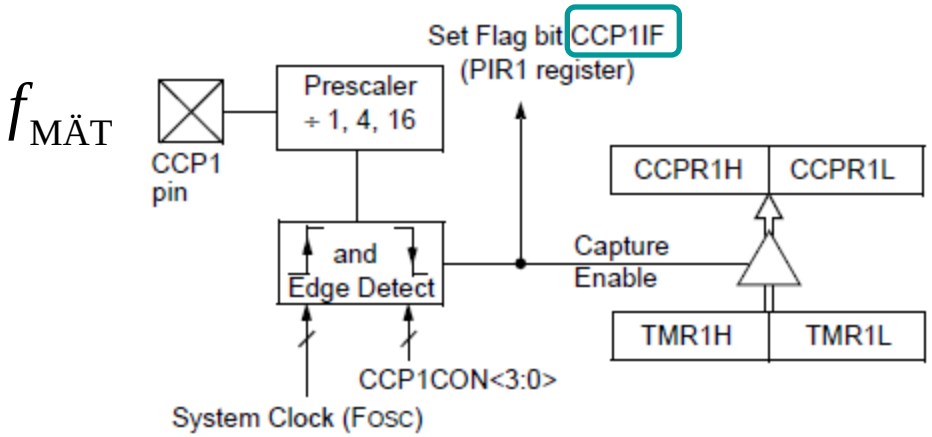
FIGURE 11-2: COMPARE MODE OPERATION BLOCK DIAGRAM



- **CCPR1H** och **CCPR1L**

William Sandqvist william@kth.se

ECCP Capture modes



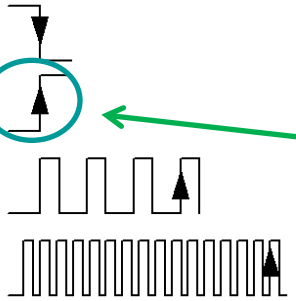
När Capture-händelsen inträffar så kopieras Timer1 direkt över till **CCPR1H** och **CCPR1L** där de kan läsas i ”lugn och ro”. Biten **CCP1IF** sinalerar detta. Den måste vi sedan nollställa.

REGISTER 11-1: CCP1CON: ENHANCED CCP1 CONTROL REGISTER

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
P1M1	P1M0	DC1B1	DC1B0	CCP1M3	CCP1M2	CCP1M1	CCP1M0
bit 7							bit 0
-	-	-	-	0	1	0	1

Periodtid mätning

Multiperiod tid mätning



CCP1M<3:0>: ECCP Mode Select bits

0000 = Capture/Compare/PWM off (resets ECCP module)
0100 = Capture mode, every falling edge
0101 = Capture mode, every rising edge
0110 = Capture mode, every 4th rising edge
0111 = Capture mode, every 16th rising edge

William Sandqvist william@kth.se

William Sandqvist william@kth.se

Setup Timer1

Timer1, så snabbt som möjligt:

```
// Setup TIMER1

/*
  0.x.xx.x.x.x.x TMR1 gate not invert
  x.0.xx.x.x.x.x TMR1 gate not enable
  x.x.00.x.x.x.x Prescale 1:1
  x.x.xx.0.x.x.x TMR1-oscillator is shut off
  x.x.xx.x.1.x.x no input clock-synchronization
  x.x.xx.x.x.0.x Use internal clock f_osc/4
  x.x.xx.x.x.x.1 TIMER1 is ON
*/

T1CON = 0b0.0.00.0.1.0.1 ;
```

Tydlig kommentar som visar hur **T1CON** värdet tagits fram.

Setup ECCP

CCP1, fånga tiden för positiva flanker:

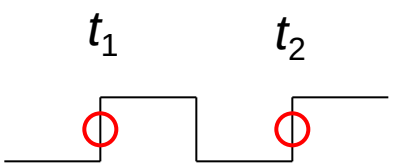
```
// Setup CCP1
/*
  00.00.xxxx -- --
  xx.xx.0101 Capture each positive edge
*/

CCP1CON = 0b00.00.0101 ;
```

Vänta på flankerna

```
unsigned long T, f, t1, t2;
```

16-bitarstal

```
CCP1IF = 0 ;                // reset the flag
while (CCP1IF == 0 ) ; // wait for capture
t1 = CCPR1H*256;
t1 += CCPR1L;
CCP1IF = 0 ;                // reset the flag
while (CCP1IF == 0 ) ; // wait for next capture
t2 = CCPR1H*256;
t2 += CCPR1L;
```



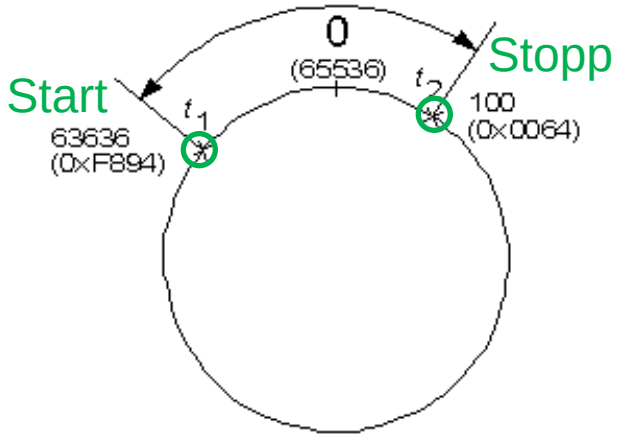
$$T = t_2 - t_1 \qquad f = \frac{1}{T}$$

```
T = t2 - t1;                // calculate period
f = 1000000U/T;             // calculate frequency
```

t2 – t1

`unsigned long T, f, t1, t2;`

- Vad händer om t1 > t2 (100-65636)?



Skillnaden t2-t1 räknas **modulo 2^{16}** så antalet tick mellan t1 och t2 blir därför alltid det korrekta värdet ”varvet runt”!

$$(100 - 63636) \bmod (2^{16}) = 2000$$

Det är en bra idé att kontrollera sina funderingar med **Codepad** C-kompilator online.

C, pasted just now:

```c
#include <stdio.h>
#include <math.h>

int main(int argc, char *argv[])
{
 unsigned int t1=63636,t2=100;
 printf("(%d-%d) %% pow(2,16) = %d\n",t2,t1,(t2-t1)%(unsigned int)pow(2,16));
 return 0;
}
```

Output:

```
(100-63636) % pow(2,16) = 2000
```

William Sandqvist william@kth.se

(**Codepad** Online C-kompilator)

Det är bekvämt att prova sina beräkningsformler med en vanlig C-kompilator. Man måste då ta hänsyn till att PIC-processorn har andra variabelstorlekar än vad som brukar vara standard. Man måste skriva ut resultaten med den ”modul” PIC-processorn använder.

```
// int in Codepad is 32 bit
// int in Cc5x PIC is 8 bit
// long int in Cc5x PIC is 16 bit
int a= -25;
printf(”PIC int a=%d”, a%256);
printf(”PIC long int a=%d”, a%pow(2,16));
```

Cc5x-kompilatorn följer *inte* C-standard (detta av prestandaskäl). Man behöver läsa manualen, och man behöver ”provköra” beräkningsdelen av sitt program med hårdvaran för att se att man förstått rätt.

f=1000000U/T

```
unsigned long T, f, t1, t2; /* long is max 65535 */
f = 1000000U/T;
```

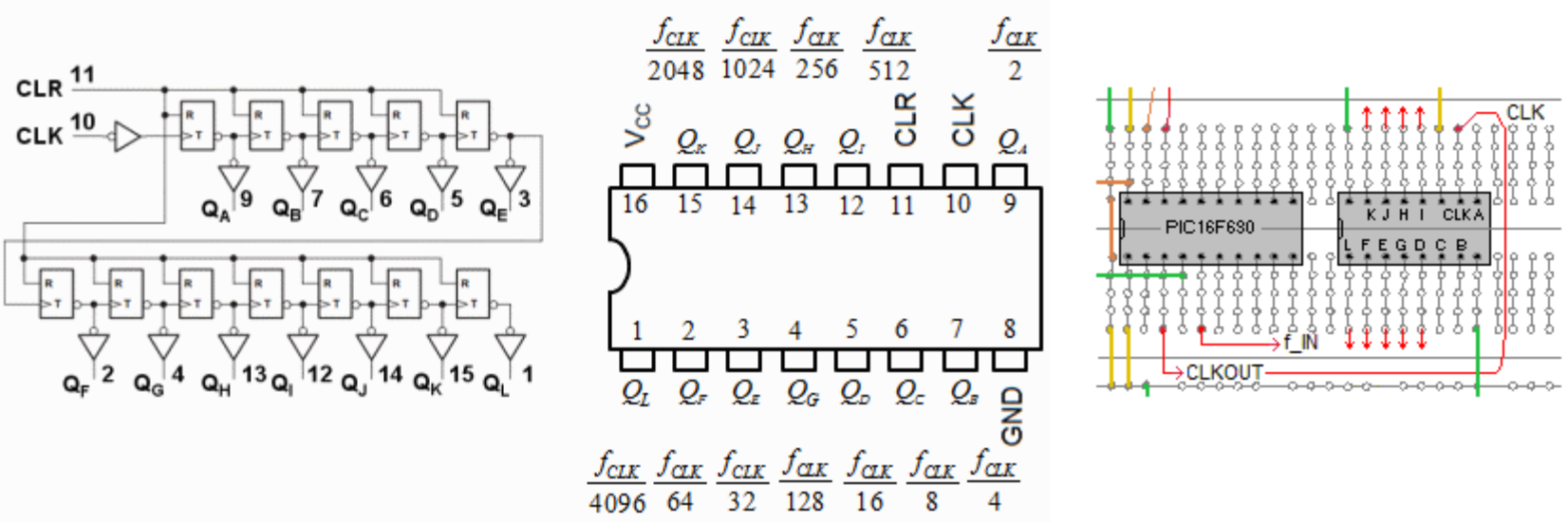
- **Skalfaktorn** mellan *f* och *T* är 1000000. Timer1 klockas med 1 MHz.
- Om *T*=1 (T=1±1) är mätfrekvensen 1 MHz. *f* > 65535, ryms ej.
- Om *T*=10 (T=10±1) är mätfrekvensen 100 kHz. *f* > 65535, ryms ej.
- Om *T*=**100** (T=100±1) är mätfrekvensen **10 kHz**. *f* < 65535, ryms.
- Om *T*=**1000** (T=1000±1) är mätfrekvensen **1 kHz**. *f* < 65535, ryms.
- Om *T*=**10000** (T=10000±1) är mätfrekvensen **100 Hz**. *f* < 65535, ryms.
- Om *T* > 65535 TMR1 slår runt kan bli vad som helst *f* = ?

William Sandqvist william@kth.se

William Sandqvist william@kth.se

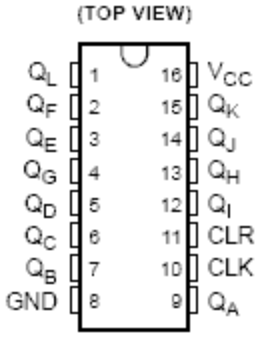
Frekvensmätning lab

PIC16F690 kan koppla ut processorklockan f_{OSC} **/4** = 1 MHz på pinnen **CLKOUT**. Med det billiga frekvensdelar-chippet 74HC4040 får vi tillgång till 12 olika frekvenser att mäta på!

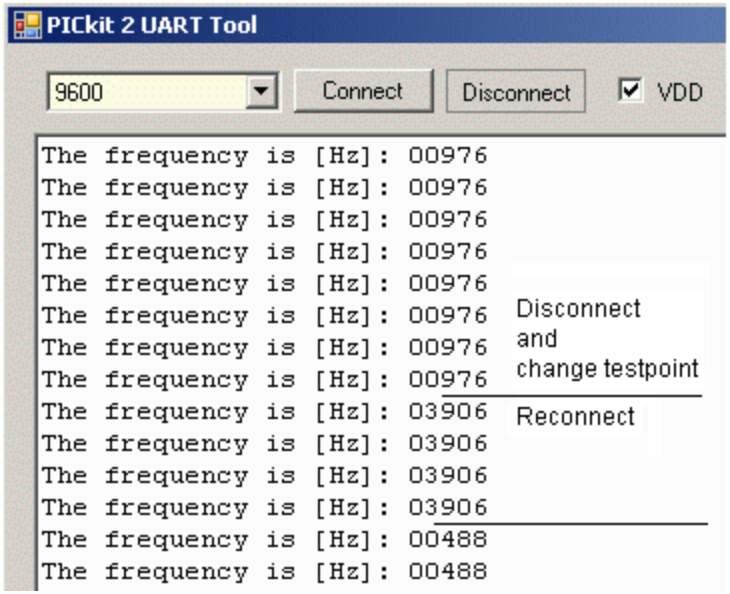


William Sandqvist william@kth.se

Frekvensmätning lab



Varför blir mätvärdena så otroligt exakta?
Har Du fått tag på en ***superbra*** PIC16F690?



74HC4040 f_{CLK} = 1 MHz			
PIN	freq [Hz]	Uppmätt [Hz]	Kommentar
1	$10^6/2^{12} = 244{,}1$		
2	$10^6/2^6 = 15625$		
3	$10^6/2^5 = 31250$		
4	$10^6/2^7 = 7812{,}5$		
5	$10^6/2^4 = 62500$		
6	$10^6/2^3 = 125000$		
7	$10^6/2^2 = 250000$		
9	$10^6/2 = 500000$		
12	$10^6/2^9 = 1953{,}1$		
13	$10^6/2^8 = 3906{,}3$	3906	
14	$10^6/2^{10} = 976{,}6$	976	
15	$10^6/2^{11} = 488{,}3$	488	

?

Något verkar skumt …

William Sandqvist william@kth.se

William Sandqvist william@kth.se