



Evaluación de un Giróscopo MEMS en un Péndulo

Curso 2011-2012

José Manuel Quero Reboul

Microsistemas

Dpto. de Ingeniería Electrónica

Universidad de Sevilla

Indice

1. Introducción.....	3
2. Giróscopo Mecánico.....	4
3. Giróscopo Electrónico	4
3.1. Fuerza Coriolis	4
3.2. Giróscopos MEMS	6
Estructura	7
Cadena de Medida	8
Demodulación de la señal de amplificador	8
4. Principales Características de los Giróscopos Electrónicos.....	9
4.1. Nivel de Cero	9
4.2. Sensibilidad	9
4.3. Densidad de Ruido	9
5. Giróscopo LPY510AL.....	10
5.1. Esquema del Circuito.....	10
6. Memoria.....	12
6.1. Comportamiento Estático del Péndulo	12
6.2. Comportamiento Dinámico del Péndulo.....	14
7. ANEXO I. Características de Fabricante del Acelerómetro LPY510AL	17

1. Introducción.

En esta práctica vamos a realizar un estudio sobre el comportamiento tanto dinámico como estático de un giróscopo diseñado con técnicas de microsistemas (MEMS) e implementado sobre un circuito integrado.

Para dicho estudio vamos a utilizar el modelo LPY510AL, cuyas hojas de características de fabricante se adjuntan en el ANEXO I de esta memoria. Para un mayor entendimiento, se recomienda una lectura detallada de sus características técnicas antes de empezar esta práctica.

Para el estudio de dicho giróscopo se ha montado un circuito unido a un eje de oscilación para producirnos oscilaciones periódicas amortiguadas, que nos sirvan para el estudio dinámico del dispositivo MEMS. Dicho circuito no es más que el especificado para su correcto funcionamiento proporcionado por el fabricante, y particularizado para nuestros intereses.

Una foto del diseño del péndulo es el que se muestra a continuación:

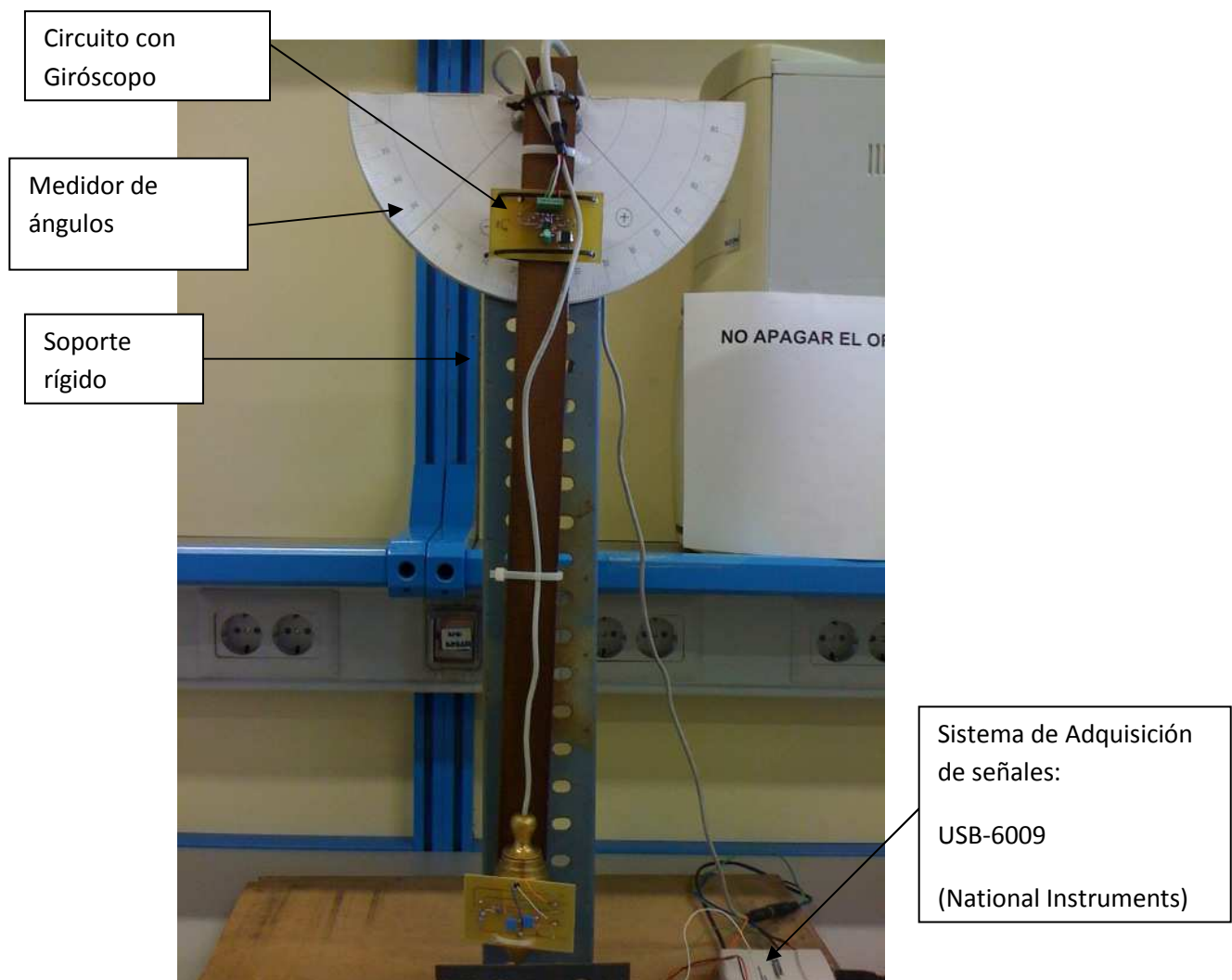


Figura 1. Maqueta de un péndulo empleada para la realización de la práctica

Se recomienda hacer uso de la descripción del comportamiento de un péndulo incluida en la práctica de evaluación de un acelerómetro.

Nuestro objetivo va a ser la evaluación y comparación del comportamiento de nuestro giróscopo con las especificaciones dadas por el fabricante.

Esta maqueta se encuentra a disposición de los alumnos en el Laboratorio de Máster del Dpto. de Ingeniería Electrónica, ubicado en la primera planta del Laboratorio L2.

Se pasa a la descripción teórica del giróscopo. Se va definir en primer lugar como un instrumento mecánico, para a continuación describir el funcionamiento del giróscopo electrónico, que es el que nos interesa en nuestro caso.

2. Giróscopo Mecánico

El giroscopio o giróscopo es un dispositivo mecánico formado esencialmente por un cuerpo con simetría de rotación que gira alrededor de su eje de simetría. Cuando se somete el giroscopio a un momento de fuerza que tiende a cambiar la orientación del eje de rotación su comportamiento es aparentemente paradójico ya que el eje de rotación, en lugar de cambiar de dirección como lo haría un cuerpo que no girase, cambia de orientación en una dirección perpendicular a la dirección "intuitiva".

El giroscopio fue inventado en 1852 por Léon Foucault, quien también le dio el nombre, montando una masa rotatoria en un soporte de Cardano para un experimento de demostración de la rotación de la tierra.

3. Giróscopo Electrónico

Por otro lado el giróscopo electrónico está basado en la fuerza de Coriolis.

3.1. Fuerza Coriolis

El efecto Coriolis, descrito en 1835 por el científico francés Gaspard-Gustave Coriolis, es el efecto que se observa en un sistema de referencia en rotación (y por tanto no inercial) cuando un cuerpo se encuentra en movimiento respecto de dicho sistema de referencia. Este efecto consiste en la existencia de una aceleración relativa del cuerpo en dicho sistema en rotación. Esta aceleración es siempre perpendicular al eje de rotación del sistema y a la velocidad del cuerpo. El efecto Coriolis hace que un objeto que se mueve sobre el radio de un disco en rotación tienda a acelerarse con respecto a ese disco según si el movimiento es hacia el eje de giro o alejándose de éste. Debido a que el objeto sufre una aceleración desde el punto de vista del observador en rotación, es como si para éste existiera una fuerza sobre el objeto que lo acelera. A esta fuerza se la llama fuerza de Coriolis, y no es una fuerza real en el sentido de que no hay nada que la produzca. Se trata pues de una fuerza inercial o ficticia, que se introduce para explicar, desde el punto de vista del sistema en rotación, la aceleración del cuerpo, cuyo origen está en realidad, en el hecho de que el sistema de observación está rotando.

La fuerza de Coriolis es una fuerza ficticia que aparece cuando un cuerpo está en movimiento con respecto a un sistema en rotación y se describe su movimiento en ese referencial. La fuerza de Coriolis es diferente de la fuerza centrífuga. La fuerza de Coriolis siempre es perpendicular a la dirección del eje de rotación del sistema y a la dirección del movimiento del cuerpo vista desde el sistema en rotación. La fuerza de Coriolis tiene dos componentes:

- una componente tangencial, debido a la componente radial del movimiento del cuerpo, y
- una componente radial, debida a la componente tangencial del movimiento del cuerpo.

La componente del movimiento del cuerpo paralela al eje de rotación no engendra fuerza de Coriolis.

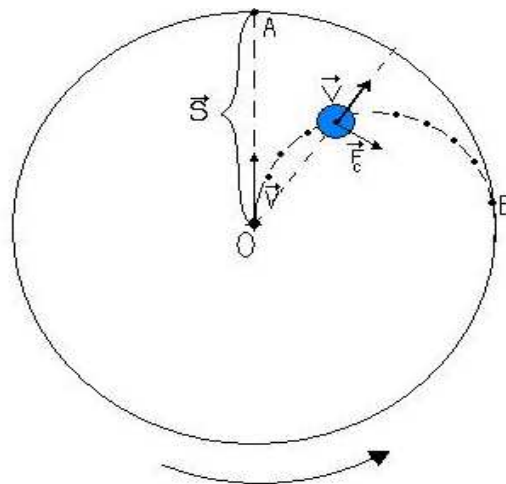
El valor de la fuerza de Coriolis F_c es:

$$F_c = -2m(\omega \times v)$$

Donde:

- m , es la masa del cuerpo.
- v , es la velocidad del cuerpo en el sistema en rotación.
- ω , es la velocidad angular del sistema en rotación vista desde un sistema inercial.
- \times , indica producto vectorial.

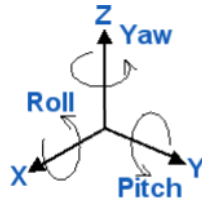
En la siguiente figura observamos un experimento donde podemos ver un disco que gira, con una velocidad angular ω , respecto a un eje perpendicular a la superficie del disco. En la superficie del disco se encuentra una bola de masa m , que se desplaza a una velocidad v , en la dirección que se observa en la figura, en ésta podemos observar la trayectoria seguida por la bola en la superficie del disco debido al efecto de las fuerzas de Coriolis.



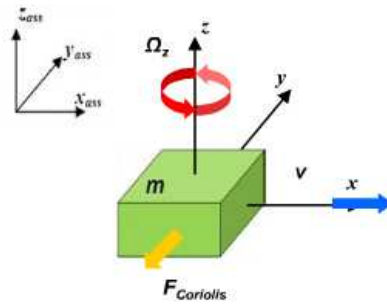
Si el efecto de las fuerzas de Coriolis la bola partiría de O hasta A , debido a estas fuerzas la bola acabaría en B .

3.2. Giróscopos MEMS

Los giróscopos MEMS miden la velocidad angular (Pitch, Roll y Yaw), usando el efecto Coriolis.



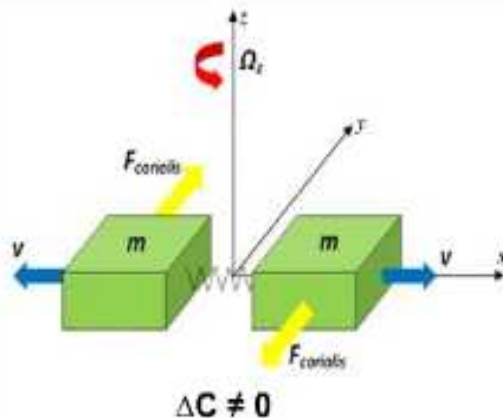
Para entender cómo se produce el efecto Coriolis en el interior del MEMS consideremos el siguiente bloque de masa m , el cual se mueve a una velocidad v , tal y como se observa en la figura por la flecha azul. Si a este bloque le aplicamos un movimiento angular Ω_z , el cual se representa el rojo, se producirá una fuerza de Coriolis de valor $F = -2m \mathbf{v} \times \mathbf{\Omega}$, en la dirección que apunta la flecha amarilla.



$$F_{Coriolis} = -2m\Omega_z \wedge v$$

Utilizando un interfaz sensora de tipo capacitiva se consigue medir esa velocidad angular aplicada en función de la fuerza de Coriolis generada.

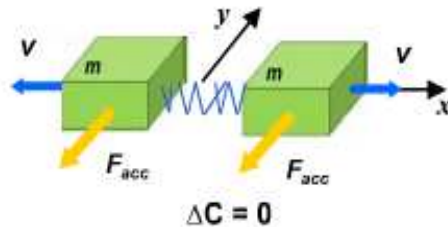
En la práctica, son dos masas las que se utilizan, como se puede observar en la siguiente figura.



Las dos masas oscilan de forma constante a una velocidad v (flechas azules), cuando se le aplica una velocidad angular, que viene denotada por Ω_z , las fuerzas de Coriolis resultantes

tienen sentido opuesto (flechas en amarillo). Este resultado se traduce a una medida diferencial capacitiva, como se entenderá más adelante cuando nos centremos en la implementación física mediante MEMS.

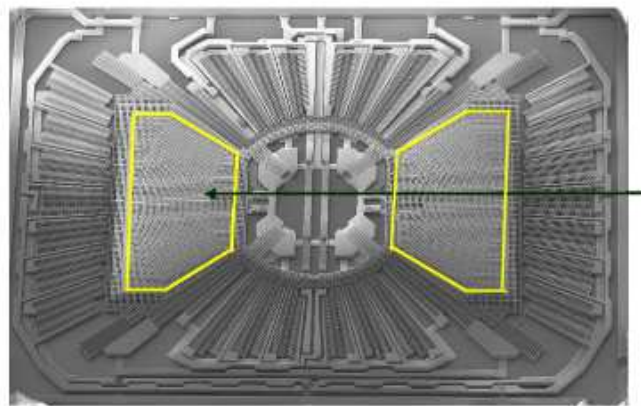
Cuando una aceleración es aplicada a las dos masas en la misma dirección, éstas se mueven en la misma dirección, por lo que la medida capacitiva diferencial es cero, tal y como se observa en la siguiente figura.



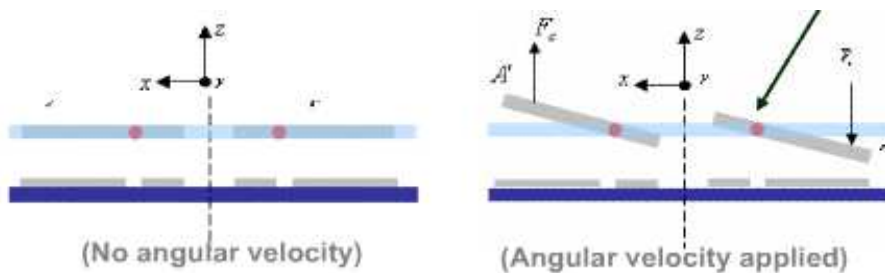
En resumen en los giróscopos MEMS las masas se encuentra continuamente en movimiento, cuando un movimiento angular es aplicado, se genera un par de fuerzas de Coriolis, las cuales son medidas mediante una interfaz sensora capacitiva. Estas fuerzas son proporcionales a la velocidad angular aplicada, que es la magnitud que nos interesa medir.

Estructura

En la siguiente figura se puede observar la estructura micromecanizada del giróscopo.



Las dos alas resaltadas en amarillo corresponden con las unidades sensoras. En las siguientes figuras se pueden observar un plano transversal de las mismas.

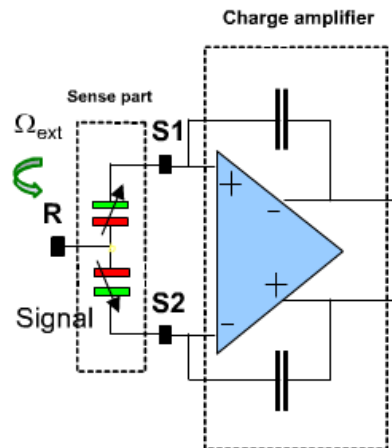


En la figura de la izquierda no se aplica ningún movimiento angular, luego las placas no se desplazan debido a ninguna fuerza. Por otro lado, en la figura de la derecha, se ha aplicado

un movimiento angular el cual produce el par de fuerzas de Coriolis que desplazan las placas tal y como se observa en la figura. Este desplazamiento produce una variación en la distancia entre placas del condensador, lo que implica una variación de la capacidad del condensador.

Cadena de Medida

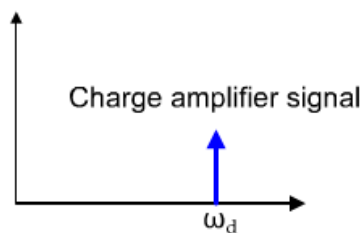
En la siguiente figura se puede observar el amplificador diferencial de carga que incluye el giróscopo, el cual se encarga de traducir las variaciones capacitivas en variaciones de tensión.



La tensión de salida que suministra el circuito viene dada por la siguiente expresión.

$$V_{out}(t) = V_{\Omega_{EXT}}(t) \cdot \sin(\omega_d t)$$

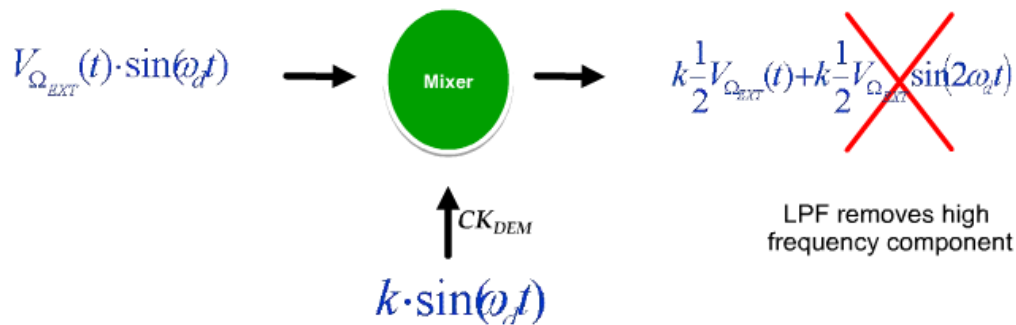
En términos de frecuencia se presenta en la siguiente figura.



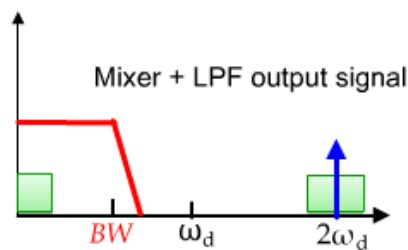
El siguiente paso es demodular la señal de salida de amplificador anterior.

Demodulación de la señal de amplificador

Para la demodular la señal del amplificador se utiliza un mezclador, introduciendo una señal de frecuencia ω_d .



La señal de salida del mezclador, desplaza el espectro en frecuencia a las frecuencias $\pm \omega_d$. Resultando dos señales, una a baja frecuencia y otra a frecuencia $2\omega_d$. Esta última se puede filtrar un filtro paso de bajo. La siguiente figura muestra las operaciones descritas anteriormente.



4. Principales Características de los Giróscopos Electrónicos

A continuación se detallan las principales características de los Giróscopos electrónicos.

4.1. Nivel de Cero

Corresponde al nivel de tensión de salida, cuando no hay presencia de velocidad angular. Se suele indicar mediante un nivel de tensión continua a una temperatura de funcionamiento. Por ejemplo 1,23 V a 25°C.

4.2. Sensibilidad

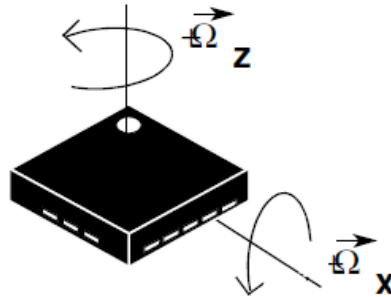
Se mide como la relación entre la entrada y la salida del sensor, cuando se aplica un cambio a la entrada que produce una respuesta a la salida. Se mide en mV/dps. El valor de la sensibilidad es especificado para un rango de exactitud y es variable con la temperatura.

4.3. Densidad de Ruido

El último parámetro importante a tener en cuenta es la densidad de ruido. La variación del ruido a la salida depende del ancho de banda seleccionado. Reduciéndose éste mediante un filtro paso bajo a la salida, se mejora la resolución de salida. Normalmente la densidad de ruido se expresa en términos de "rate noise density" expresado en $\frac{dps}{\sqrt{Hz}}$.

5. Gir6scopo LPY510AL

El gir6scopo seleccionado para realizar esta experiencia es LPY510AL de ST-Microelectronics. Se trata de un gir6scopo de dos ejes X y Z.



Para cada salida de cada eje, el sensor tiene la posibilidad de amplificar la salida x4. La siguiente tabla muestra las principales caracteristicas del gir6scopo LPY510AL.

Symbol	Parameter	Test condition	Min.	Typ. ⁽²⁾	Max.	Unit
FSA	Measurement range	4x OUT (amplified)		±100		°/s
FS		OUT (not amplified)		±400		°/s
SoA	Sensitivity ⁽³⁾	4x OUT (amplified)		10		mV/°/s
So		OUT (not amplified)		2.5		mV/°/s
SoDr	Sensitivity change vs temperature	Delta from 25°C		0.037		%/°C
Voff	Zero-rate level ⁽³⁾			1.23		V
Vref	Reference voltage			1.23		V
OffDr	Zero-rate level change Vs temperature	Delta from 25°C		0.02		°/s/°C
NL	Non linearity	Best fit straight line		±1		% FS
BW	Bandwidth ⁽⁴⁾			140		Hz
Rn	Rate noise density			0.017		°/s / √Hz
Top	Operating temperature range		-40		+85	°C

Las respuestas esperadas para cada uno de los ejes son:

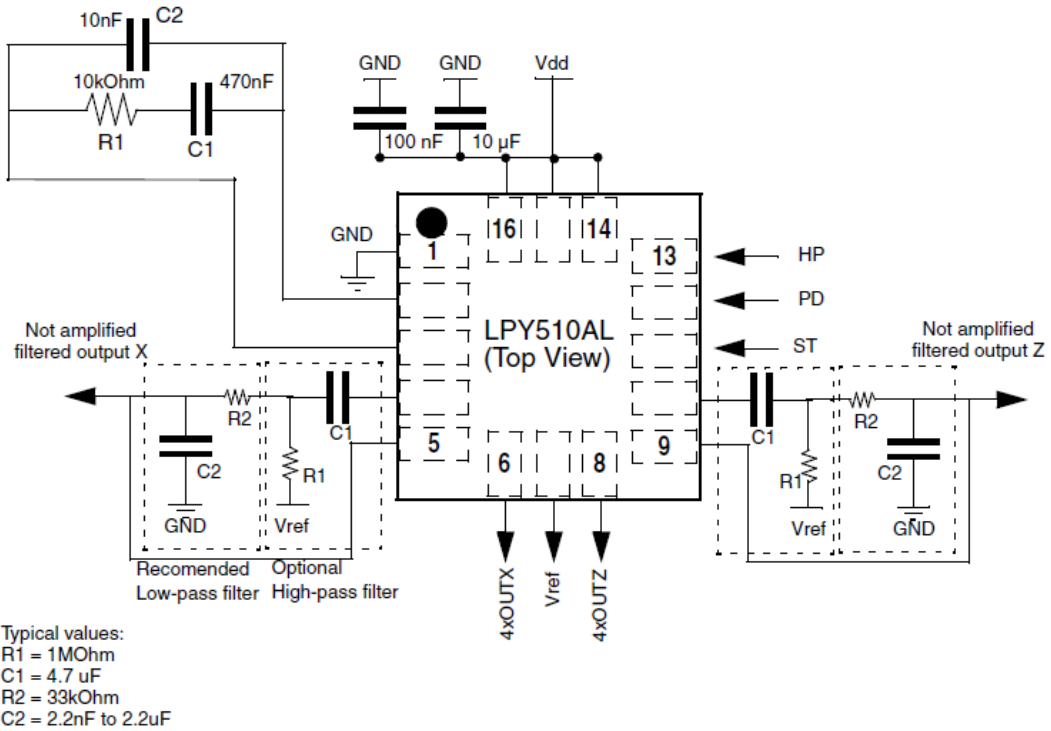
$$+100^\circ/\text{sec} \rightarrow 4xOUTX, 4xOUTZ = 1.23V + SoA \cdot 100 = 2.23V$$

$$+100^\circ/\text{sec} \rightarrow OUTX, OUTZ = 1.23V + So \cdot 100 = 1.48V$$

Para una informaci6n m1s detallada consultar el cat1logo adjunto en el Anexo I.

5.1. Esquema del Circuito

A continuaci6n se muestra el esquema del circuito que se ha montado sobre el PCB. Este circuito es el recomendado por el fabricante.



En la parte superior los elementos C1, C2 y R2, componen un filtro paso bajo que está conectado a los pines FILTVDD y VCONT. Estos pines son del PLL interno que sirve de sincronización entre las interfaces de medida. Como se puede observar del esquema, las salidas X e Z, tienen un filtro paso de banda conectado a la salida, éste está compuesto por un filtro paso bajo y un filtro paso alto puestos en cascada. Estos filtros se añaden al ya implementado internamente en el sensor, éste es un filtro paso bajo de $f_t=140$ Hz.

6. Memoria

Evaluación de un Giróscopo MEMS en un Péndulo

NOMBRE DE LOS ALUMNOS:

FECHA Y HORA:

6.1. Comportamiento Estático del Péndulo

- 1) Dibujar los ejes Z y X en la siguiente imagen, teniendo en cuenta la posición en la que se encuentra el giróscopo en placa.



- 2) Según esos ejes, ¿En qué posición se ha orientado el integrado en la placa para obtener velocidades positivas según la dirección que se indica en la misma? Dibuja la posición del integrado en la placa, indicando donde se encuentra el punto de referencia blanco que se observa en la figura anterior.
- 3) Según esa posición, ¿Qué eje mide la velocidad angular del péndulo?
- 4) ¿El otro eje está midiendo alguna magnitud física? ¿Por qué se obtienen resultados?

5) ¿Qué tensiones se miden en los ejes Z y X, en estado de reposo?

Eje Z:

Eje X:

6) Varía la posición del péndulo a distintos ángulos en estado de reposo. Por ejemplo para las siguientes posiciones, 0° , 45° , -45° , 90° , -90° . ¿Existen variaciones en la tensión de salida del eje Z? ¿Por qué?

Ángulo	Tensión(V)	
	Eje X	Eje Z
-90°		
-45°		
0°		
45°		
90°		

6.2. Comportamiento Dinámico del Péndulo

- 7) Poner en movimiento el péndulo. ¿En qué punto se obtiene la velocidad máxima? ¿Y la velocidad mínima?

- 8) En la introducción al péndulo de la memoria de evaluación del acelerómetro se ha calculado una expresión para el cálculo de la máxima velocidad angular. Sabiendo que la longitud del péndulo es de , calcula dicha velocidad angular máxima si se deja caer el péndulo desde su posición horizontal.

- 9) ¿Mediante qué experimento se podría calcular la sensibilidad del dispositivo en $mV/g/s$? Calcula dicha sensibilidad.

- 10) Teniendo en cuenta la sensibilidad calculada y la tensión de reposo del apartado de comportamiento estático del péndulo. Rellenar las casillas correspondientes a la sensibilidad del eje Z y la tensión de offset del eje Z. Poner en movimiento el péndulo.

- 11) ¿Debido a qué las amplitudes de las oscilaciones son menores con forme pasa el tiempo?

12) ¿Qué operación matemática se realiza sobre la medida de tensión del eje Z para obtener la velocidad angular? Siendo S_0 la sensibilidad del eje Z, V_{of} la tensión de offset de dicho eje, w la velocidad angular y V_z la tensión proporcionada por el giróscopo. Indicar la fórmula.

- 13) Grabar la información del eje Z pulsando el botón de grabar en la aplicación de Labview. Mantener la grabación de las medidas hasta que el péndulo se vuelva a encontrar totalmente parado. Abrir Matlab y correr el programa que se encuentra en el archivo gyroscpo.m. Comprobar que nos encontramos en la carpeta de trabajo. Una vez ejecutada la aplicación, aparecerá una figura donde se puede observar la forma de onda completa de la velocidad angular del péndulo.
- 14) ¿Cuál es el periodo de oscilación de la onda? ¿Coincide con el valor teórico?
- 15) En base los valores obtenidos en la forma de onda de la velocidad angular. Calcular la constante de rozamiento b .

**7. ANEXO I. Características de Fabricante del Acelerómetro
LPY510AL.**



LPY510AL

MEMS motion sensor dual axis pitch and yaw $\pm 100^\circ/\text{s}$ analog gyroscope

Preliminary data

Features

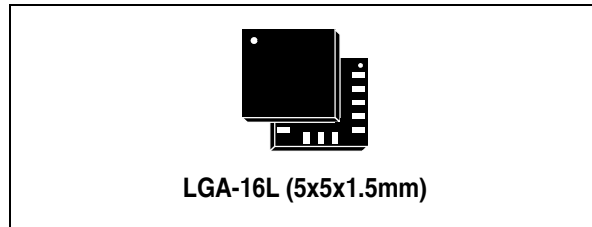
- 2.7 V to 3.6 V single supply operation
- Very extended operating temperature range (-40°C to +85°C)
- High stability over temperature
- Absolute analog rate output
- Two separated outputs for each axis (1x and 4x amplified)
- Integrated low-pass filters
- Low power consumption
- Embedded power-down
- Embedded self-test
- High shock and vibration survivability
- ECOPACK[®] RoHS and “Green” compliant (see [Section 5](#))

Applications

- GPS navigation systems
- Motion tracking
- Pointing devices, remote and game controllers
- Motion control with user interface
- Industrial and robotics

Description

The LPY510AL is a low-power two-axis micromachined gyroscope able to measure angular rate along pitch and yaw axes. It provides excellent temperature stability and high resolution over extended operating temperature range (-40°C +85°C). The LPY510AL has a full scale of



$\pm 100^\circ/\text{s}$ and is capable of detecting rates with a -3 dB bandwidth up to 140 Hz.

The gyroscope is the combination of one actuator and one accelerometer integrated in a single micromachined structure.

It includes a sensing element composed by single driving mass, kept in continuous oscillating movement and able to react when an angular rate is applied based on the Coriolis principle.

A CMOS IC provides the measured angular rate to the external world through an analog output voltage, allowing high level of integration and production trimming to better match sensing element characteristics.

ST gyroscope family leverages on robust and mature manufacturing process already used for the production of micromachined accelerometers.

ST is already in the field with several hundreds million sensors with excellent acceptance from the market in terms of quality, reliability and performance.

LPY510AL is provided in plastic land grid array (LGA) package.

Several years ago ST pioneered successfully the usage of this package for accelerometers. Today ST has the widest manufacturing capability and strongest expertise in the world for production of sensor in plastic LGA package.

Table 1. Device summary

Order code	Temperature range (°C)	Package	Packing
LPY510AL	-40 to +85	LGA-16 (5x5x1.5)	Tray
LPY510ALTR	-40 to +85	LGA-16 (5x5x1.5)	Tape and reel

Contents

- 1 Block diagram and pin description 3**
 - 1.1 Pin description 3

- 2 Mechanical and electrical specifications 5**
 - 2.1 Mechanical characteristics 5
 - 2.2 Electrical characteristics 6
 - 2.3 Absolute maximum ratings 6

- 3 Terminology 7**
 - 3.1 Sensitivity 7
 - 3.2 Zero-rate level 7
 - 3.3 Self-test 7
 - 3.4 High pass filter reset (HP) 7

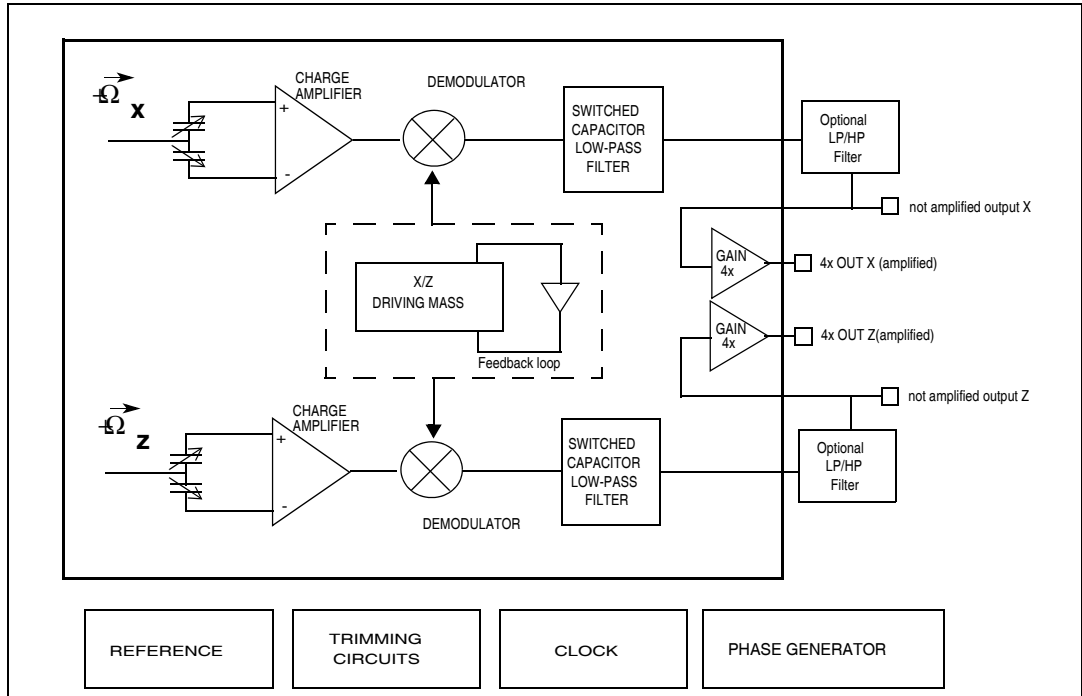
- 4 Application hints 8**
 - 4.1 Output response vs. rotation 9
 - 4.2 Soldering information 9

- 5 Package information 10**

- 6 Revision history 11**

1 Block diagram and pin description

Figure 1. Block diagram



1.1 Pin description

Figure 2. Pin connection

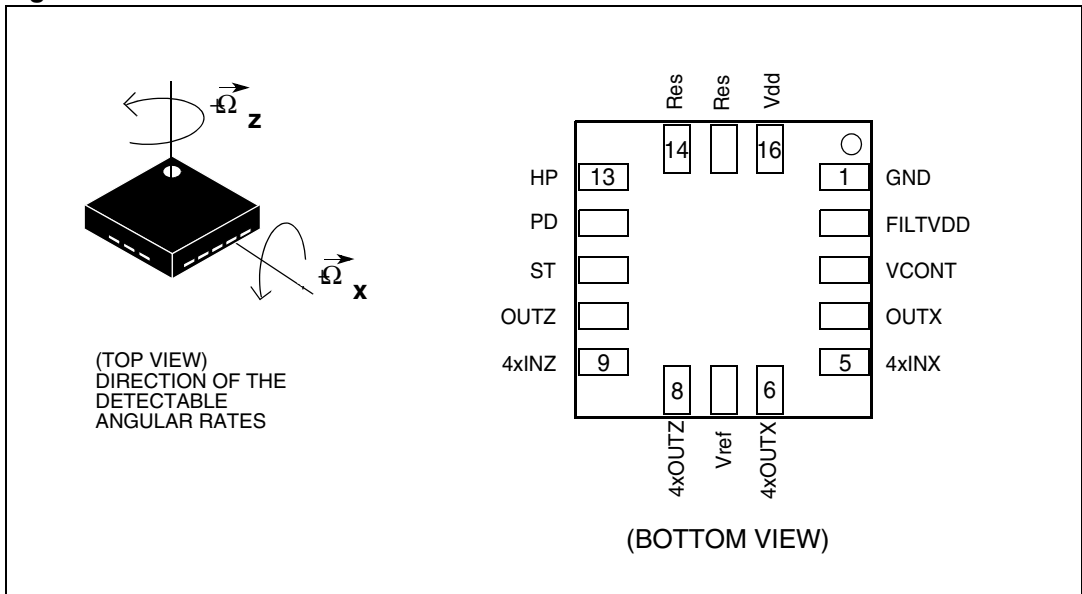


Table 2. Pin description

Pin #	Pin name	Analog function
1	GND	0V supply voltage
2	FILTVDD	PLL filter connection pin #2
3	VCONT	PLL filter connection pin #1
4	OUTX	Not amplified output
5	4xINX	Input of 4x amplifier
6	4xOUTX	X rate signal output voltage (amplified)
7	Vref	Reference voltage
8	4xOUTZ	Z rate signal output voltage (amplified)
9	4xINZ	Input of 4x amplifier
10	OUTZ	Not amplified output
11	ST	Self-test (logic 0: normal mode; logic 1: self-test)
12	PD	Power-down (logic 0: normal mode; logic 1: power-down mode)
13	HP	High pass filter reset (logic 0: normal operation mode; logic1: external high pass filter is reset)
14,15	Res	Reserved. Connect to Vdd
16	Vdd	Power supply

2 Mechanical and electrical specifications

2.1 Mechanical characteristics

Table 3. Mechanical characteristics @ Vdd = 3 V, T = 25 °C unless otherwise noted⁽¹⁾

Symbol	Parameter	Test condition	Min.	Typ. ⁽²⁾	Max.	Unit
FSA	Measurement range	4x OUT (amplified)		±100		°/s
FS		OUT (not amplified)		±400		°/s
SoA	Sensitivity ⁽³⁾	4x OUT (amplified)		10		mV/ °/s
So		OUT (not amplified)		2.5		mV/ °/s
SoDr	Sensitivity change vs temperature	Delta from 25°C		0.037		%/°C
Voff	Zero-rate level ⁽³⁾			1.23		V
Vref	Reference voltage			1.23		V
OffDr	Zero-rate level change Vs temperature	Delta from 25°C		0.02		°/s/°C
NL	Non linearity	Best fit straight line		±1		% FS
BW	Bandwidth ⁽⁴⁾			140		Hz
Rn	Rate noise density			0.017		°/s / √Hz
Top	Operating temperature range		-40		+85	°C

1. The product is factory calibrated at 3 V. The operational power supply range is specified in [Table 4](#).
2. Typical specifications are not guaranteed
3. Sensitivity and Zero-rate Offset are not ratiometric to supply voltage
4. The product is capable of measuring angular rates extending from DC to the selected BW.

2.2 Electrical characteristics

Table 4. Electrical characteristics @ Vdd =3 V, T=25 °C unless otherwise noted⁽¹⁾

Symbol	Parameter	Test condition	Min.	Typ. ⁽²⁾	Max.	Unit
Vdd	Supply voltage		2.7	3	3.6	V
Idd	Supply current	PD pin connected to GND		6.8		mA
IddPdn	Supply current in power-down mode	PD pin connected to Vdd		5		µA
VST	Self-test input	Logic 0 level	0		0.2*Vdd	V
		Logic 1 level	0.8*Vdd		Vdd	
VPD	Power-down input	Logic 0 level	0		0.2*Vdd	V
		Logic 1 level	0.8*Vdd		Vdd	
Top	Operating temperature range		-40		+85	°C

1. The product is factory calibrated at 3 V
2. Typical specifications are not guaranteed

2.3 Absolute maximum ratings

Stresses above those listed as “Absolute maximum ratings” may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device under these conditions is not implied. Exposure to maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

Table 5. Absolute maximum ratings

Symbol	Ratings	Maximum value	Unit
Vdd	Supply voltage	-0.3 to 6	V
Vin	Input voltage on any control pin (PD, ST)	-0.3 to Vdd +0.3	V
A	Acceleration	3000 g for 0.5 ms	
		10000 g for 0.1 ms	
T _{STG}	Storage temperature range	-40 to +125	°C
ESD	Electrostatic discharge protection	2 (HBM)	kV



This is a mechanical shock sensitive device, improper handling can cause permanent damage to the part



This is an ESD sensitive device, improper handling can cause permanent damage to the part

3 Terminology

3.1 Sensitivity

An angular rate gyroscope is device that produces a positive-going output voltage for counterclockwise rotation around the sensible axis considered. Sensitivity describes the gain of the sensor and can be determined by applying a defined angular velocity to it. This value changes very little over temperature and also very little over time.

3.2 Zero-rate level

Zero-rate level describes the actual output signal if there is no angular rate present. Zero-rate level of precise MEMS sensors is, to some extent, a result of stress to the sensor and therefore zero-rate level can slightly change after mounting the sensor onto a printed circuit board or after exposing it to extensive mechanical stress. This value changes very little over temperature and also very little over time.

3.3 Self-test

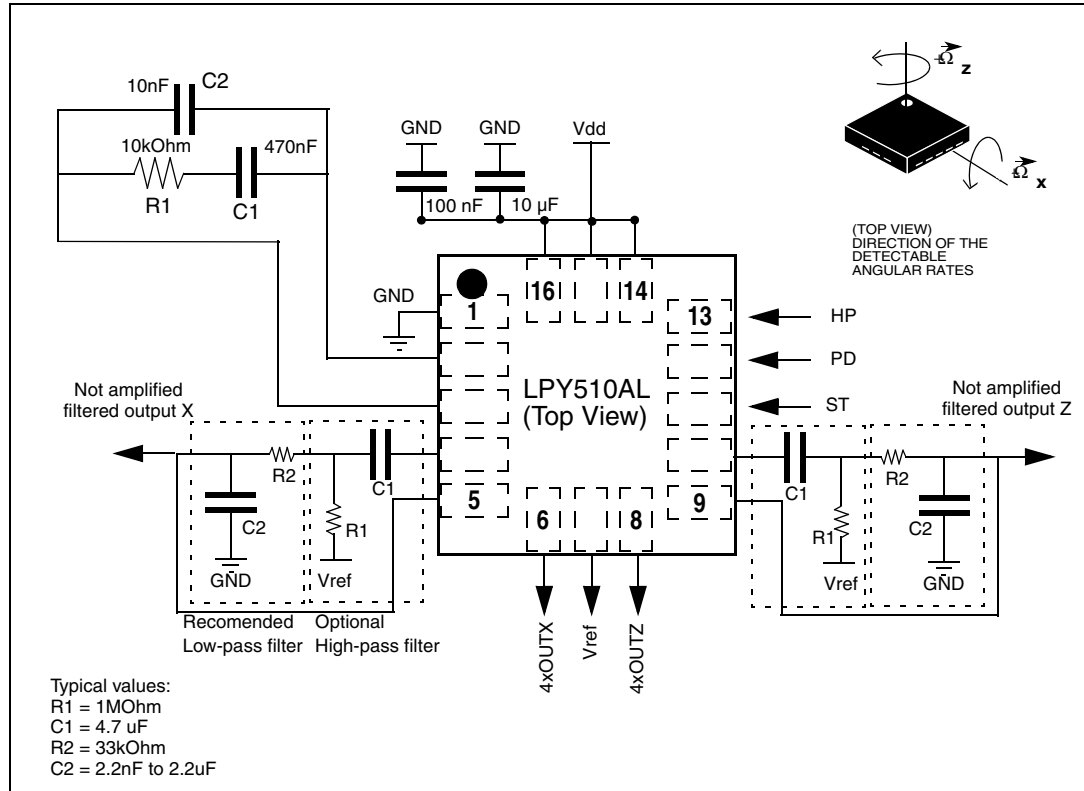
Self-test allows to test the mechanical and electric part of the sensor, allowing the seismic mass to be moved by means of an electrostatic test-force. The self-test function is off when the ST pin is connected to GND. When the ST pin is tied to Vdd, an actuation force is applied to the sensor, emulating a definite Coriolis force. In this case the sensor output will exhibit a voltage change in its DC level which is also depending on the supply voltage. When ST is active, the device output level is given by the algebraic sum of the signals produced by the velocity acting on the sensor and by the electrostatic test-force. If the output signals change within the amplitude specified in [Table 3](#), then the mechanical element is working properly and the parameters of the interface chip are within the defined specification.

3.4 High pass filter reset (HP)

LPY510AL integrates the possibility to reset the optional external high pass filter by applying high logic value to HP pad. This procedure ensures faster response especially during overload conditions. Moreover, this operation is suggested each time the device is powered.

4 Application hints

Figure 3. LPY510AL electrical connections and external components values



Power supply decoupling capacitors (100 nF ceramic or polyester + 10 µF Aluminum) should be placed as near as possible to the device (common design practice).

The LPY510AL allows to band limit the output rate response through the use of an external low pass filter (suggested) and/or high pass filter (optional) in addition to the embedded low pass filter ($f_t = 140$ Hz).

4xOUTX and 4xOUTZ are respectively OUTX and OUTZ amplified outputs lines, internally buffered to ensure low output impedance.

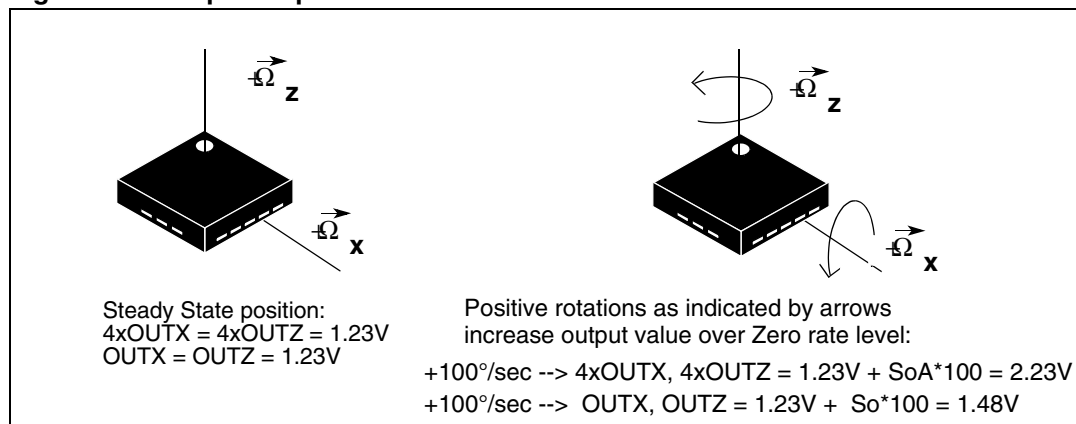
If external high pass or low pass filtering is not applied it is mandatory to short-circuit respectively pad 4 to pad 5 and pad 9 to pad 10 when amplified outputs are used.

When only not_amplified outputs are used (OUTX/Z), it is suggested to set pads 5 and 9 to fixed reference voltage (Vref).

The LPY510AL IC includes a PLL (Phase Locked Loop) circuit to synchronize driving and sensing interfaces. Capacitors and resistors must be added at **FILTVDD** and **VCONT** pins (as shown in [Figure 3](#)) to implement a second-order low-pass filter.

4.1 Output response vs. rotation

Figure 4. Output response vs. rotation



4.2 Soldering information

The LGA package is compliant with the ECOPACK[®], RoHS and “Green” standard. It is qualified for soldering heat resistance according to JEDEC J-STD-020C.

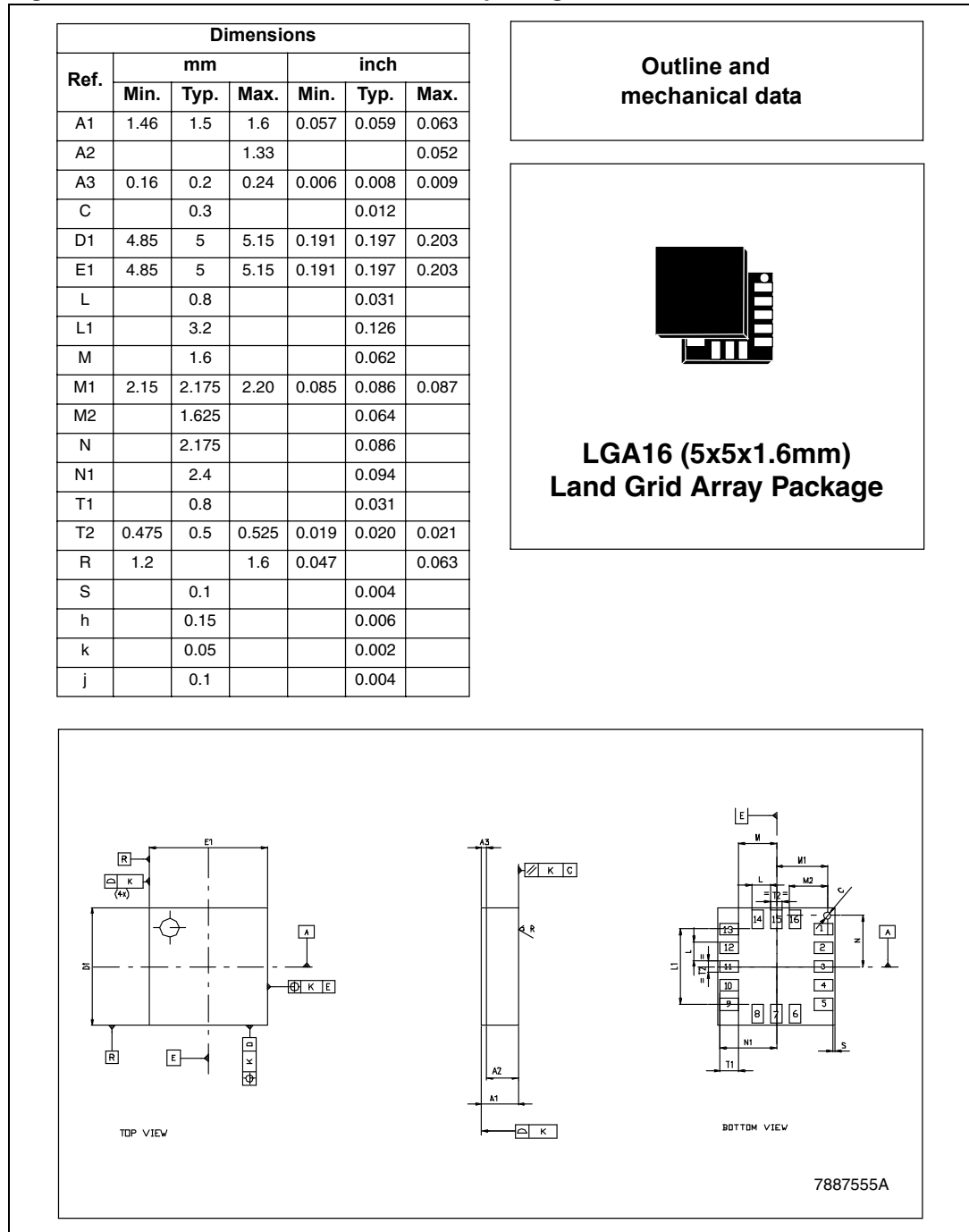
Leave “pin 1 indicator” unconnected during soldering.

Land pattern and soldering recommendations are available at www.st.com

5 Package information

In order to meet environmental requirements, ST offers these devices in different grades of ECOPACK® packages, depending on their level of environmental compliance. ECOPACK® specifications, grade definitions and product status are available at: www.st.com. ECOPACK® is an ST trademark.

Figure 5. LGA-16: mechanical data and package dimensions



6 Revision history

Table 6. Document revision history

Date	Revision	Changes
04-Jun-2009	1	Initial release

Please Read Carefully:

Information in this document is provided solely in connection with ST products. STMicroelectronics NV and its subsidiaries ("ST") reserve the right to make changes, corrections, modifications or improvements, to this document, and the products and services described herein at any time, without notice.

All ST products are sold pursuant to ST's terms and conditions of sale.

Purchasers are solely responsible for the choice, selection and use of the ST products and services described herein, and ST assumes no liability whatsoever relating to the choice, selection or use of the ST products and services described herein.

No license, express or implied, by estoppel or otherwise, to any intellectual property rights is granted under this document. If any part of this document refers to any third party products or services it shall not be deemed a license grant by ST for the use of such third party products or services, or any intellectual property contained therein or considered as a warranty covering the use in any manner whatsoever of such third party products or services or any intellectual property contained therein.

UNLESS OTHERWISE SET FORTH IN ST'S TERMS AND CONDITIONS OF SALE ST DISCLAIMS ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTY WITH RESPECT TO THE USE AND/OR SALE OF ST PRODUCTS INCLUDING WITHOUT LIMITATION IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE (AND THEIR EQUIVALENTS UNDER THE LAWS OF ANY JURISDICTION), OR INFRINGEMENT OF ANY PATENT, COPYRIGHT OR OTHER INTELLECTUAL PROPERTY RIGHT.

UNLESS EXPRESSLY APPROVED IN WRITING BY AN AUTHORIZED ST REPRESENTATIVE, ST PRODUCTS ARE NOT RECOMMENDED, AUTHORIZED OR WARRANTED FOR USE IN MILITARY, AIR CRAFT, SPACE, LIFE SAVING, OR LIFE SUSTAINING APPLICATIONS, NOR IN PRODUCTS OR SYSTEMS WHERE FAILURE OR MALFUNCTION MAY RESULT IN PERSONAL INJURY, DEATH, OR SEVERE PROPERTY OR ENVIRONMENTAL DAMAGE. ST PRODUCTS WHICH ARE NOT SPECIFIED AS "AUTOMOTIVE GRADE" MAY ONLY BE USED IN AUTOMOTIVE APPLICATIONS AT USER'S OWN RISK.

Resale of ST products with provisions different from the statements and/or technical features set forth in this document shall immediately void any warranty granted by ST for the ST product or service described herein and shall not create or extend in any manner whatsoever, any liability of ST.

ST and the ST logo are trademarks or registered trademarks of ST in various countries.

Information in this document supersedes and replaces all information previously supplied.

The ST logo is a registered trademark of STMicroelectronics. All other names are the property of their respective owners.

© 2009 STMicroelectronics - All rights reserved

STMicroelectronics group of companies

Australia - Belgium - Brazil - Canada - China - Czech Republic - Finland - France - Germany - Hong Kong - India - Israel - Italy - Japan - Malaysia - Malta - Morocco - Philippines - Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - United Kingdom - United States of America

www.st.com