

Una nueva propuesta para realizar la calibración de un medidor de desplazamiento positivo implementando un circuito doblador de frecuencia

A new proposal to perform the calibration of a positive displacement meter by implementing a frequency doubler circuit

DOI: 10.46932/sfjdv3n1-100

Received in: Jan 30st, 2021

Accepted in: Feb 1th, 2022

MC Jorge Pérez Vera

Líder de especialidad, CIATEQ

Av. Manantiales 23-A, Parque Industrial Bernardo Quintana, CP 76426

E-mail: jorge.perez@ciateq.mx

Dr. Carlos Alexander Núñez Martín

Ingeniero de aplicación, CIATEQ

Av. Manantiales 23-A, Parque Industrial Bernardo Quintana, CP 76426

E-mail: carlos.nunez@ciateq.mx

Ing. Miguel Aguilar Corona

Líder de proyectos, CIATEQ

Av. Manantiales 23-A, Parque Industrial Bernardo Quintana, CP 76426

E-mail: maguilar@ciateq.mx

RESUMEN

El presente trabajo propone combinar un medidor de desplazamiento positivo con un multiplicador de frecuencia para reducir el tiempo necesario al realizar una calibración en campo. Los medidores de desplazamiento positivo son los únicos medidores de contacto directo con el fluido y esta es una de las razones de su popularidad. Para realizar una calibración utilizando dispositivos patrón con salida a pulsos, la norma API 4 indica que se deben tener al menos una lectura de 10000 pulsos. Algunos medidores de desplazamiento positivo poseen un factor de conversión muy alto, lo que provoca que el número de pulsos generados para flujos pequeños sea muy bajo, dando como resultado tiempos muy extensos en las repeticiones de calibración. Utilizando un doblador de pulsos, el tiempo requerido para una repetición en una calibración es reducido a la mitad.

Palabras clave: Medición de flujo, Medidor de desplazamiento positivo, Dobladores de frecuencia, Calibración, Medición.

ABSTRACT

This paper proposes to combine a positive displacement meter with a frequency multiplier to reduce the time required to perform a field calibration. Positive displacement meters are the only meters with direct contact with the fluid and this is one of the reasons for their popularity. To perform a calibration using standard devices with pulsed output, the API 4 standard indicates that you must have at least a reading of 10000 pulses. Some positive displacement meters have a very high conversion factor, which causes the number of pulses generated for small flows to be very low, resulting in very long calibration repeat times. By using a pulse doubler, the time required for a calibration repetition is reduced by half.

Keywords: Flow measurement, Positive displacement meter, Frequency doublers, Calibration, Metering, Measurement.

1 INTRODUCCIÓN

Los sistemas de medición de flujo son usados en puntos de transferencia de custodia para realizar un registro de las entradas y salidas del producto. Un sistema de medición de flujo está compuesto por distintos elementos, tales como elementos primarios (medidores de flujo, el cual se aplica según su principio de operación) que son los equipos que están directamente en contacto con el fluido a medir, elementos secundarios (como sensores y transmisores de temperatura y presión) los cuales son mediciones asociadas para realizar el cálculo de flujo y los elementos terciarios en este caso denominado computador de flujo, el cual es el encargado de realizar los cálculos de flujo mediante la corrección por temperatura y presión. El principal elemento de un sistema de medición de flujo es el dispositivo medidor de flujo, o fluxómetro. Existen diversas alternativas para elegir un fluxómetro, ya sea por su aplicación o la tecnología utilizada. Se pueden encontrar dispositivos medidores de flujo utilizando principio de presión diferencial, señales ultrasónicas, medidores tipo turbina y tipo Coriolis. Sin embargo, todos los mencionados anteriormente son medidores indirectos de flujo. El único dispositivo medidor de flujo directo es el medidor de desplazamiento positivo, cuyo principio de operación es el llenado y vaciado de un sistema de cavidades con volumen conocido, se determina cuantas veces se han vaciado, generando una serie de pulsos dados por un sensor de efecto Hall. El mismo efecto se puede apreciar en bombas controladas para fines médicos (D. W. Holdsworth, 1991). Estos pulsos son después enviados al computador de flujo, que hace el cálculo y corrección de volumen a condiciones base. Para poder garantizar la certeza de la medición, una de las fuentes críticas de incertidumbre es la calibración del medidor de flujo. Las rutinas de calibración para medidores de flujo son descritas en la norma (API, 2009) y establecen los requerimientos para realizar una calibración con cierto nivel de confianza. Se requiere un patrón de flujo con trazabilidad a patrones nacionales para poder validar dicha calibración. En estas calibraciones existe una influencia importante del factor de compresibilidad del gas utilizado (Pinho, 2012). El mismo principio puede ser aplicado a medición de líquidos, con las consideraciones apropiadas (Baker RC, 1985). La incertidumbre de calibración es un punto importante, por lo que se deben seguir procedimientos estrictos dados en normativas (F.Cascetta, 2016). Uno de los requerimientos de la normativa menciona que el número de pulsos mínimos en una corrida de calibración es de 10000 pulsos, haciendo que los periodos de tiempo usados para las corridas de calibración se vuelvan extensos. Algunos medidores de desplazamiento positivo generan una cantidad muy baja de pulsos por litro, lo que repercute en el tiempo que se tiene que establecer para realizar la calibración y obtener el número de pulsos por

minuto, por lo que, para poder lograr el número mínimo de pulsos requeridos por el procedimiento de calibración, las corridas de calibración se extienden a horas de duración por los diferentes flujos requeridos. Es posible aumentar la frecuencia de los pulsos del medidor utilizando circuitos externos multiplicadores de frecuencia, generando una señal con una frecuencia proporcional a la generada por el medidor, pero mucho mayor, incremento así la cantidad de pulsos por minuto, esto para reducir el tiempo necesario para realizar las corridas de calibración. Combinar un circuito doblador de pulsos con la salida generada por un medidor de desplazamiento positivo, permite reducir el tiempo total utilizado para una corrida de calibración. El presente trabajo presenta la propuesta de acoplar un circuito doblador de pulsos a un medidor de desplazamiento positivo, para aumentar la cantidad de pulsos producida por minuto en una corrida de calibración, desde un punto de vista de simulación. El trabajo se encuentra organizado de la siguiente manera: La sección 2 menciona todo el marco teórico previo, así como conceptos especializados sobre sistemas de medición de flujo. La sección 3 describe el medidor de desplazamiento positivo que se desea calibrar, así como el procedimiento de calibración para medidores de desplazamiento positivo. En la sección 4 se implementa un circuito doblador de frecuencia en simulación y se prueba utilizando los puntos de calibración que pide el procedimiento descrito en la sección 3. La sección 5 contiene las conclusiones y propuesta de trabajo futuro.

2 MARCO TEÓRICO

Todos los elementos teóricos se colocan aquí, de tal modo que, si el lector desconoce algún tema mencionado más adelante en el documento, pueda volver a esta parte para leerlo. Debe ser concreto, pero con suficiente contenido, se pueden dejar fuera algunos detalles y simplemente poner referencias más específicas. Las normas utilizadas forman parte del marco teórico, se incluyen y se referencian también en formato APA. Tendremos que hacer traducciones de las normas y de otros documentos, hay que cuidar que se entiendan en español.

2.1 GLOSARIO DE TÉRMINOS

Para adentrar al lector a la terminología utilizada en sistemas de medición de flujo, se enuncian los siguientes términos

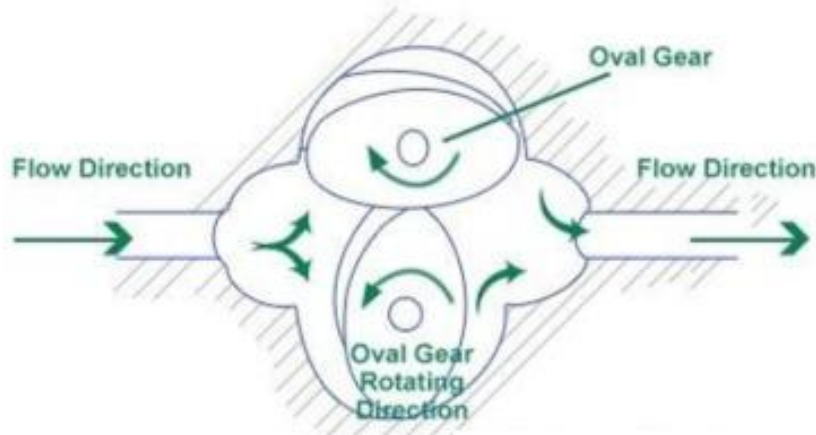
- **Calibración:** Operación que, bajo condiciones especificadas, establece, en una primera etapa, una relación entre los valores y sus incertidumbres de medida asociadas obtenidas a partir de los patrones de medida, y las correspondientes indicaciones y con sus incertidumbres asociadas y en una segunda etapa, utiliza esta información para establecer una relación que permita obtener un resultado de medida, a partir de una indicación.

- **Caudal:** Cantidad de volumen que pasa por un sistema de conducción por unidad de tiempo.
- **Disparos de conexión:** arreglo de válvulas localizadas aguas abajo del medidor bajo calibración el cual cuanta con dos tomas bridadas para conectar el medidor patrón.
- **Patrón:** Realización de la definición de una magnitud dada, con un valor determinado y una incertidumbre de medida.
- **Trazabilidad:** Propiedad de un resultado de medida por la cual el resultado puede relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de medida.
- **Exactitud:** Proximidad entre un valor medido y un valor verdadero de un mensurando.
- **Repetibilidad:** Precisión de medida bajo un conjunto de condiciones de repetibilidad.
- **Incertidumbre:** Parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de los valores atribuidos a un mensurando.
- **Intervalo:** Conjunto de valores comprendidos entre las dos indicaciones extremas.
- **Factor k (kf):** señal respuesta de un medidor; Pulsos por cantidad de unidad (volumen o masa);
- **Pulsos de medidor:** Un ciclo eléctrico generado por el flujo inducido en el medidor. El flujo normalmente causa el movimiento de elementos físicos dentro del elemento de flujo primario del medidor que causa un pulso eléctrico.

2.2 MEDIDORES DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO

Un medidor de desplazamiento positivo está compuesto de una o varias cámaras por las cuales transita flujo y un mecanismo de rotación el cual permite el paso de una cantidad fija de volumen. El número de veces que las cámaras se llenen y vacían determina el volumen que ha transitado de la entrada al final del dispositivo y la velocidad de giro del mecanismo rotativo determina el flujo volumétrico. Se diferencia de otros instrumentos de medición en que mide directamente la cantidad de flujo a través de el mismo. Existen medidores que tiene acoplados transductores, típicamente de efecto hall, para generar pulsos con una frecuencia proporcional al flujo volumétrico. Pueden ser utilizados con fluidos de alta viscosidad, con mucha suciedad y también corrosivos. Son utilizados en sistemas de medición de transferencia de custodia y también en algunos medidores residenciales de gas natural. Una de las principales ventajas del medidor de desplazamiento positivo es que no requiere tramos rectos de tubería y no se ve afectado por pulsaciones en el flujo. (Baker RC, 1985)

Figura 1. Parte interna de un medidor de desplazamiento positivo (Meribout, y otros, 2020)



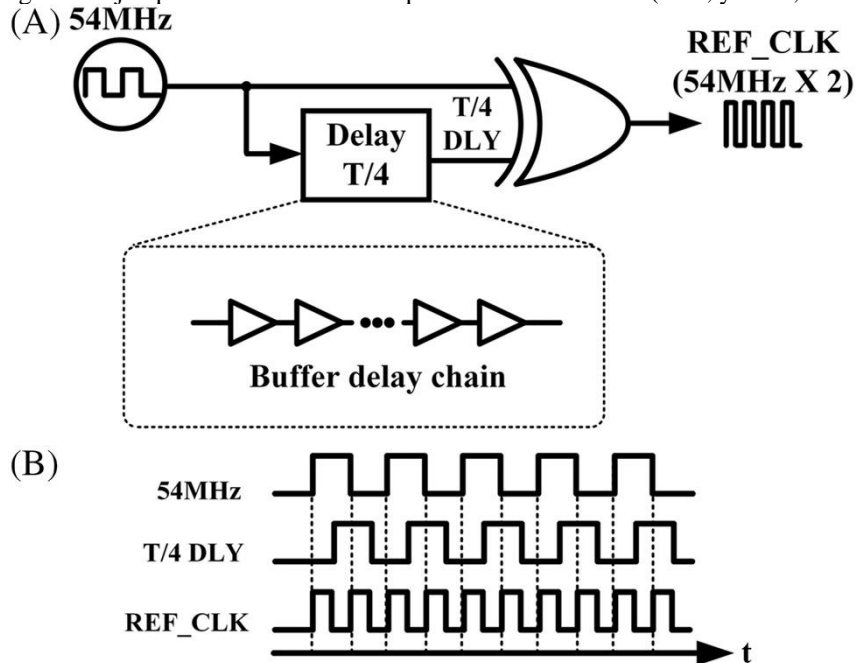
2.3 TRANSDUCTORES DE EFECTO HALL

Los transductores de efecto Hall son sensores de campo magnético basados en el efecto Hall (Popović, 1989). Los transductores de efecto Hall son ampliamente usados para campos magnéticos producidos por conductores de un tamaño pequeño (milímetros). El transductor genera una señal eléctrica cuando es detectado un campo magnético y este principio es usado para diversas aplicaciones, entre ellas medir la velocidad de giro de un rotor. (G. Boero, 2003)

2.4 CIRCUITOS MULTIPLICADORES DE FRECUENCIA

Un circuito multiplicador de frecuencia otorga una señal de salida con una frecuencia que es un múltiplo entero de la señal de entrada. Las señales deben estar sincronizadas, por lo que este tipo de circuitería entra dentro de la categoría de los Phase Lock Loop (PLL), que son circuitos con sincronización exacta en la frecuencia, como algunos moduladores PWM. Existen diversos tipos de PLL y multiplicadores de frecuencia, en (Ng, Tam, & Chi-Wah Kok, 2020) se propone un esquema sencillo utilizando compuertas para generar un duplicador de frecuencia, mientras que existen versiones digitales que tienen el mismo propósito, como se observa en (Assadd & Alser, 2012). Cualquiera de las dos opciones se puede aplicar en diferentes ámbitos, dependiendo de los requerimientos del proyecto. En la Figura 2 se muestra un ejemplo de las señales de entrada y salida en un multiplicador de frecuencia.

Figura 2. Ejemplo de un circuito multiplicador de frecuencia (Kim, y otros, 2019)



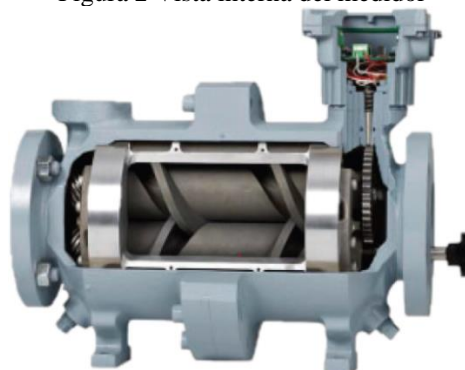
3 DESCRIPCIÓN DEL MEDIDOR DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO Y PROCEDIMIENTO GENÉRICO DE CALIBRACIÓN

Siguiendo la normativa aplicable, describimos como se hace la calibración y que instrumentos se requieren.

El funcionamiento del contador es en base al a los rotores de medición; cuando el fluido que pasa a través del medidor durante la operación. Los rotores no tienen contacto entre si durante el funcionamiento del medidor. Cuentan con una pequeña separación entre los componentes móviles.

El BiRotor Plus es un medidor tipo desplazamiento positivo (PD). Un medidor de DP utiliza un principio mecánico que mide el flujo dividiendo continuamente el flujo en cámaras con un volumen conocido, aislando estos volúmenes momentáneamente, y luego regresándolos a la corriente que fluye mientras se cuenta el número de cantidades que fueron aisladas. Esta es una medición directa de volumen, no es necesario inferirlo o la utilización de software para calcular el volumen.

Figura 2 Vista interna del medidor



3.1 PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN

El procedimiento de calibración utilizado para darle trazabilidad a patrones nacionales se basa en el **API MPMS 4 Proving Systems**. (API, 2009)

Una de las premisas en las instalaciones donde se encuentren tubería pesada ya sea en laboratorio o en instalaciones que contengan hidrocarburos ligeros, es contemplar la seguridad del individuo o personal que estará realizando los trabajos de calibración por lo cual es necesario proteger la integridad física. Vestir el equipo de protección personal adecuado de trabajo, seguir las recomendaciones de seguridad que nos sean indicadas.

3.2 PASOS A SEGUIR DURANTE LA CALIBRACIÓN

1. Verificar que el alcance del medidor patrón cubra adecuadamente el intervalo de calibración del medidor tipo desplazamiento positivo.
2. Revisar el sistema para realizar la conexión en serie del medidor patrón en los disparos del sistema de medición. En caso de no contar con los disparos de conexión ver la posibilidad de retirar algún tramo de tubería para la realización de la conexión en serie.
3. Energizar el medidor de flujo patrón.
4. Instalación de mangueras de entrada y salida al medidor, colocándose en las válvulas marcadas como entrada y salida respectivamente. (Disparos).
5. Verificar fugas en el sistema.
6. Realizar corridas de ambientación que asegure que los medidores y mangueras se encuentren completamente llenas.
7. Se harán las pruebas en 5 caudales (divididos entre el alcance del medidor) y cada uno de ellos con 5 repeticiones.

3.3 CORRIDA DE CALIBRACIÓN

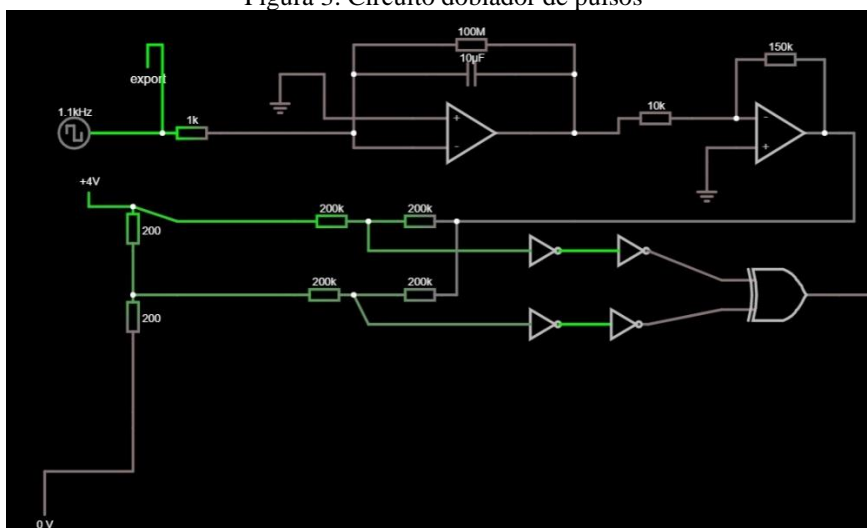
8. Empezar una medición de prueba con la computadora de flujo e iniciar la prueba con un mínimo de duración, con el fin de recaudar un mínimo de 10 000 pulsos, teniendo especial cuidado con las alarmas.
9. Recabar los datos en una plantilla de cálculo para obtener el MF.
10. Repetir esto para los flujos restantes hasta obtener un total de 5 flujos a lo largo de todo el alcance del medidor; tomando en cuenta un periodo de 5 minutos aproximadamente de estabilización entre flujo y flujo.

11. Verificar que los Mf encontrado en los flujos medidos cumplen con los requerimientos establecidos de Repetibilidad y Linealidad.

4 IMPLEMENTACIÓN EN SIMULACIÓN DE CIRCUITO DOBLADOR DE PULSOS

El circuito implementado se basa en una propuesta de (referencia), tomando los valores indicados en el documento de referencia. Se añadió también un generador de onda triangular, ya que el circuito mostrado (Varghese, 2009) parte de una entrada triangular, de este modo, a partir de una señal cuadrada, se genera una señal triangular de la misma frecuencia que luego pasa al circuito doblador, en el cual se obtiene una señal con el doble de pulsos. El circuito completo se aprecia en la Figura 3.

Figura 3. Circuito doblador de pulsos



A continuación, se muestran las imágenes de los resultados de simular la cantidad de pulsos por minuto en diferentes puntos de operación para el medidor de desplazamiento positivo. En la Tabla 1 se muestran los valores de flujo en galones por minuto usados como puntos de calibración y sus correspondientes frecuencias en Hz, las cuales fueron simuladas usando en generador de funciones de onda cuadrada.

Tabla 1. Puntos de calibración

Flujo (Gall/min)	Frecuencia (Hz) “pulsos/segundo”
69.89	112
132.93	213
195.96	314
258.99	415
322.03	516
385.06	617
448.09	718
511.13	819
574.16	920
637.19	1021
700.23	1122

Las Figuras abaixo muestran los resultados obtenidos, en color rojo las señales de frecuencia dadas por los puntos de calibración, en color verde la salida del doblador de pulsos.

Figura 4. Frecuencia 112 Hz, escala de tiempo 500 microsegundos



Figura 5. Frecuencia 213 Hz, escala de tiempo 500 microsegundos



Figura 6. Frecuencia 314 Hz, escala de tiempo 500 microsegundos



Figura 7. Frecuencia 415 Hz, escala de tiempo 500 microsegundos



Figura 8. Frecuencia 516 Hz, escala de tiempo 200 microsegundos



Figura 9. Frecuencia 617 Hz, escala de tiempo 200 microsegundos



Figura 10. Frecuencia 718 Hz, escala de tiempo 200 microsegundos



Figura 11. Frecuencia 819 Hz, escala de tiempo 200 microsegundos



Figura 12. Frecuencia 920 Hz, escala de tiempo 200 microsegundos



Figura 13. Frecuencia 1021 Hz, escala de tiempo 100 microsegundos



Figura 14. Frecuencia 1122 Hz, escala de tiempo 100 microsegundos



5 CONCLUSIONES

El circuito doblador de pulsos produce una salida que, como se aprecia en las figuras de la sección 4, genera un pulso en tiempo en alto y un pulso en el tiempo en bajo de la señal original. Sin embargo, la señal obtenida no tiene ni el mismo ciclo de trabajo, ni la misma fase para distintas frecuencias. La variación en la fase se debe a que el circuito propuesto está diseñado para trabajar de manera óptima en una frecuencia fija. El circuito muestra su funcionalidad, pero también áreas de oportunidad que pueden ser atendidas. Se consigue una señal con el doble de pulsos que la original, provocando que el tiempo total requerido para una corrida de calibración se reduzca a la mitad. El circuito funciona para todo el rango de frecuencias propuesto, que cubre el alcance total del instrumento en cuestión. Es posible lidiar con el desfase de varias maneras, esto para lograr que la señal de salida sea una onda con 50 % de ciclo de trabajo y siempre en fase sin importar la frecuencia utilizada. Una propuesta consiste en diseñar una serie de circuitos dobladores específicos para cada frecuencia, y por medio de multiplexores de señal, elegir el que corresponda a cada frecuencia de entrada. Sin embargo, no sería útil para ningún otro medidor, pues quedarían fijos los valores para el medidor de cuestión. Una mejor opción consiste en permitir que los valores de ciertas resistencias cambien de manera automática, utilizando potenciómetros digitales, por ejemplo, de la familia X9C, y controlar el valor de la resistencia con una señal externa

producida por un microcontrolador, que mide a su vez la frecuencia producida por el generador de pulsos. De esta manera es posible calcular las resistencias adecuadas para cada frecuencia de entrada específica, y después obtener ese valor usando un potenciómetro digital. Otra alternativa es utilizar circuitos multiplicadores programables (Jany, Siligaris, Gonzalez-Jimenez, Vincent, & Ferrari, 2015) que se ajusten a la frecuencia necesaria para cada situación. De cualquier modo, el rango de frecuencias de operación es limitado, así que se puede optar por sistemas con un rango de operación variable (Inam, Afridi, & Perreault, 2016). Como trabajo futuro, se plantea usar el medidor en un tren de calibración de flujo con condiciones de operación reales, y acoplar el circuito doblador de pulsos para que sus datos sean enviados y comparados con el instrumento patrón.

REFERENCIAS

- API. (2009). Chapter 4 Proving systems. En API, Manual of Petroleum Measurement Standards.
- Assadd, M., & Alser, M. H. (2012). Design of an All-Digital Synchronized Frequency Multiplier Based on a Dual-Loop (D/FLL) Architecture. VLSI Design.
- Baker RC, M. M. (1985). Positive-displacement meters for liquids. Transactions of the Institute of Measurement and Control, 209-220.
- D. W. Holdsworth, D. W. (1991). Computer-controlled positive displacement pump for physiological flow simulation. Medical and Biological Engineering and Computing volume, 265-570.
- F.Cascetta, G. A. (2016). Calibration procedures and uncertainty analysis for a thermal mass gas flowmeter of a new generation. Measurement, 280-287.
- G. Boero, M. D.-. (2003). Micro-Hall devices: performance, technologies and applications. Sensors and Actuators, 314-320.
- Inam, W., Afridi, K. K., & Perreault, D. J. (2016). Variable Frequency Multiplier Technique for High-Efficiency Conversion Over a Wide Operating Range. Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, 335-343.
- Jany, C., Siligaris, A., Gonzalez-Jimenez, J. L., Vincent, P., & Ferrari, P. (2015). A Programmable Frequency Multiplier-by-29 Architecture for Millimeter Wave Applications. Journal of Solid-State Circuits , 1669-1679.
- Kim, S., Cheon, J.-H., Lee, D., Pu, Y., Yoo, S.-S. M., Hwang, K. C., . . . Lee, K.-Y. (2019). A design of a 5.6 GHz frequency synthesizer with switched bias LIT VCO and low noise on-chip LDO regulator for 5G applications. International Journal of Circuit Theory and Applications, 1856-1868.
- Meribout, M., Azzi, A., Ghendour, N., Kharoua, N., Khezzer, L., & AlHosani, E. (2020). Multiphase Flow Meters Targeting Oil & Gas Industries. Measurement.
- Ng, W.-K., Tam, W.-S., & Chi-Wah Kok. (2020). Low power frequency doubler. Solid State Electronics Letters, 98-102.
- Pinho, C. (2012). The positive displacement method for calibration of gas flow meters. The influence of gas compressibility. Applied Thermal Engineering, 111-115.
- Popović, R. (1989). Hall-effect devices. Sensors and Actuators, 39-53.
- Varghese, G. (2009). Phase Locked Loop Design as a Frequency Multiplier.