

Frecuencímetro y contador

Conceptos generales

- Un CONTADOR cuenta el NUMERO DE EVENTOS producidos ENTRE UN INSTANTE INICIAL Y UN INSTANTE FINAL, elegidos A VOLUNTAD, y presenta el resultado en forma numérica.
- La FRECUENCIA de una señal REPETITIVA es el # DE CICLOS de esa señal POR UNIDAD DE TIEMPO. Así, puedo usar un CONTADOR que cuenta este # de ciclos, pero **en un tiempo determinado INTERNAMENTE con muy baja incertidumbre**. Esto es un FRECUENCIMETRO.
- La FRECUENCIA y el TIEMPO están relacionados íntimamente, por lo que puedo además medir **di f. de frecuencias, periodo de señales repetitivas, intervalos de tiempo (1 señal o entre 2 señales), de fase, ancho de pulso, ciclo de trabajo, cálculos estadísticos, etc.**
- RESOLUCION → # de dígitos.
- SENSIBILIDAD EN FRECUENCIA → determinado x # DE DIGITOS y TIEMPO DE COMPUERTA.

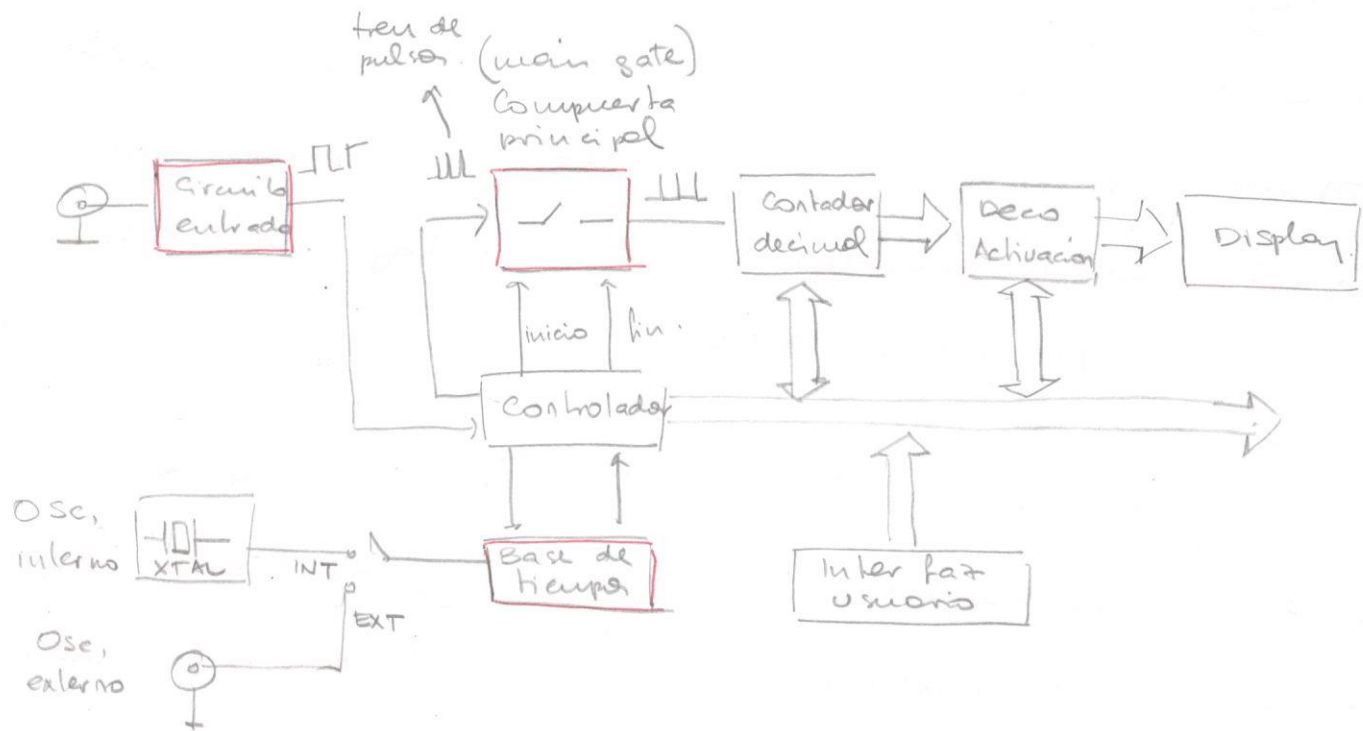
$$f = \frac{n}{t}$$

número de ciclos (n) de la señal repetitiva que se producen en el intervalo (t).
si $t = 1 \text{ seg} \Rightarrow f = [\text{Hz}]$.

Tenemos una BASE DE TIEMPOS muy precisa que ~~es lo que~~ ~~me ha~~ ~~ya~~ ~~te~~ de la tener muy BUENA ESTABILIDAD.

Un valor común sería 3×10^{-7} porls/ues, o lo mejor, $3 \cdot 10^{-9}$ porls/ues. Esto debe ser 3-5 veces menor a la estabilidad del sistema a medir ($< 0,5 \cdot 10^{-7}$ para estaciones GPS por ej.).

Diagrama en bloques



Vienen el que incorporan todo, menos el osc. a XTAL y la presentación. El núcleo es el **CONTADOR**, cuya tecnología define la **MAXIMA FRECUENCIA** a medir.

El **CIRCUITO DE ENTRADA** acondiciona la señal a medir p/ adaptarlo a circuitos que trabajan con **NIVELES LÓGICOS** de tensión.

La **UNIDAD DE CONTROL** determine QUÉ SEÑAL se contará (la de entrada o la base de tiempo), y POR CUANTO TIEMPO.

Esto lo veremos como DOS CASOS SEPARADOS después. Para decir "POR CUANTO TIEMPO", **abre y cierra la COMPUERTA PRINCIPAL**

(MAIN GATE) que recede al contador.

La BASE DE TIEMPOS brinda intervalos de tiempo de baja incertidumbre p/ ABRIR/CERRAR la comp. principal. Se parte de un oscilador muy estable (cuartzo, 1,5 a 10 MHz), y luego se va dividiendo

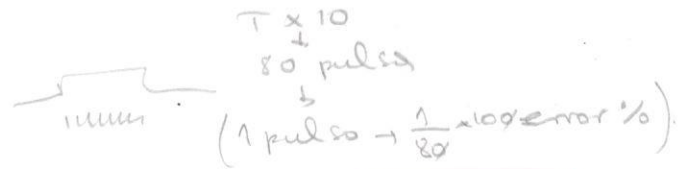
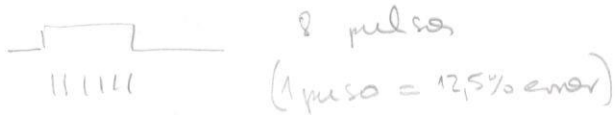
① FUNCIONES Y TIPOS DE MEDICIONES

- Medicin de Frecuencia

- ↑ tiempo de compuerta → mejor RESOLUCION
 ↳ tiempo q' ESPERAR MAS TIEMPO.

- El problema del tiempo se nota para FRECUENCIAS BAJAS → me conviene medir PERIODO.

- La PEOR PRECISION es cuando $T_{comp} = T_{señal}$ (100% error)



$$N = \# \text{ de cuentas} = \underbrace{f_x}_{\text{rec. a medir}} \cdot \underbrace{10^n}_{\text{dicado}} = f_x \cdot \underbrace{t_p}_{\text{rec. XTAL}}$$

$$\Rightarrow f_x = \frac{N}{t_p}$$

cuanto MAYOR ES N, luego MAS RESOLUCION.

- Medicin de PERIODO

Se inter cambian la parte. La SEÑAL DE ENTRADA. va al FF de pte.
 Ahora puedo poner una FRECUENCIA ELEVADA para medir con buena precision.

Señal 100 kHz ($T = 10 \mu s$) → pso 10 MHz en base de tiempo → 10 000 000 cuentas (error 10^{-5})

↳ Si usara FRECUENCIA c/bal $T = 1 s \Rightarrow$ 100 cuentas → error 10^{-2}

$$N = \frac{f_0}{10^n} \times \underbrace{T_x}_{=t_p} \Rightarrow T_x = N \cdot \frac{10^n}{f_0}$$

* Si divido la ENTRADA por 10^m , el # de cuentas es mayor:

$$N = \frac{f_0}{10^n} \times \frac{10^m}{f_x} = \frac{f_0}{10^n} \times 10^m \times T_x \Rightarrow T_x = \frac{N}{10^{m-n}} \times 10^n \times T_0$$

FRECS ELEVADAS → me conviene medir FRECUENCIA

FRECS BAJAS → me conviene medir PERIODO.

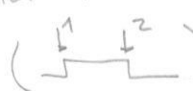

PERIODO PROMEDIADO

CONTADRS RECIPROCA → SIEMPRE en legan FRECUENCIA, pero. INTERVAMENTE miden FREQ o PERIODO.

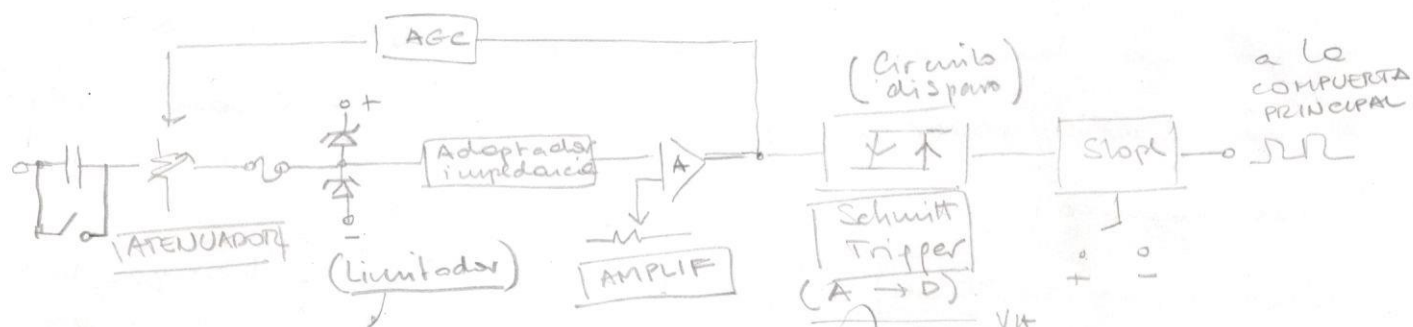
- Medic. de RELAC. DE FRECS.

Se controla la COMPUERTA con la MENOR FRECUENCIA, y se cuentan ciclos de la señal de MAYOR FRECUENCIA.

Medic. de INTERVALOS

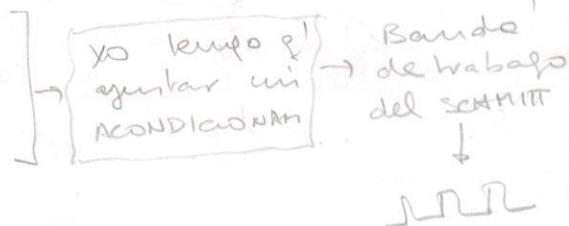
- Tengo 2 ENTRADAS, CADA UNA con su ACOND. USO un FF SET/RESET (SR).
- tamb. puedo poner la MISMA SEÑAL a la 2 (single/both) pero fijar \neq CONDIC. DE TRIGGER  
- Con NORMALIZADOR \rightarrow para hacer calculos AUTOMATICOS, no se suman mucho ahora.
- Con PRE-ESCALER \rightarrow SON DIVISORES q' se ponen en SEÑAL y BASE p/ AUMENTAR EL RANGO DE FRECS. Gradualmente tamb se CAMBIA LA Z_i según la frecuencia
- Modo TOTALIZADOR \rightarrow # de pulsos en un periodo específico. NO SE USA BASE DE TIEMPOS.
- Con PRESET \rightarrow dispara en una cuenta programada

② ACONDICIONADOR DE ENTRADA



- dos DIODOS ZENER EN ANTI PARALELO.
- junto al ATENUADOR, determina ALCANCE DE AMPLITUD (300-400V p/ Z_{in} ; 5-12V p/ S_{out})

- Señales REPETITIVAS de DISTINTAS FORMAS
- Señales de DISTINTAS AMPLITUDES o VARIABLES EN SU AMPLITUD

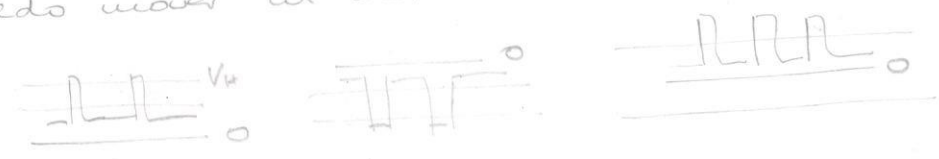


- Acoplamiento AC/DC

- Se usa para llevar señales SENOIDALES a un nivel SIMETRICO RESPECTO A 0V. Esto es p/ q' el TRIGGER las puede tomar. Cuando la señal es CUADRADA (PULSOS REFERIDOS A UN NIVEL) cuando ACOPLOM. DC. Cuando trabajamos c/ señales SENOIDALES a coplamos en AC.
- Nivel de patillado (OFFSET).

El acoplador AC NO ME SIRVE p/ señales con ciclo de trabajo VARIABLE (PWM). En este caso se me ESTARIA MOVRIENDO la señal sobre OTRA SEÑAL, ya q' VARIA EL CONTENIDO DE DC.

El CONTROL DE NIVEL me MUEVE LOS NIVELES DE HISTERESIS. Puedo mover la dñ o solo uno según el instrumento.



Ver Fig. 11 libro uno!

Esto en definitiva me permite llevar una GRAN VARIEDAD DE SEÑALES a una ventana de histéresis.

- Atenuador (mencionar RANGO DINAMICO del amp).

El Schmitt me define la SENSIBILIDAD, a decir la MINIMA SEÑAL que atraviesa TANTO el nivel (+) como el (-).

Para ajustar señal GRANDES atenuo antes $\rightarrow \times 10 (0 \text{ dB}), \times 10 (-20 \text{ dB})$... Puede ser una LLAVE o CONTINUO ("apunte de sensibilidad") Si es MUY GRANDE, achica los ENCLAVADORES a CIERTO VALOR $\pm 0.1V$, (LIMITADORES) y tambien un FUSIBLE RAPIDO. (energía). $\begin{cases} 300-400V \text{ para } f_{in} \uparrow \\ 5-12V \text{ para } f_{in} = 50Hz \end{cases}$

El atenuador evita q' se exceda el RANGO DINAMICO. ES MANDATORIO p/ bajos rangos, y MAXIMIZA la SNR.

Además, evita la SATURAC DEL AMPUF $\rightarrow \downarrow f_{in}, \downarrow SR$. p/ FRECUENCIA \rightarrow atenuo MUCHO / PERIODO de la onda \rightarrow

- Adaptador de impedancias.

- A $\sim 10 \text{ MHz} \rightarrow$ se usa $1 \text{ M}\Omega$, la fuente no es cargada y luego $C_{in} \sim 35 \text{ pF}$. Se usa sensibilidad de 25-50 mV teniendo en cuenta el ruido.

- $> 10 \text{ MHz} \rightarrow$ la C_{in} hace un corto, por lo q' se usa $Z_{in} = 50 \Omega$ con BAJA CAPACIDAD (circ. abierto $\frac{1}{\omega C}$). Las sensibilidades son 20-25 mV.

- Círcos digitales \rightarrow niveles AD HOC.

- Amplificador \rightarrow su función es manejar el OFFSET con ganancia UNITARIA. Determine el RANGO DINAMICO (max excursión pico a valle) (por ej. 100 mV a 1V, 1V a 7V (aleu, x10)). Por FUERA Alta Z_{in} , baja Z_{out} ; de este rango, CAMBIAN LAS IMPEDANCIAS.

- Schmitt Trigger.

- Permite pasar de ANALÓGICO a PULSOS:

- DEFINE LA SENSIBILIDAD (V_{rms} , mV_{rms} , μV_{rms}) $S = V_{TU} - V_{TD}$.
DE TENSION (o RESOLUCION) (1,5 mV - $\sim 70 \text{ mV}$).

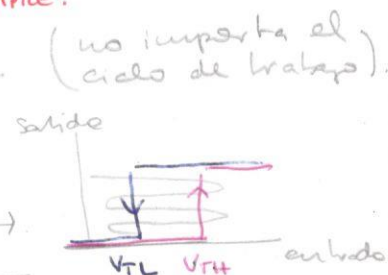
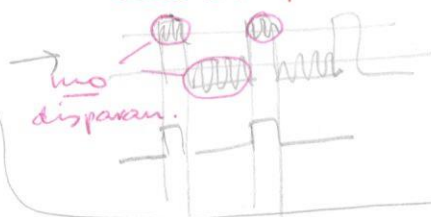
\hookrightarrow señal MINIMA q' es CONTADA:

\hookrightarrow se define como valor EFICAZ de entrada SENOIDAL, ya q' este tipo de

señal NO DEPENDE DEL CICLO DE TRABAJO. ES para tener un PARAMETRO DE REFERENCIA,

\hookrightarrow si quiero saber r/ una CUADRADA, CONVIERTO (lo llevo a lo q' sería como SENOIDAL).

SENOIDAL $\rightarrow V_{ef} = \frac{V_{pico}}{\sqrt{2}} \Rightarrow V_{PP} = 2 \times V_{ef} \times \sqrt{2}$ (senoidal $\bar{0}$).
ESTE valor es lo que debo satisfacer SIEMPRE! (cuadrado).



$$2 \cdot 10 \text{ mV}_{rms} \times \sqrt{2} =$$

\hookrightarrow MAS ANCHO \rightarrow \uparrow inmunidad al RUIDO, \downarrow sensibilidad.

\hookrightarrow además, la señal debe PERMANECER un tiempo mínimo por encima y debajo de ambos niveles.

- Control de PENDIENTE (slope) → controla si a lo largo del tiempo la señal en fase o a 180°, y en consecuencia si el Schmitt gatilla con pendiente POSITIVA O NEGATIVA.
- AGC
- "Control de sensibilidad ajustable automáticamente", actúa sobre el ATENUADOR.
- Se usa en señales q' VARIAN en amplitud, y q' NO PUEDO SEGUIR MANUALMENTE. Ejemplo → transductor magnético.
 $V_{señal} = f \left(\frac{d\Phi}{dt} \right) \Rightarrow$ cambio mucho la amplitud.
- Si ajusto p/ la cñica, el RUIDO de la grande me dispersa (o SATURA).
- Si ajusto p/ la escala, la cñica NO DISPERSA.
- LIMITACION → señales con modulación de AM (solo tienen cuenta los PICOS, NO los VALLES) (?)

Ejemplo de valores

ΔB → DC : 0 - 100M
AC : 30Hz - 100M

Sensib → 10mVrms / 10MHz
25mVrms / 10M - 100M.

BASE DE TIEMPOS

- FUNDAMENTAL p/ tener una REFERENCIA ESTABLE y de BAJA INCERTIDUMBRE. Si SOLO CUENTO EVENTOS, NO necesito base de tiempo.
- OSC. a XTAL EXACTO y PRECISO y una CADENA DE DIVISORES (décadas).

- Derivas { con el tiempo (envejecimiento).
c/ la TEMPERATURA.

10MHz → 100n → 1M → 10M → 10Sec

1/10 → 1/10 → 1/10

según CORTE del cristal → TEXO, MTXO, OCXO.

The diagram shows a frequency divider chain starting from a 10MHz oscillator, followed by a 100n divider, then a 1M divider, and finally a 10M divider, leading to a 10Sec output. A graph shows frequency drift (Δf/f) versus time (t) for different types of oscillators: TEXO (Textured Quartz Oscillator), MTXO (Metallized Textured Quartz Oscillator), and OCXO (Oven-Controlled Quartz Oscillator). The graph shows that OCXO has the lowest drift, followed by MTXO, and then TEXO.

- 3) FUENTES DE ERROR → (según desviación apunta 702999)
 (Dar TABLA DE INFLUENCIA de C/U en FRECUENCIA/PERIODO/INTERVALO! - irte leyendo al preparar.)
- (ir preguntando INTUITIVAMENTE en qué influyen):
- Retardo dif. en cables
 - Error de tiempo de patillado (Schmitt)
 - error en la base de tiempo (LARGO PLATO)
 - error de cuantización (cuanta ± 1)
 - error de trigger aleatorio (schmitt)
 - error en base de tiempo (a CORTO PLATO)
- Sistemáticos (puedo ponderarlo o corregirlo)
- Aleatorios (puedo CONOCERLO y minimizarlo)
- gatillado
XTAL

A) SISTEMATICO

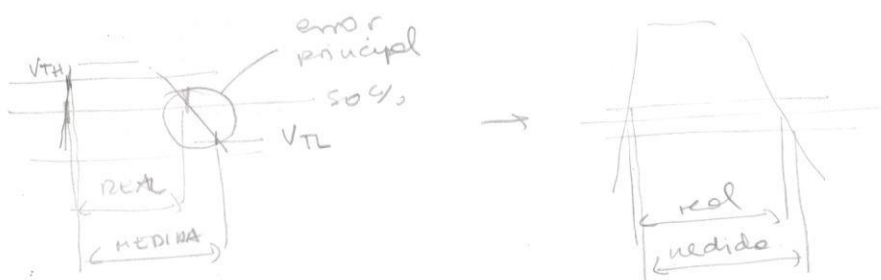
A1) Retardo diferencial

Para medición de TIEMPO ENTRE 2 EVENTOS. Similar al caso del VNA, pero acá es + difícil xg son LONGITUDES MECANICAS (?). También influye la DESADAPTAC. DE PUNTAS.

A2) Tiempo de patillado. ("Error sistemático de-patillado").

En medic. de PERIODO (INT. DE TIEMPO, cuando $t_{raise} \neq t_{fall}$, porque el trigger tiene \neq niveles t_H y $t_L \Rightarrow$ el PERIODO de MM'.

ACCION → AGRANDAR LA AMPLITUD DE SEÑAL p/ bajar la influencia, SIEMPRE q' no se agranda mucho el ruido.



A3) Error en Base de Tiempo

Se debe al ENVEJECIMIENTO del XTAL, x us, q' le pone un turno. (OCKO-MTXO-RXO-RTXO).
NO puedo compensarlo, tiempo q' llevarlo a CALIBRACION p/ q' us.
 dicen CUANTO SE CORRIÓ en base a un PATRON.

B) ALEATORIOS

4

B1) De cuantización (cuenta ± 1).

(1 dígito menos, sign)

En el T puede entrar 1 pulso nuevo o más, uno lo puedo perder.

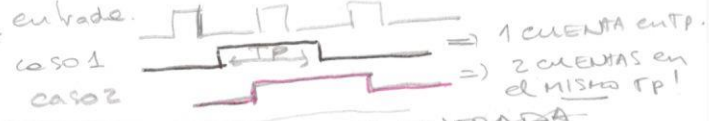
Se expresa en PARTES POR MILLON, y se relaciona con la curva

de errores $FREC/PERIODO$. Se da en TODAS LAS MEDIC.

Ocorre por la FALTA DE COHERENCIA (= SINCRONISMO) entre el reloj interno y la entrada.

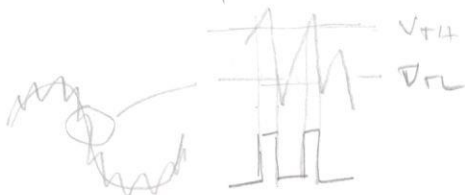
Se valor se analiza en la curvas q' viene.

B2) Error aleatorio de patillado:



- Causado por RUIDO de SEÑAL X DE CANAL DE ENTRADA
- Produce q' los límites se cruzan ANTES o DESPUES de donde CRUZARIA LA SEÑAL "PURA". Produce error ALEATORIO en PERIODO E INTERVALOS.

- puedo ATENUAR para bajar el ruido, lo BAUDA DE HISTERESIS me ahorra MAS SEÑAL y puedo tener otro error.



falsa pulser.
(señal muy grande comp.
con la histeresis)



comuniendo del cruce
(aunque NO CRUCE AMBOS
NIVELES el ruido).

B3) Error base de tiempo (corb plot) \rightarrow se expresa en partes x millón.

Se minimizan mediante un horno después de cierto tiempo.

Errores en frecuencia y periodo

"p" → puerta
 "o" → base
 "x" → señal

5

FRECUENCIA → $N = \# \text{ cuentas} = \frac{T_p}{T_x} = \frac{f_x}{f_p} = f_x \cdot \frac{10^n}{f_0} = f_x \cdot T_p$



$\Rightarrow f_x = \frac{N}{T_p}$ (2)

dependiente del error

$= T_0 \cdot 10^n$
lo debo ajustar

"valor relativo" de 1 ciclo = $\frac{1}{f_x}$ $\uparrow f_x \Rightarrow \uparrow \text{error!}$

dependiente del error

PERIODO →



$N = \# \text{ cuentas} = \frac{T_x}{T_0 \cdot 10^n} = T_x \cdot \frac{f_0}{10^n} \Rightarrow T_x = N \cdot \frac{10^n}{f_0}$

lo debo ajustar

"valor relativo" de 1 ciclo = $\frac{10^n}{f_0}$ → CTE porque depende del clock INTERNO!

* Por ejemplo, si quiero medir una $f_x = 1 \text{ MHz}$ (ALTA) con RESOLUCION DE 10^{-6} (1 cuenta de error sobre 10^6 cuentas) las opciones son:

FRECUENCIA → $N = 10^6 \Rightarrow N = f_x \cdot T_p$, $10^6 = 1 \text{ MHz} \cdot T_p \Rightarrow T_p = 1 \text{ sec}$ OK

PERIODO → $T_x = N \cdot \frac{10^n}{f_0} \Rightarrow \frac{10^n}{f_0} = \frac{10^{-6} \text{ s}}{10^6} = 10^{-12} \text{ s}$

Tendría que tener una f_0 de AL MENOS

$\frac{10^0}{10^{-12} \text{ s}} = 1 \text{ THz} \Rightarrow \text{NO SIRVE}$ (p/ fecs. ALTAS)

* AHORA, si quiero medir $f_x = 1 \text{ Hz}$ (BAJA) con resoluc. 10^{-6}

FRECUENCIA → $N = 10^6 \Rightarrow N = f_x \cdot T_p$, $10^6 = 1 \text{ Hz} \cdot T_p \Rightarrow T_p = 10^6 \text{ sec} = 11 \text{ DIAS!}$

NO SIRVE p/ fecs BAJAS

PERIODO → $N = 10^6 \Rightarrow \frac{10^n}{f_0} = \frac{1 \text{ sec}}{10^6} \Rightarrow \frac{10^n}{f_0} = \frac{1}{10^6}$

\Rightarrow para $f_0 = 1 \text{ MHz} \Rightarrow 10^n = 1 \Rightarrow n = 0$
para $f_0 = 10 \text{ MHz} \Rightarrow 10^n = 10 \Rightarrow n = 1$

valores de f_0 LOGICOS

INCERTIDUMBRES RELATIVAS

DEFINICIÓN:

Valor relativo de un ciclo medido con respecto al TIEMPO DE

COMPUESTA \rightarrow error relativo de cuenta ± 1

FRECUENCIA $\rightarrow N = f_x \cdot \frac{10^4}{f_0} = f_x \cdot T_P \quad (2) \Rightarrow \frac{T_P}{N} = \text{valor relativo de 1 ciclo (error de cuenta } \pm 1)$

PERIODO $\rightarrow N = \frac{t_0}{10^4} \cdot \overset{=T_P}{T_x} = \frac{t_0}{10^4} \cdot \frac{1}{f_x} = \frac{t_0}{10^4} \cdot T_P \quad (4)$

$\Rightarrow \frac{T_P}{N} = \text{valor relativo de 1 ciclo} = \boxed{\frac{1}{f_0}} = \underline{\underline{cte}}$

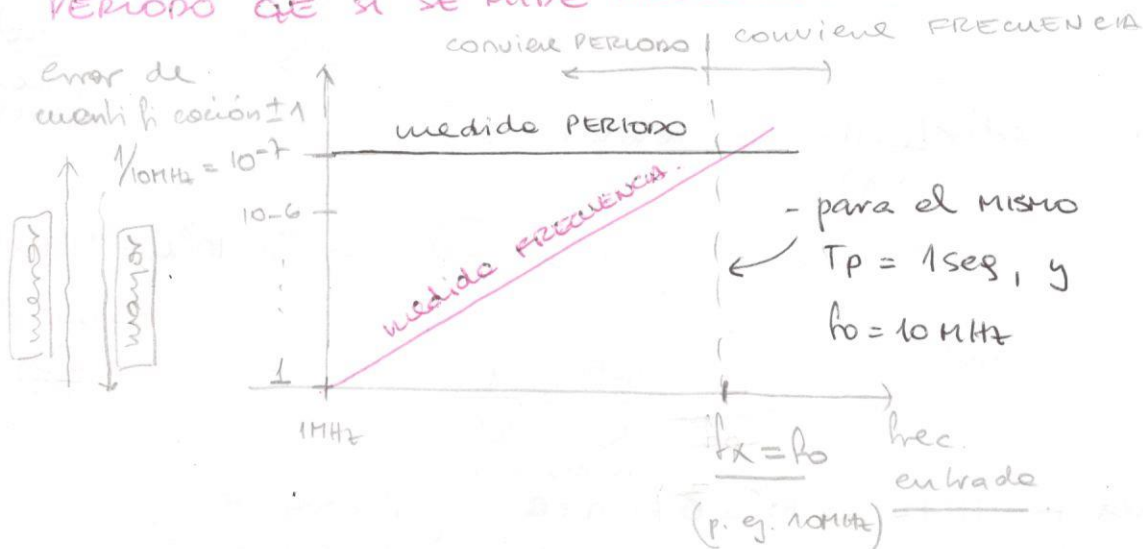
\Rightarrow Al medir con un MISMO TIEMPO DE COMPUESTA T_P , las incertidumbres relativas son:

FRECUENCIA \rightarrow inversamente proporc. a f_x

PERIODO \rightarrow constante e igual a $\frac{1}{f_0}$

\Rightarrow Para un TIEMPO DE PUERTA DADO, AL MEDIR FRECUENCIAS INFERIORES A LA DEL RELOJ se obtiene MEJOR RESOLUCION SI SE MIDE

PERIODO QUE SI SE MIDE FRECUENCIA.



Limitaciones de la resolución:

a) Frecuencia del oscilador f_0 , que se elige de acuerdo a la MÁXIMA FRECUENCIA QUE ADMITEN LA PUERTA Y LA PRIMERA DÉCADA DE LOS CONTADORES.

b) Número n de ETAPAS DIVISORAS, que se elige según la ESTABILIDAD DE f_0 (T_p muy largo \rightarrow se suma una incertidumbre x derivan a corto plazo y $\Delta t_{emp.}$ en ese T_p).

$$f_0 = 1 \text{ MHz} \rightarrow \text{resoluc} = 1 \mu\text{s} \quad (\text{medic. PERIODO})$$

$$f_0 = 100 \text{ MHz} \rightarrow \text{resoluc} = 10 \text{ ns} \quad (\text{PERIODO}).$$

Contador RECÍPROCO

"Determinan la frecuencia calculando el RECÍPROCO DEL PERIODO".

Tiene 2 CONTADORES; y así miden el intervalo de tiempo Δt que transcurre ~~en un intervalo~~ durante un # entero M de ciclos de entrada:

$$\boxed{f_x = \frac{M}{\Delta t}} \quad ; \quad T_x = \frac{\Delta t}{M}$$

ES básicamente parecido a un medidor de periodo promedio.

$\Delta t \rightarrow$ se determina contando ciclos de la referencia f_0

$\Rightarrow \underline{f_0}$ limita la resoluc.

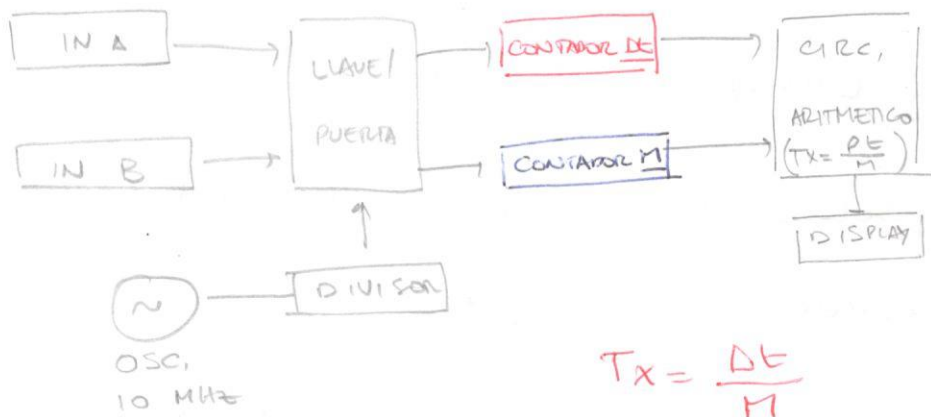
- $\uparrow M \Rightarrow$ lleva más tiempo pero influye menos el error de cuenta y las fluctuaciones

* Funcionará aún p/ mantenerse SIEMPRE EN LA ZONA $\langle f_0$ de la curva de errores? (e. decir ¿puedo medir SIEMPRE PERIODO)?

2 contadores { de CICLOS DE SEÑAL DE ENTRADA (M)
de CICLOS DEL RELÓJ INTERNO (Δt)



la cuenta de CICLOS DE CLOCK INTERNO queda ahora referido
a una CANTIDAD DE CICLOS DE ENTRADA, y no sólo a la duración
en tiempo de un ciclo de entrada.



Contadores de MICROONDAS → técnicas de CONVERSION

- 1) Prescaling → hasta $\sim 1,5 \text{ GHz}$ → se divide la frecuencia justo ANTES DE LA COMPUERTA (divisor DIGITAL). Como CONTRAPARTIDA se incrementa el TIEMPO DE MEDICIÓN.
- 2) Heterodínoje → $\sim 20 \text{ GHz}$ → $f_{\text{medido}} = f_x \pm K \cdot a \cdot f_0$ (ver apunte SR)
- 3) Oscilod. de TRANSFERENCIA → $\sim 23 \text{ GHz}$ → se en sonda en FASE a un oscilador de BAJA FREC, y ESTE es el que se mide.
- 4) Heterodínoje ARMÓNICO → $\sim 40 \text{ GHz}$.