

# Trabajo de Evaluación Continuada. Medidas de la frecuencia de una señal TDMA

Rafael Gómez Bule

Abril 2011

## Índex

<b>1</b>	<b>Enunciado</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Requerimientos de la medida</b>	<b>2</b>
2.1	Resolución . . . . .	2
2.2	Tiempo de Medida . . . . .	2
2.3	Inicio de medida retardable . . . . .	3
2.4	Capacidad de sincronización para señales burst . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Análisis de las especificaciones de los modelos y descarte</b>	<b>3</b>
3.1	Fluke's PM 6680 . . . . .	3
3.2	Fluke's PM 6681 . . . . .	3
3.3	Descarte de instrumentos inviables . . . . .	4
<b>4</b>	<b>Cálculo de la incertidumbre esperada para cada opción de medida</b>	<b>4</b>
4.1	Errores aleatorios . . . . .	4
4.2	Errores Sistemáticos . . . . .	5
4.2.1	Error de cuantificación sistemático . . . . .	5
4.2.2	Error de la base de tiempos . . . . .	5
4.2.3	Error sistemático total . . . . .	5
4.3	Incertidumbre total de la medida . . . . .	5
<b>5</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>5</b>

# 1 Enunciado

El objetivo del trabajo es evaluar que modelo y que opción de la base de tiempos de un frecuencímetro/contador de FLUKE tenemos que adquirir para poder medir, con la resolución y la incertidumbre necesaria, la frecuencia del *burst* de una señal TDMA de 900 MHz.

Para ello se evaluarán las especificaciones (resolución, incertidumbre, etc) de las distintas opciones disponibles que permiten realizar esta medida y se escogerá la más conveniente para la aplicación.

Suponer que el equipo está calibrado desde hace menos de un año y que las medidas pueden hacerse entre 20 y 26°C.

## 2 Requerimientos de la medida

Los resultados de esta primera fase del problema han sido tomados del documento adjunto al enunciado *Measuring TDMA signal frequencies in digital cellular radio mobile telephones. Application Note*

Tras analizar la problemática particular de la medida de frecuencias de una señal TDMA, nos encontramos con los siguientes requisitos:

### 2.1 Resolución

La resolución que precisa una señal de las características de la que pretendemos medir (900 MHz) es de unos 10 a 20 Hz, como podemos leer en la bibliografía adjunta.

“Align-ment of these systems requires measurement resolution of 10 to 20 Hz when measuring the 800/900 MHz or 1500 MHz signal from the mobile station.”

Como podemos leer más abajo en el documento citado anteriormente, esto representa una resolución relativa de 1 sobre  $10^8$ .

### 2.2 Tiempo de Medida

Sabemos que la señal de burst está *on* tan solo durante 6,7ms. Es por eso que precisamos de un sistema que alcance la resolución requerida en un instante lo bastante pequeño como para permitir al instrumento realizar la medida dentro del tiempo de burst en la que la señal es válida (como se ha especificado arriba). Para eso, la velocidad de medida del *frequency counter* deberá ser también suficientemente elevada. Nótese que hay un pequeño intervalo cuando el burst se activa y se desactiva en el que la señal aun no está estable, por lo que no debemos ajustarnos demasiado a los 6,7ms y dejaremos un margen de seguridad bastante amplio (Ver figura 1).

“To achieve the required 10 Hz resolution in a sufficiently short measuring time, the measuring device (frequency counter) needs to be very fast and to have a very high resolution.”

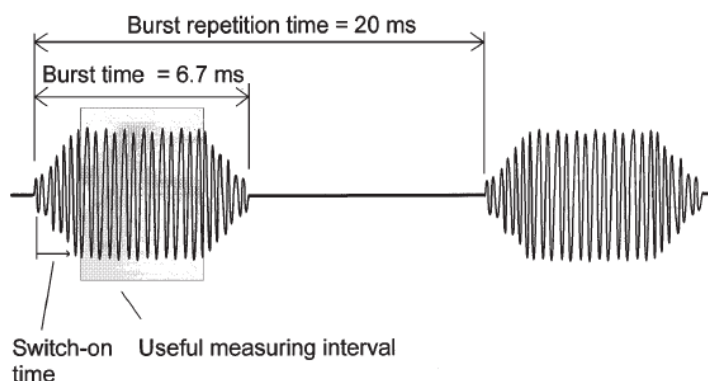


Figura 1: Estructura típica de la señal TDMA

## 2.3 Inicio de medida retardable

Como ya se ha hecho referencia anteriormente, la señal de burst tiene un corto intervalo de transitorio que no nos interesa medir. Por eso, es conveniente que el instrumento permita ajustar un tiempo de espera antes de iniciar la medida.

## 2.4 Capacidad de sincronización para señales burst

Será necesario que nuestro instrumento sea capaz de sincronizarse con señales repetitivas no continuas (burst). El valor del retardo de sincronización deberá estar comprendido entre el de la duración de la señal de burst y el del tiempo de repetición de burst.

“This SYNC-DELAY” must be longer than the burst-on time, and shorter than the burst repetition time.”

# 3 Análisis de las especificaciones de los modelos y descarte

Una vez sabemos qué es lo que necesitamos, vamos a ver qué instrumentos cumplen con esos requisitos y cuáles deben ser descartados.

## 3.1 Fluke’s PM 6680

1. **Resolución:** *250 ps single-shot time interval resolution.* Esto significa que para medidas de frecuencia de un segundo de duración, la resolución que puede alcanzar es de  $250 \times 10^{-11}$ . Por lo tanto, para una medida de 5ms de duración, la resolución será de  $5 \times 10^{-8}$  (ver ecuación 1), que es cinco veces mayor que el valor máximo requerido.

$$\frac{5ms \cdot 250 \cdot 10^{-11}}{1s} = 5 \cdot 10^{-8} \quad (1)$$

2. **Tiempo de Medida:** *Single cycle, 0.8, 1.6, 3.2, 6.4, 12.8  $\mu s$  and 50  $\mu s$  to 20s (or to 400s for some functions).* Vemos que el tiempo de medida mínimo es de 0.8  $\mu s$ , que es suficiente para la medida que necesitamos hacer.
3. **Inicio de medida retardable:** No tiene.
4. **Capacidad de sincronización para señales burst:** *Input A (PM 6680B): Up to 160 MHz.* Puede medir frecuencias de burst de hasta 160MHz.

## 3.2 Fluke’s PM 6681

1. **Resolución:** *50 ps single-shot time interval resolution.* Esto significa que para medidas de frecuencia de un segundo de duración, la resolución que puede alcanzar es de  $50 \times 10^{-11}$ . Por lo tanto, para una medida de 5ms de duración, la resolución será de  $1 \times 10^{-8}$  (ver ecuación 2), que se corresponde con el valor deseado.

$$\frac{5ms \cdot 50 \cdot 10^{-11}}{1s} = 1 \cdot 10^{-8} \quad (2)$$

2. **Tiempo de Medida:** *Single cycle, 80, 160, 320, 640, 1280 ns and 20  $\mu s$  to 20s (or to 400s for some functions).* Vemos que el tiempo de medida mínimo es de 80 ns, que es suficiente para la medida que necesitamos hacer y mejor que el del modelo 6680.
3. **Inicio de medida retardable:** *Start Delay Range (PM 6681) 200 ns to 1s, 100 ns resolution.* Puede aplicarse un retardo de 200ns a 1s en pasos de 100ns.

4. **Capacidad de sincronización para señales burst:** *Input A (PM 6681): Up to 300 MHz ;Input C (PM 6681): Up to 3 GHz with options.* Puede medir frecuencias de burst de hasta 300MHz por el input A y hasta 3GHz por el C. Mucho mejor que el modelo 6680. Además, como podemos leer en la *Application Note*, el 6681 es capaz de sincronizar señales de burst con un retardo que puede ser ajustado entre 50ns y 1.3s en pasos de 10ns. Nuestra aplicación requerirá ajustarlo a un valor de entre 6.7 y 20ms, que es perfectamente factible con esta utilidad.

“Finally the PM 6681 also features self-synchronization to facilitate very high resolution measurements in repetitive burst signals. This feature eliminates the need for an external synchronization signal. In the PM 6681, this time can be set in steps of 10 ns from 50 ns up to 1.3s.”

### 3.3 Descarte de instrumentos inviables

El modelo 6680 no posee una resolución suficiente para nuestra aplicación, no incorpora la opción del inicio de medida retardable y no posee una utilidad de autosincronización para señales burst. Por estos motivos se nos hace inviable la utilización de este instrumento.

El 6681, además de cumplir con todos los requisitos necesarios, posee un tiempo de medida mínimo inferior al del 6680 y es capaz de medir frecuencias de burst mucho mayores.

## 4 Cálculo de la incertidumbre esperada para cada opción de medida

En esta sección se calcularán las incertidumbres sistemáticas y aleatorias que pueden resultar de medir la frecuencia de una señal de burst de nuestras características. Los errores sistemáticos dependerán de la opción de medida seleccionada (base de tiempos), mientras que los aleatorios, no.

### 4.1 Errores aleatorios

Se calculan mediante la fórmula:

$$\frac{\sqrt{(QE)^2 + 2 \cdot (StartTriggerError)^2}}{MeasuringTime} \cdot Frequency \quad (3)$$

Donde:

QE es el error de cuantificación, que para una medida tomada entre 10°C y 40°C (la nuestra es tomada entre 20 y 26°C), es de 50ps

Measuring Time es 5ms

Frequency es 900MHz

Start Trigger Error se calcula mediante:

$$\frac{\sqrt{(VnoiseInput)^2 + (VnoiseSignal)^2}}{SignalSlewRate(V/s)atTriggerPoint} = \frac{\sqrt{(100\mu V)^2 + (1\mu V)^2}}{5.6 \cdot 10^6} = 17.86 \cdot 10^{-12} = 17.86ps \quad (4)$$

- VnoiseSignal=100μV

• VnoiseInput es el valor del ruido de la señal de entrada. Trabajaremos con la hipótesis de una señal de entrada de 60dBμV (1mV) y 30dB de SNR(aproximadamente el mínimo para el correcto funcionamiento de la señal). Por lo tanto VnoiseInput= 60dBμV − 30dB = 30dBμV = 1μV.

• Slew-Rate es la derivada primera de la función de señal evaluada en 0. Sabiendo que nuestra señal es  $s(t) = 1 \cdot 10^{-3} \sin(2\pi 900 \cdot 10^6 \cdot t)$ , entonces  $s'(t) = 1 \cdot 10^{-3} \cdot 2\pi 900 \cdot 10^6 \cdot \cos(2\pi 900 \cdot 10^6 \cdot t)$ . Por lo tanto, Slew-Rate=5.6 · 10<sup>6</sup> V/s

Finalmente, y aplicando la ecuación 3, obtenemos que el error aleatorio es de 10.083Hz ≈ 10Hz

## 4.2 Errores Sistemáticos

La incertidumbre sistemática será la suma de las causadas por el error en la base de tiempos ( $\pm TimeBaseError \cdot Frequency$ ) y el error de cuantificación ( $\pm QE \cdot Frequency / MeasuringTime$ ).

### 4.2.1 Error de cuantificación sistemático

Si calculamos el error de cuantificación sistemático, con  $QE=50ps$ ,  $Frequency=900MHz$  y  $MeasuringTime=5ms$ , obtenemos un resultado de  $\pm 9Hz$

### 4.2.2 Error de la base de tiempos

Miramos en la tabla de *Time Base Options* del *datasheet* las distintas bases de tiempo y el error que especifica para cada una de ellas en la fila de *Typical total uncertainty* (para medidas realizadas entre 20°C y 26°C), para equipos calibrados desde hace menos de un año. Aplicamos la formula del error de base de tiempo para cada una de ellas.

Opción	Time Base Error	Incertidumbre causada
PM6681/-1-	$7 \cdot 10^{-6}$	$\pm 6300Hz$
PM6681/-5-	$1 \cdot 10^{-7}$	$\pm 90Hz$
PM6681/-6-	$2.5 \cdot 10^{-8}$	$\pm 22.5Hz$
PM6681/-7-	$6 \cdot 10^{-10}$	$\pm 0.54Hz$

### 4.2.3 Error sistemático total

La incertidumbre sistemática total será la suma de la generada por la opción de la base de tiempos y por el error de cuantificación.

**PM6681/-1-** :  $\pm 6309Hz$

**PM6681/-5-** :  $\pm 99Hz$

**PM6681/-6-** :  $\pm 31.5Hz$

**PM6681/-7-** :  $\pm 9.54Hz$

## 4.3 Incertidumbre total de la medida

A continuación se presenta para cada opción de base de tiempos, la incertidumbre final, que es la suma geométrica de la aleatoria y la sistemática ( $\sqrt{ErrorAleatorio^2 + ErrorSistematico^2}$ ).

**PM6681/-1-** :  $\pm 6309.01Hz$

**PM6681/-5-** :  $\pm 99.50Hz$

**PM6681/-6-** :  $\pm 33.05Hz$

**PM6681/-7-** :  $\pm 13.82Hz$

## 5 Conclusiones

Despues de haber calculado todas las incertidumbres, habría que establecer una incertidumbre expandida máxima permitida para poder seleccionar aquellas opciones que cumplan con la restricción y entre ellas escoger una. Mi propuesta es establecer  $\pm 50Hz$  con una tolerancia del 95% ( $k=2$ )

Vemos, por lo tanto, que las opciones PM6681/-1- y PM6681/-5- son inviables si queremos cumplir con los objetivos marcados, y, por lo tanto, tendremos que quedarnos con el PM6681/-6- o el PM6681/-7-. Este último es mucho más preciso, aunque utiliza una base de tiempos de Rubidio, más cara que el OXCO (Oven-Controlled Crystal Oscillator) del PM6681/-6-. Tenemos, por lo tanto un compromiso entre coste y precisión que deberemos resolver. ¿Preferimos ahorrar en costes o dar los resultados con un menor margen de error? De ello dependerá la utilidad que queramos darle a las medidas y el fin que tendrá la aplicación del aparato que estamos midiendo.