

Sensory w Aplikacjach Wbudowanych

Przegląd nowoczesnych czujników: 2- cz. żyroskopowe

dr hab. inż. Cezary Worek, prof. AGH

(na bazie materiałów dra inż. Wojciech Maziarz)

Wydział IET, Instytut Elektroniki

Kontakt: worek@agh.edu.pl

Przegląd czujników

Cz. 1

Czujniki pojemnościowe

Czujniki przyspieszenia (akcelerometry)

Cz. 2

Czujniki żyroskopowe

Cz. 3

Czujniki ciśnienia

Czujniki gazu

Mikrofony półprzewodnikowe

Czujniki magnetyczne

Czujniki żyroskopowe

Zastosowania:

- sterowniki poduszek powietrznych
- napinacze pasów bezpieczeństwa
- stabilizacja obrazu kamer i aparatów fotograficznych
- dyski pamięci – wykrywanie wstrząsów, upadku itd.
- telefon komórkowy, „mp4” - jako czujniki położenia (zmiana orientacji ekranu)
- robotyka, mechatronika
- systemy nawigacji na statkach (wyznaczanie kierunku północy)
- monitoring aktywności sportowców
- sterowane obiekty latające – stabilizacja lotu
- nie są używane w lotnictwie (za duże prędkości, konieczność korekt; używa się żyrokompasów)
- wykrycie obrotu samochodu w poślizgu
- podtrzymanie położenia w GPS po chwilowej utracie położenia

Żyroskop, giroskop -
gr. gyros - obrót, *skopeco* -
obserwować

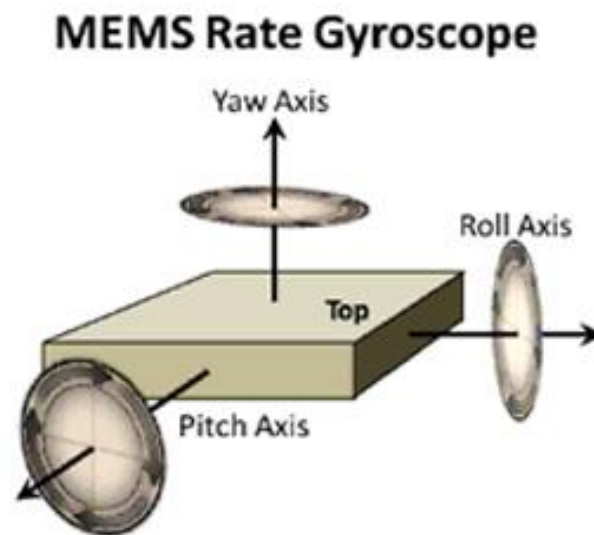
Czujniki żyroskopowe

- Używane do pomiaru położenia kąтового (prędkości kątowej).
- Zbudowane z grupy akcelerometrów, których wskazania przeliczane są na wartości prędkości kątowej (obrotu).

Obrót typowo mierzony w odniesieniu do jednej z 3 osi:

- odchylenia (*yaw*),
- przechylenia (*pitch*)
- pochylenia (*roll*).

Żyroskop z czułością w jednej osi można użyć też do pomiaru w innej osi – inny sposób montażu, np. ADXRS150 lub ADXRS300 (oś odchyłu staje się osią obrotu).



Jak to działa (prosto objaśniona teoria fizyczna):

<http://www.analog.com/library/analogdialogue/archives/37-03/gyro.html>

Czujniki żyroskopowe - przykład

Dane są 2 żyroskopy **jednoosiowe** (*yaw*):

A) ADXRS300 : $U_{FS}=1.5$ V, full-scale of $300^\circ/\text{s}$, sensitivity 5 mV/ $^\circ/\text{s}$.

B) ADXRS150: $U_{FS}=1,875$ V, full-scale of $150^\circ/\text{s}$, sensitivity 12.5 mV/ $^\circ/\text{s}$.

• Żyroskopy umieszczono na płycie obracającej się z prędkością $33 \frac{1}{3}$ obr/min.

Na wyjściu urządzeń pojawi się napięcie ~ do prędkości kątowej o wartości zależnej od czułości i zakresu, mierzone w mV/ stopień/sekundę, ale...

☐ teoretycznie: oba zmierzą stałą wartość kąta $= 360^\circ * 33,3 \text{ rpm} / 60 \text{ s} = 200^\circ/\text{s}$.

☐ żyroskop powinien mieć zakres pomiarowy co najmniej $200^\circ/\text{s}$

B: full scale $150^\circ/\text{s} \rightarrow$ nie da rady!

A: FS = $300^\circ/\text{s}$, $U_{wy} = 200^\circ/\text{s} * 5 \text{ mV}/^\circ/\text{s} = 1 \text{ V}$

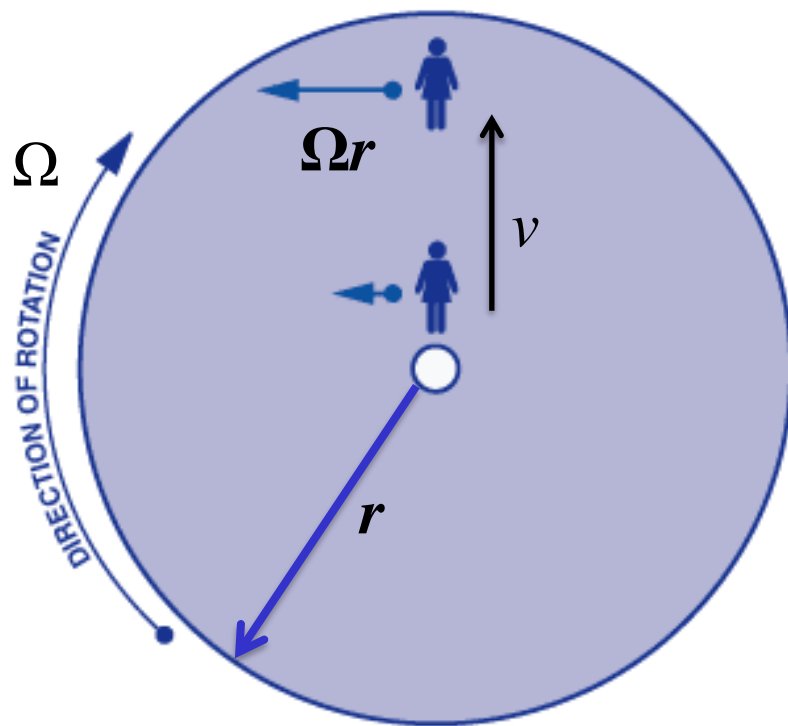
Zakres mierzonych prędkości kątowych zależy od zakresu U_{FS} i rozdzielczości:

Dla A: $1,5 \text{ V} / 0,005 \text{ V} = 300^\circ/\text{s}$



Czujniki żyroskopowe

Wykorzystanie efektu Coriolisa (matematyk francuski, 1792-1843)



Jeśli osoba przesuwa się w kierunku na zewnątrz płyty, jej prędkość (styczna) wzrasta w odniesieniu do ziemi (dłuższa strzałka).

Szybkość przyrostu tej prędkości stycznej Ωr , powodowana przez prędkość radialną v , to **przyśpieszenie *Coriolisa***.

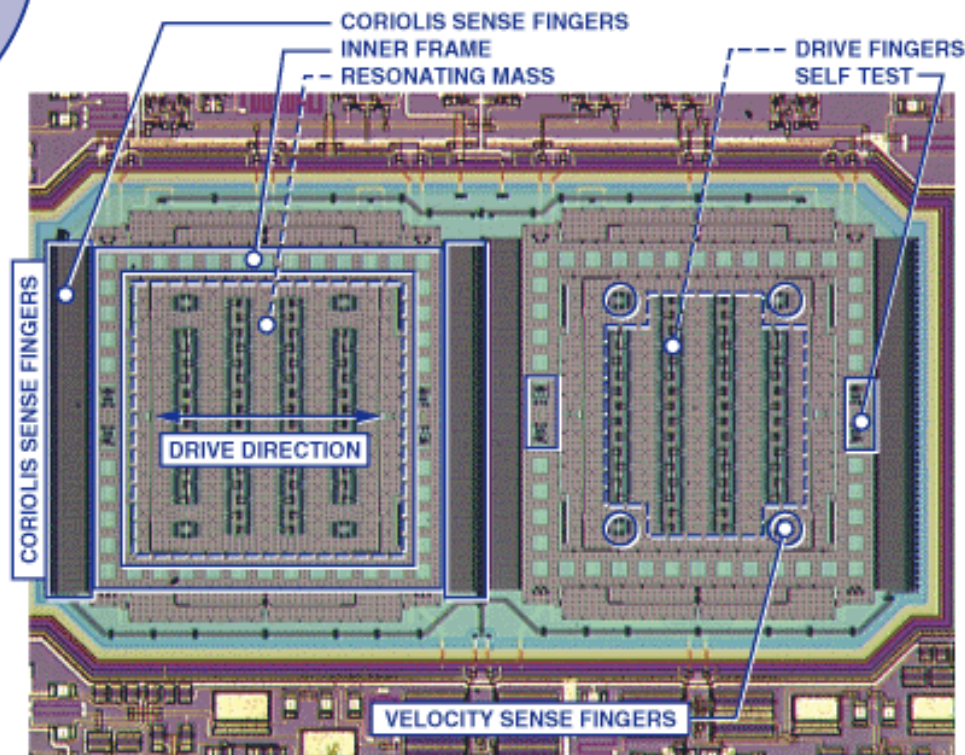
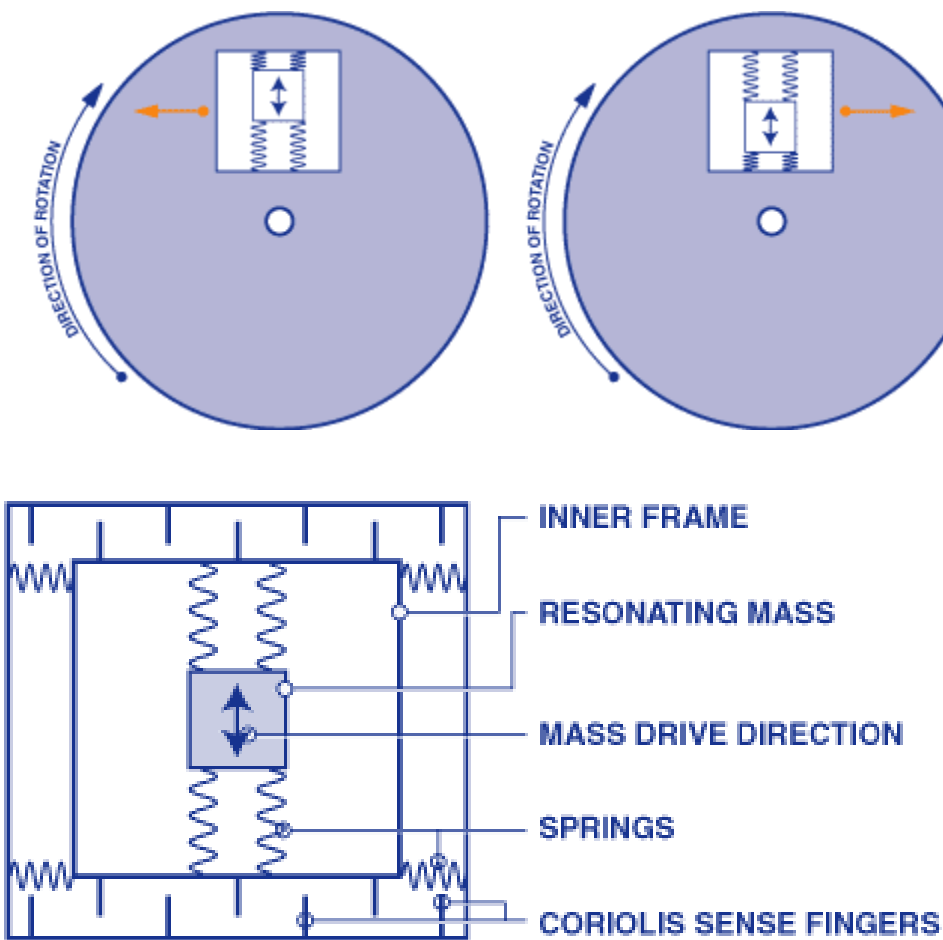
Całkowite przyśpieszenie Coriolisa: $2v\Omega$

Siła działająca na masę M : $F_C = 2Mv\Omega$

UWAGA: Ω i v to wektory, a $v\Omega = v \times \Omega$

Czujniki żyroskopowe

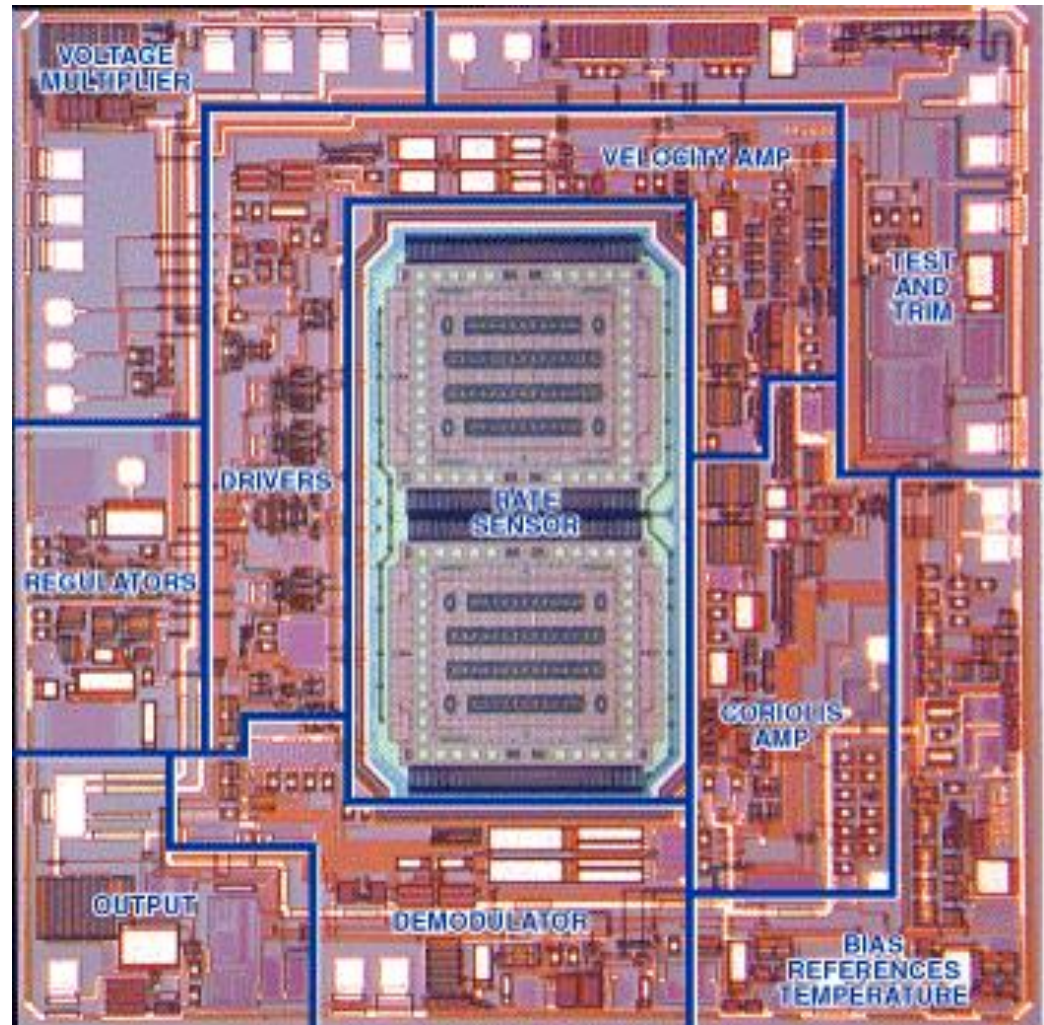
- Wykorzystanie efektu Coriolisa
- Układ z drgającą masą



Czujniki żyroskopowe

„The ADXRS gyro *electronics can resolve capacitance changes as small as $12 \times 10^{-21} F$ (12 zeptoF) from beam deflections as small as 0.00016 Angstroms (16 femtometers).*

The **only way** this can be utilized in a practical device is by **situating** the electronics, including amplifiers and filters, **on the same die** as the mechanical sensor. The differential signal alternates at the resonator frequency and can be extracted from the noise by correlation.”



Czujniki żyroskopowe

Efekt żyroskopowy - zdolność do utrzymywania orientacji w przestrzeni przez obracający się obiekt (bryłę).

Jest to możliwe dzięki zasadzie zachowania momentu pędu.

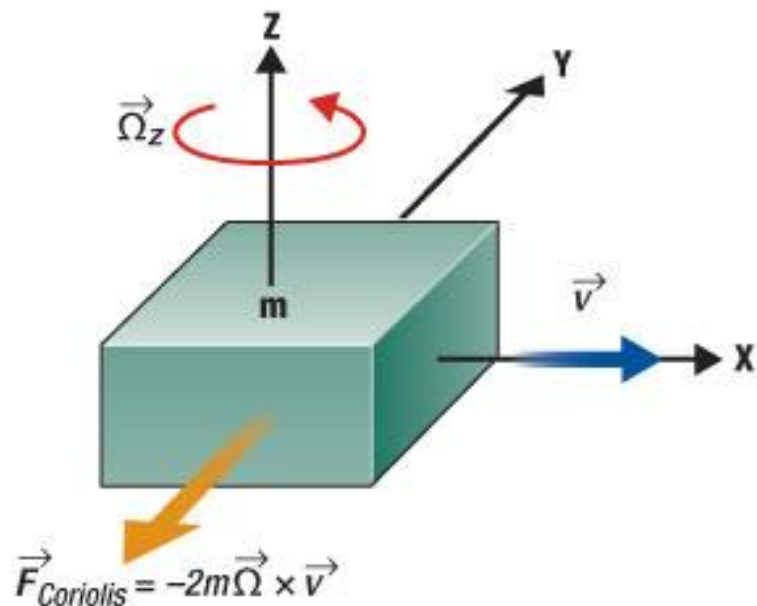
Żyroskop: bryła raz wprowadzona w szybki ruch obrotowy zachowuje swoje pierwotne położenie osi obrotu.

Niewielkie odchylenia są powodowane ruchami precesyjnymi, które są uwzględniane w określaniu kierunku. Odchylenia mogą być też tłumione.



Najprostszy
żyroskop -
bąk

Czujniki żyroskopowe

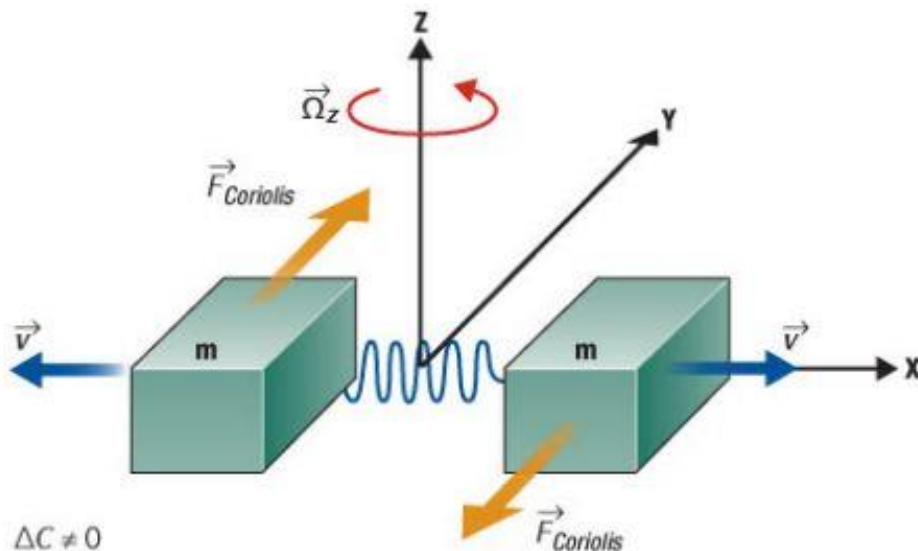


Efekt Coriolisa

- gdy masa m porusza się w kierunku $\vec{v} \rightarrow$ oraz występuje prędkość kątowa $\Omega_z \rightarrow$, na masę działa siła Coriolisa F_C .

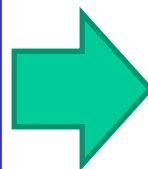
W żyroskopach MEMS wynikowe przemieszczenie masy przekłada się na zmianę pojemności.

Czujniki żyroskopowe



Gdy na masy działa przyspieszenie liniowe, przemieszczają się w tym samym kierunku.

Nie wystąpi więc różnicowa zmiana pojemności C . Brak też sygnału na wyjściu.



Większość żyroskopów pracuje w konfiguracji z **masa wibrującą**.

Dwie masy oscylują i przemieszczają się w przeciwnych kierunkach.

Gdy pojawi się prędkość kątowa, siły działające na każdą z mas działają w przeciwnych kierunkach, co powoduje zmianę C .

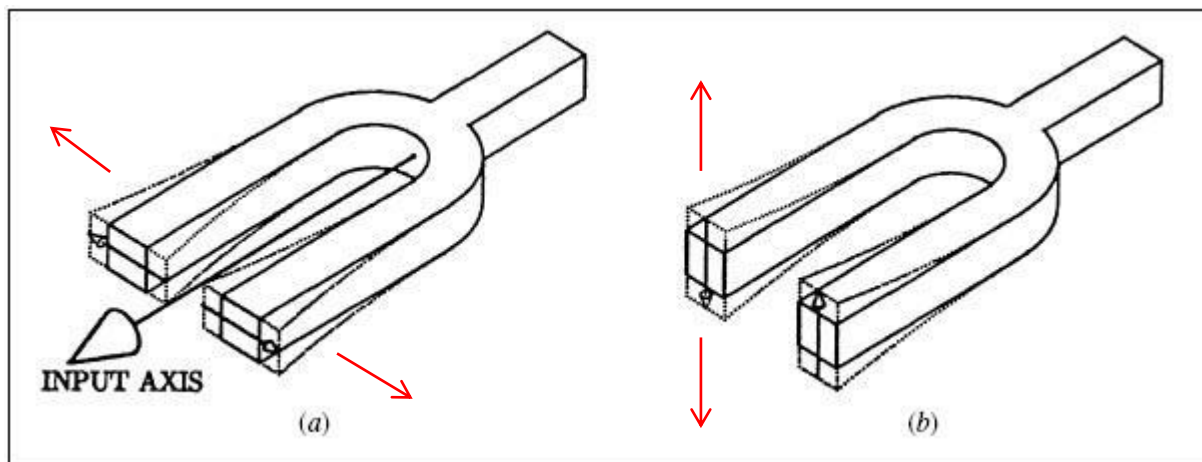
Zmiana $C \sim \Omega_z$

Sygnał jest dalej przetwarzany na napięcie (żyroskopy analogowe) lub sygnał cyfrowy (ż. cyfrowe).

Żyroskopy MEMS nie są czułe na przyspieszenie liniowe tj. pochylenie, wibracje, wstrząsy.

Czujniki żyroskopowe

Zasada działania żyroskopu w konfiguracji „kamertonu” (*tuning fork*).



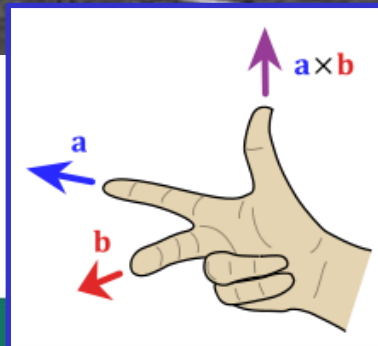
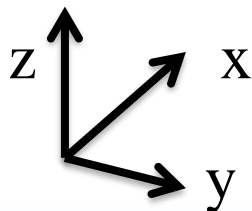
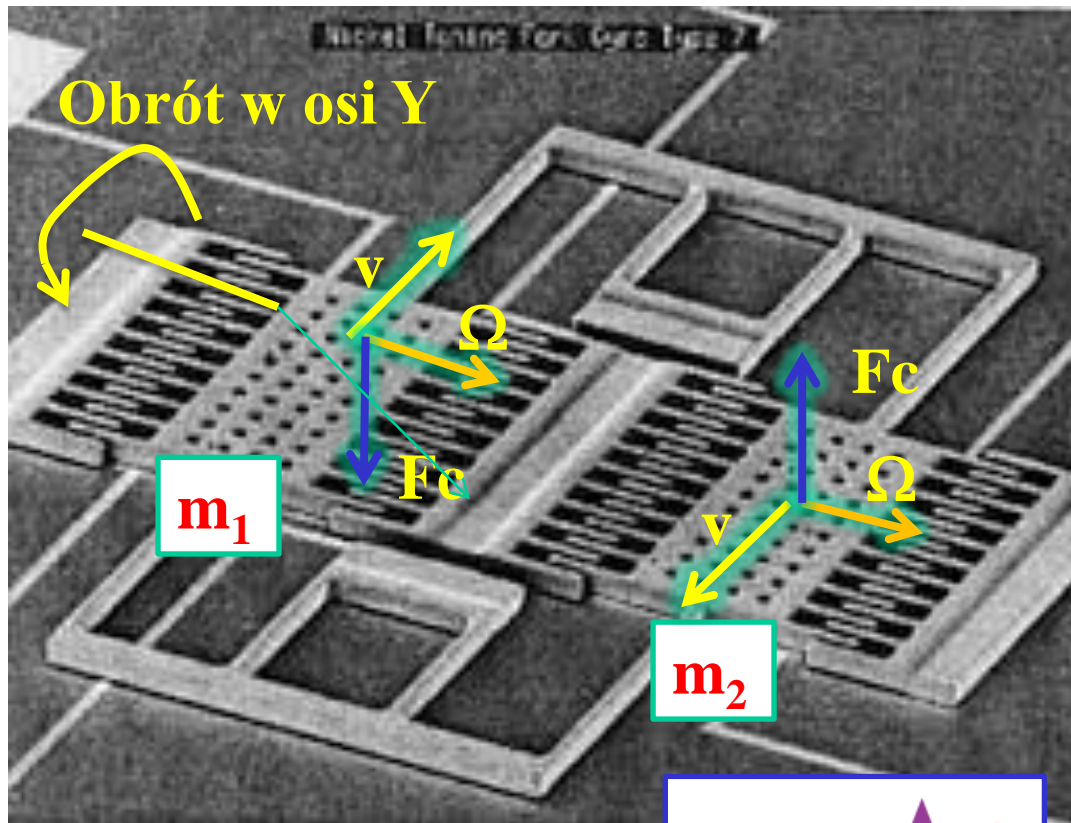
EWTS64N

Kamerton jest wprowadzany w drgania rezonansowe w płaszczyźnie (a). Podczas obrotu wokół osi (*input axis*) energia drgań przenosi się do trybu prostopadłego (b), poprzez działanie sił efektu Coriolisa.

Na takiej zasadzie działa np. żyroskop piezoelektryczny Panasonic **EWTS64N** (<http://www.datasheetarchive.com/dl/Datasheet-026/DSA00452226.pdf>).

Jest to krzemowy IC zamknięty w obudowie ceramicznej. Posiada funkcje autodiagnostyki, ale jest mniej zaawansowany.

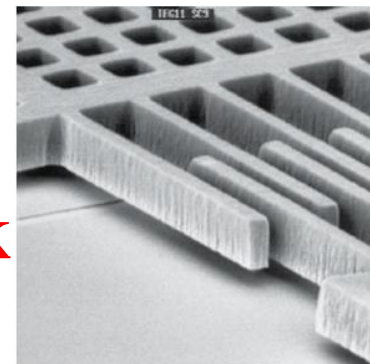
Czujnik żyroskopowy 1D – Draper Labs



Draper labs gyro
(1993)

<http://draper.com>

TUNING FORK



- Dwie masy m wibrujące w przeciwną stronę (w osi X) z prędkościami V
- obrót w osi Y
- powstaje prędkość kąтова Ω
- z reguły kciuka: siła F_c o zwrocie jak na rysunku i wartości $F_c = 2m V \times \Omega$
- odchylenie mas m w osi z \rightarrow zmiana pojemności $C1$ i $C2$

Akcelerometry - STMicroelectronics

Tab. 1. Zestawienie podstawowych cech i parametrów akcelerometrów produkowanych przez firmę STMicroelectronics

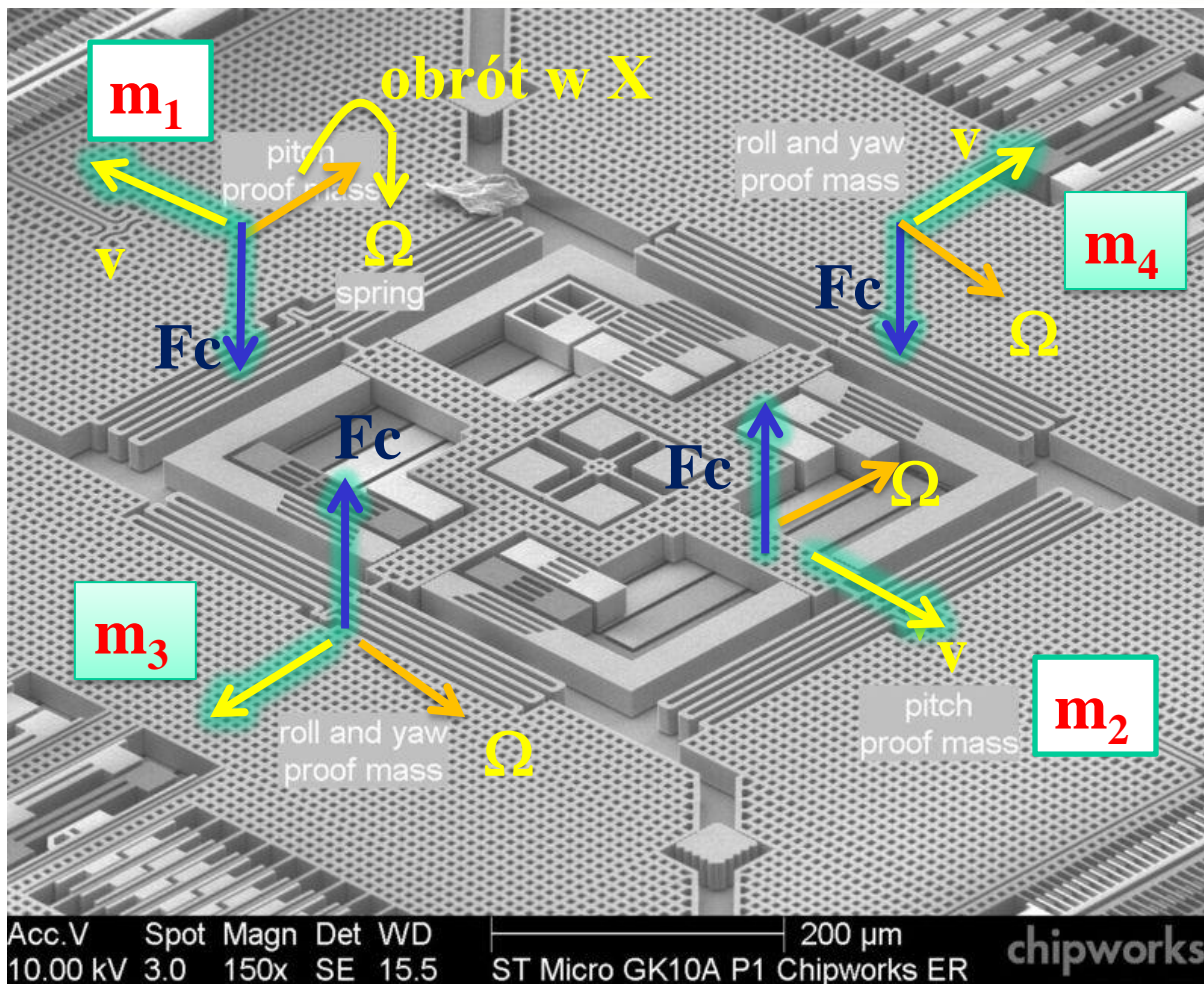
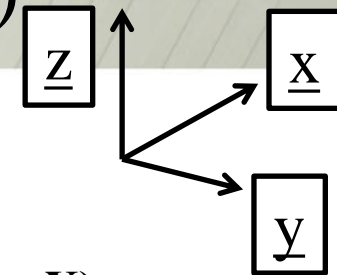
Typ	Obudowa	Osie czułości	Zakres [g]	Wyjście	Napięcie zasilania [V]	Pobór prądu [Ma]	Pasmo [Hz]
AIS326DQ	QFPN 28 7×7×1.9	X, Y, Z	±2;±6	Cyfrowe	3,3	0,67	640
AIS328DQ	QFN 24 4×4×1.8	X, Y, Z	±2;±4;±8	Cyfrowe	3,3	–	–
FC30	LGA 14 3×5×0.9	–	–	Cyfrowe	2,16	0,3	–
LIS2DH	LGA 14 2×2×1.0	X, Y, Z	±2;±4;±8;±16	Cyfrowe	2,5	0,011	2500
LIS2DM	LGA 14 2×2×1.0	X, Y, Z	±2;±4;±8;±16	Cyfrowe	2,5	0,006	2500
LIS302DL	LGA 14 3×5×0.9	X, Y, Z	±2;±8	Cyfrowe	2,5	0,3	200
LIS331DL	LLGA 16 3×3×1.0	X, Y, Z	±2;±8	Cyfrowe	2,5	0,3	200
LIS331DLH	LLGA 16 3×3×1.0	X, Y, Z	±2;±4;±8	Cyfrowe	2,5	0,25	500
LIS331DLM	LLGA 16 3×3×1.0	X, Y, Z	±2;±4;±8	Cyfrowe	2,5	0,25	200
LIS331HH	LLGA 16 3×3×1.0	X, Y, Z	±6;±12;±24	Cyfrowe	2,5	0,25	500
LIS332AR	LLGA 16 3×3×1.0	X, Y, Z	±2	Analogowe	3	0,3	2000
LIS332AX	LLGA 16 3×3×1.0	X, Y, Z	±2	Analogowe	3	0,3	2000
LIS33DE	LLGA 16 3×3×1.0	X, Y, Z	±2;±4;±8	Cyfrowe	2,5	0,3	200
LIS344ALH	LLGA 16 4×4×1.5	X, Y, Z	±2;±6	Analogowe	3,3	0,68	1.8
LIS352AR	LGA 14 3×5×0.9	X, Y, Z	±2	Analogowe	3,3	0,3	2000
LIS352AX	LGA 14 3×5×0.9	X, Y, Z	±2	Analogowe	3,3	0,3	2000
LIS35DE	LGA 14 3×5×0.9	X, Y, Z	±2;±8	Cyfrowe	2,5	0,3	200
LIS3DH	LLGA 16 3×3×1.0	X, Y, Z	±2;±4;±8;±16	Cyfrowe	2,5	0,011	2500
LIS3DSH	LLGA 16 3×3×1.0	X, Y, Z	±2;±4;±6;±8;±16	Cyfrowe	2,5	0,25	–
LIS3LV02DL	LGA 16 4.4×7.5×1.0	X, Y, Z	±2;±6	Cyfrowe	3,3	0,65	640

Czujniki żyroskopowe - STMicroelectronics

Tab. 2. Zestawienie podstawowych cech i parametrów żyroskopów produkowanych przez firmę STMicroelectronics

Typ	Obudowa	Osie czułości	Prędkość kątowna (FS) [°/s]	Wyjście	Napięcie zasilania [V]	Pobór prądu [mA]	Pasmo [Hz]	Czułość kątowna [m°/s/d]
L3G3200D	TFLGA 3×3.5×1 16L	Yaw, pitch, roll	2000	Cyfrowe	3	6,1	—	—
L3G4200D	LGA 16 4×4×1.1	Yaw, pitch, roll	2000	Cyfrowe	3	6,1	—	—
L3G462A	LGA 16 4×4×1.1	Yaw, pitch, roll	625	Analogowe	3	6,9	—	2
L3GD20	LGA 16 4×4×1.1	Yaw, pitch, roll	—	Cyfrowe	3	6,1	—	—
LPR403AL	LGA 28 4×5×1.1	Pitch, roll	30	Analogowe	3	6,8	140	33,3
LPR410AL	LGA 28 4×5×1.1	Pitch, roll	100	Analogowe	3	6,8	140	10
LPR4150AL	LGA 28 4×5×1.1	Pitch, roll	1500	Analogowe	3	6,8	140	0,67
LPR430AL	LGA 28 4×5×1.1	Pitch, roll	300	Analogowe	3	6,8	140	3,33
LPR450AL	LGA 28 4×5×1.1	Pitch, roll	500	Analogowe	3	6,8	140	2
LPY403AL	LGA 28 4×5×1.1	Pitch, yaw	30	Analogowe	3	6,8	140	33,3
LPY410AL	LGA 28 4×5×1.1	pitch, yaw	100	Analogowe	3	6,8	560	10
LPY4150AL	LGA 28 4×5×1.1	pitch, yaw	1500	Analogowe	3	6,8	140	0,67
LPY430AL	LGA 28 4×5×1.1	pitch, yaw	300	Analogowe	3	6,8	140	3,33
LPY450AL	LGA 28 4×5×1.1	pitch, yaw	500	Analogowe	3	6,8	140	2
LY3100ALH	LGA 10 3×5×1.1	yaw	1000	Analogowe	3	4,2	140	1,1
LY3200ALH	LGA 10 3×5×1.1	yaw	2000	Analogowe	3	4,2	140	0,67
LY330ALH	LGA 10 3×5×1.1	yaw	300	Analogowe	3	4,2	140	3,752

Czujnik żyroskopowy 3D – ST Micro L3G4200D, (m.in. w iPhone 4)



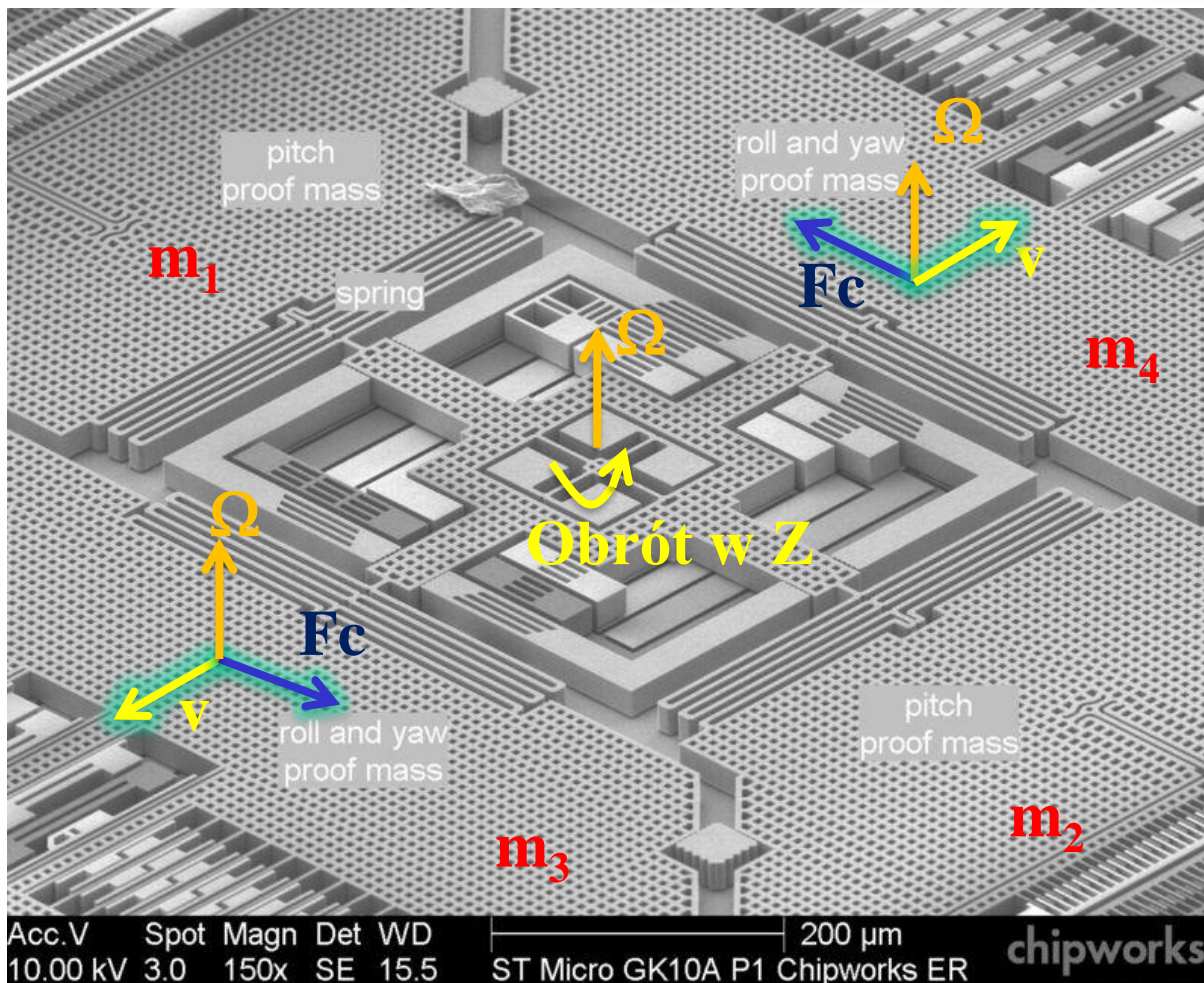
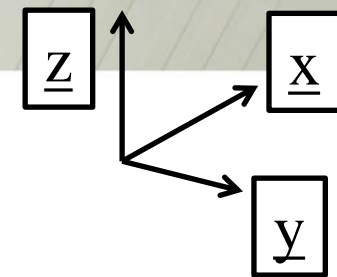
PITCH (obróć w X)

- 2 masy m_1 i m_2 wibrują w przeciwną stronę (w osi Y) z prędkościami V
- obróć w osi X
- powstaje prędkość kątowna Ω
- z reguły kciuka: siła F_c o zwrocie jak na rysunku i wartości $F_c = 2m V \times \Omega$
- odchylenie mas m w osi z → zmiana pojemności C1 i C2

ROLL (obróć w Y)

- masy m_3 i m_4
- wibracja w osi X

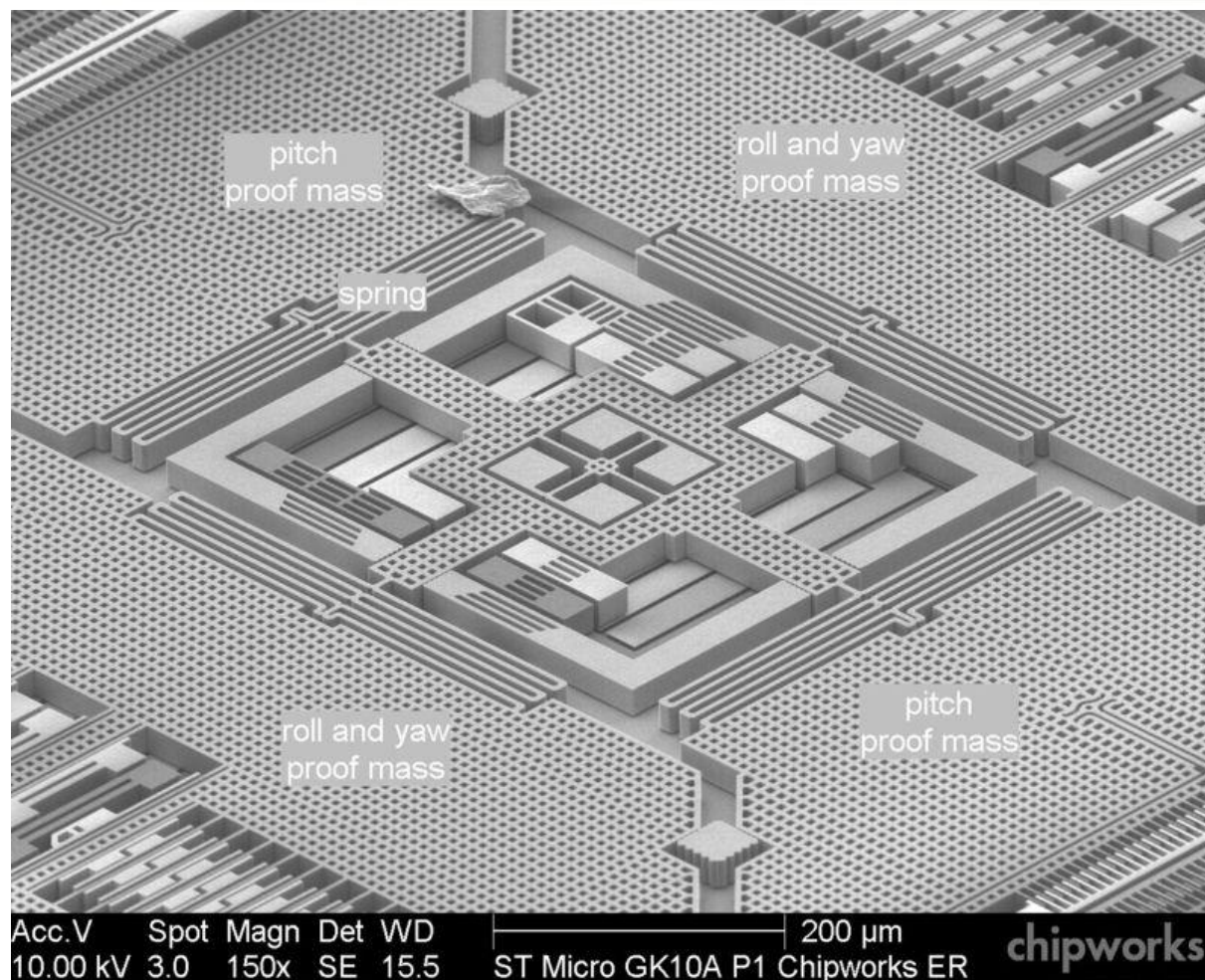
Czujnik żyroskopowy 3D – St Micro (L3G4200D)



YAW – obrót w osi Z

- do pomiaru wykorzystane masy m_3 i m_4 wibrujące w osi X
- te same masy wykorzystuje się do pomiaru ROLL
- obrót wokół osi Z przemieszcza ww. masy w poziomie
- pomiar pojemnościowy – kondensatory różnicowe C5 i C6 („palce”)

Czujniki żyroskopowe - L3G4200D



Ważniejsze parametry:

- regul. zakres (250/500/2000 dps)
 - interfejs I²C/SPI
 - wyjście danych : 16 bitów
 - wyjście temp.: 8-bitów
 - 2 linie wyj.:
- (interrupt and data ready)
- zintegrowane filtry DP i GP z programowanym pasmem
 - bardzo stabilne wskazania w czasie i temp. (kondycjonowane wewnętrznie)
 - zasilanie 2.4 V do 3.6 V
 - kompatybilne z IOs (1.8 V)

Wbudowane:

- tryby *power-down* i *sleep*
- czujnik temp.
- FIFO

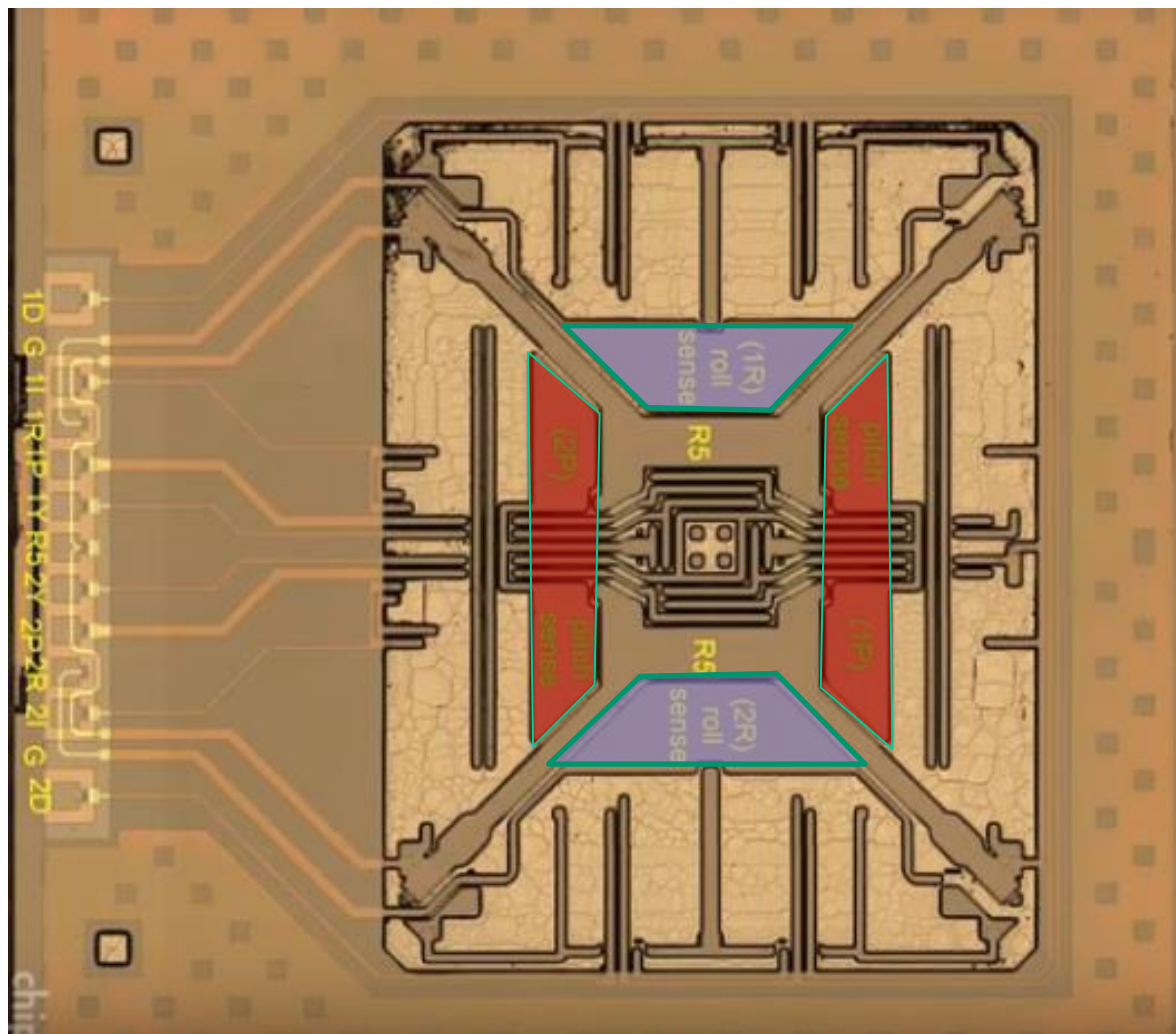
Wnętrze żyroskopu MEMS typu L3G4200D (ST).

Czujniki żyroskopowe - L3G4200D

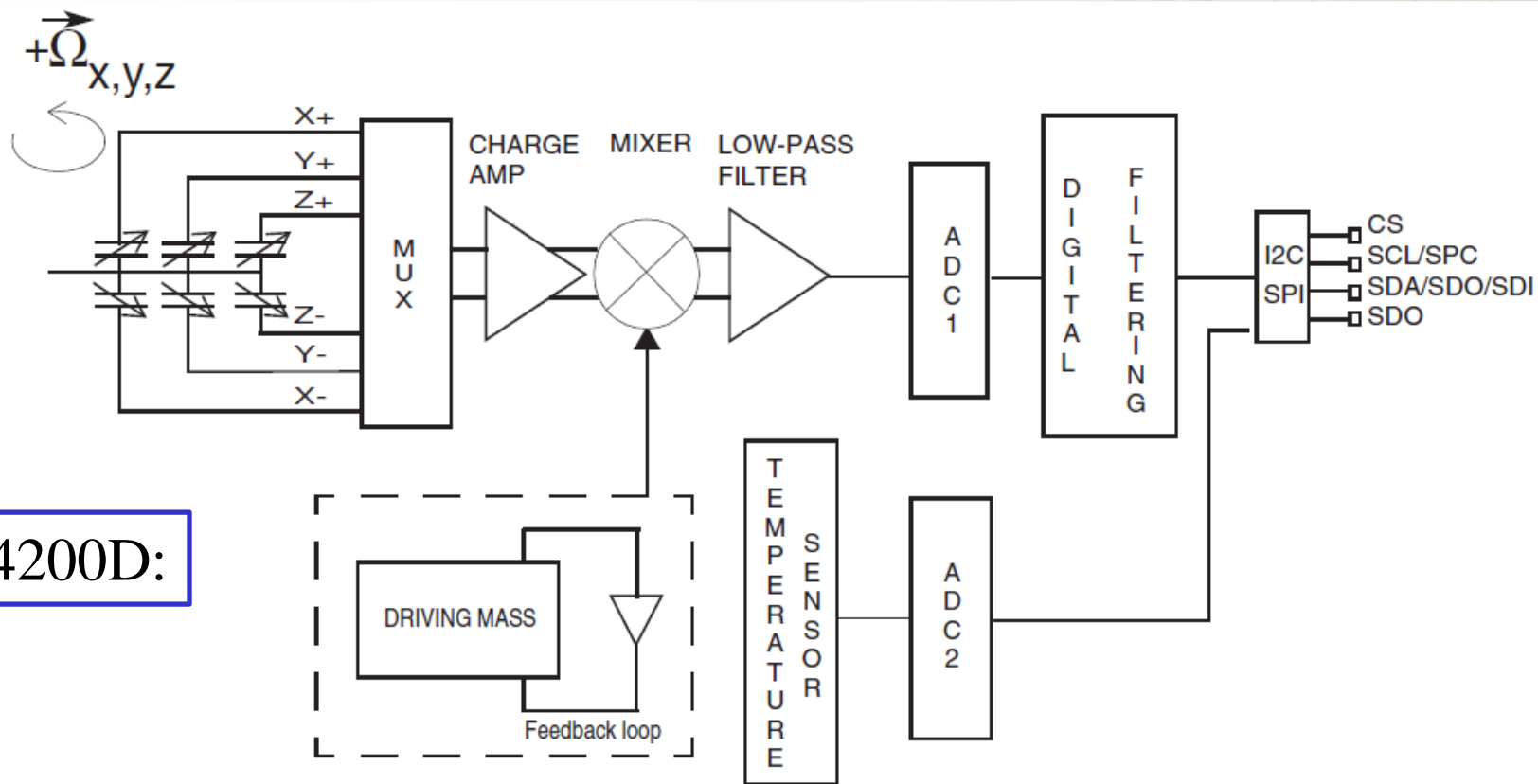
Dolna część – widoczne
powierzchnie stanowiące
kondensatory

C1, C2 (pitch),

C3, C4 (roll)



Czujniki żyroskopowe



L3G4200D:

REFERENCE

TRIMMING
CIRCUITS

FIFO

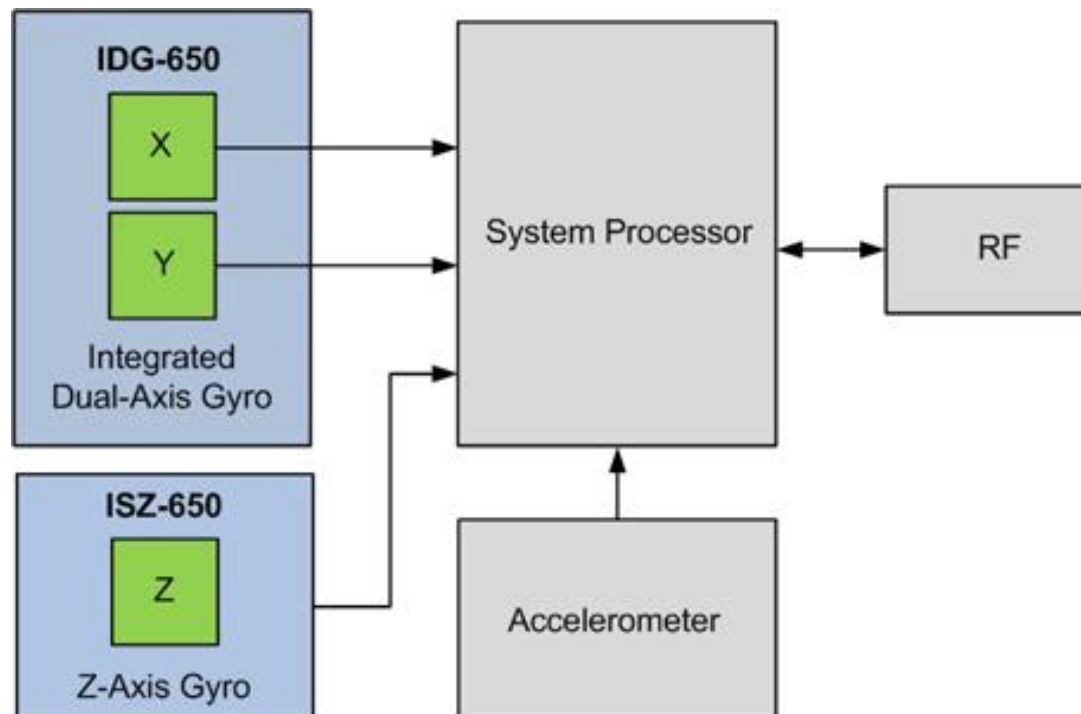
CLOCK
&
PHASE GENERATOR

CONTROL LOGIC
&
INTERRUPT GEN.

INT1

DRDY/INT2

Czujniki żyroskopowe



Schemat blokowy typowego kontrolera gier

Czujniki żyroskopowe

Co lepsze – akcelerometr czy żyroskop?

Wyłącznie akcelerometr, gdy:

- aplikacje z ustalonym odniesieniem do przyspieszenia ziemskiego, np. przemieszczenie liniowe, przechył; przy ograniczonym obrocie

Wyłącznie żyroskop, gdy:

- detekcja obrotu z dużą szybkością ORAZ dokładnością

Oba są potrzebne, o ile potrzeba znać przyspieszenie kątowe i liniowe (często w 3 osiach).

Czujniki żyroskopowe

Jednoczesne użycie akcelerometru i żyroskopu

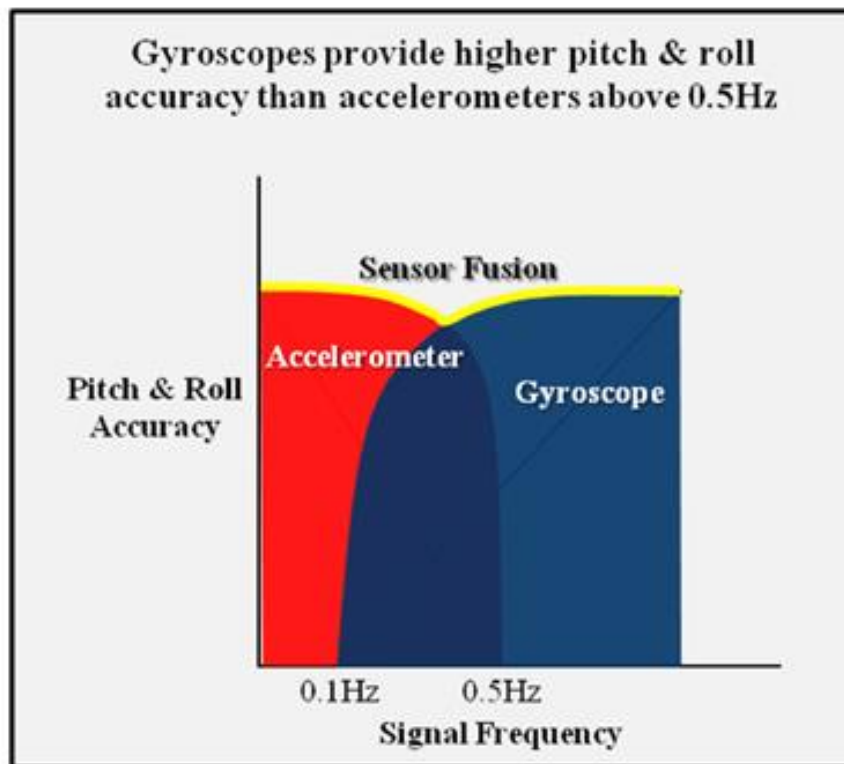


Figure 3: Sensor Fusion algorithms combine accelerometer and gyroscope data to cover a wider signal frequency range of motions.

Czujniki żyroskopowe

Wybór konkretnego czujnika zależy od zastosowania.

Opiera się na analizie wielu czynników, takich jak:

- Zakres pracy
- Czułość
- Offset,
- Kalibracja
- Szumy
- Czułość skrośna
- Wpływ efektów temperaturowych
- Odporność na narażenia

Czujniki żyroskopowe

1. W zależności od zastosowania, aby osiągnąć maks. funkcjonalność:
 - różne częstotliwości próbkowania
 - konieczność stosowania antyaliasingu w celu zapewnienia dokładności → filtry DP dobrane do aplikacji
2. Zachowanie poprawnych zależności czasowych jest kluczowe podczas obliczeń przeprowadzanych na danych z żyroskopu (np. całkowania).
3. Synchroniczne próbkowanie sygnałów akcelerometru i żyroskopu zapewnia precyzyjną informację o koordynatach.
4. Częstotliwości wewnętrzne żyroskopu (*the drive, sense and harmonic frequencies*) muszą być odpowiednio dobrane, by nie interferować ze sobą i z niczym na zewnątrz.

Typical Application	Gyro Sensitivity	Gyro Full Scale Range (FSR)
Image Stabilization	20 to 50 mV/dps	20 to 43 dps
Navigation	4 to 15 mV/dps	50 to 67 dps
3-D Remote Control	2.0 mV/dps	500 dps
Game Controller	0.5 mV/dps	2,000 dps

Analogowe: mV/dps; cyfrowe: LSB/dps

Czujniki żyroskopowe

Filtracja:

-konieczna, bo szum i pasmo zależą od siebie

Filtracja analogowa:

Za pomocą filtra antyaliasingowego przetwornika A/C lub obwodu RC.

Filtracja cyfrowa:

Za pomocą DSP po ADC. Filtr analogowy antyaliasingowy ZAWSZE wymagany.

Zalecane:

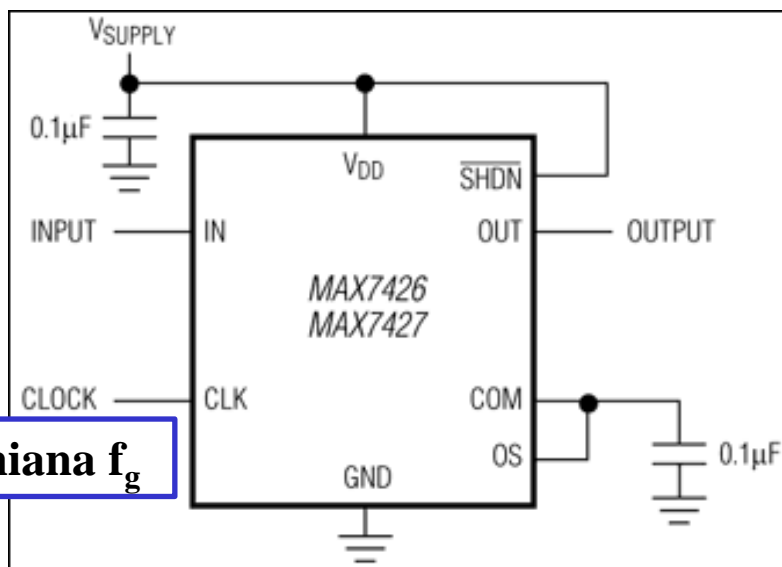
Najpierw filtr analogowy (szersze pasmo), potem cyfrowy o programowalnym paśmie (w zależności od aplikacji).

Czujniki żyroskopowe

Przykład: filtr MAX7426 –filtr eliptyczny DP 5 rzędu, typu C-przełączane.

Ma możliwość regulacji f_g za pomocą sygnału zewnętrznego (zmiana f).

Można podłączyć uC do linii CLK i programowo dopasować ch-kę filtru.



Zasilanie:

+5 V (MAX7426)

+3 V (MAX7427)

Pobór prądu: 0.8 mA

Częst. graniczna: 1 Hz to 12 kHz

„...ideal for low-power post-DAC filtering and anti-aliasing applications.

They can be put into a low-power mode, reducing supply current to 0.2µA.”

Dwa tryby pracy:

- praca z wewn. taktowaniem – dołączona zewnętrzna pojemność
- praca z zewn. sygnałem CLK – precyzyjna kontrola częst. odcięcia

Możliwość ustawienia skł. stałej napięcia na wyjściu (*offset-adjust pin*).

Czujniki żyroskopowe

Różna wymagana szerokość pasma w urz. mobilnych: gry, stabilizacja obrazu aparatu, interfejs użytkownika, nawigacja itp.
→ konieczność jego przestrajania.

Przykład:

Wymagania na różne pasmo:

- jeśli szybkie ruchy w grze (gra akcji) – pasmo szersze
(np. zmiany „g” do 10 Hz \rightarrow $f_s = 200$ Hz \rightarrow filtr DP na $f_s/2=100$ Hz)
- jeśli aplikacja „statyczna” (rysowanie, wybieranie opcji na ekranie)
– konieczna większa dokładność kosztem węższego pasma
(np. dla navi:
zmiany „g” do 1 Hz \rightarrow $f_s = 10$ Hz \rightarrow filtr DP na $f_s/2= 5$ Hz)

Czujniki żyroskopowe

Non-Integrated 6-Axis Motion Processing Solution

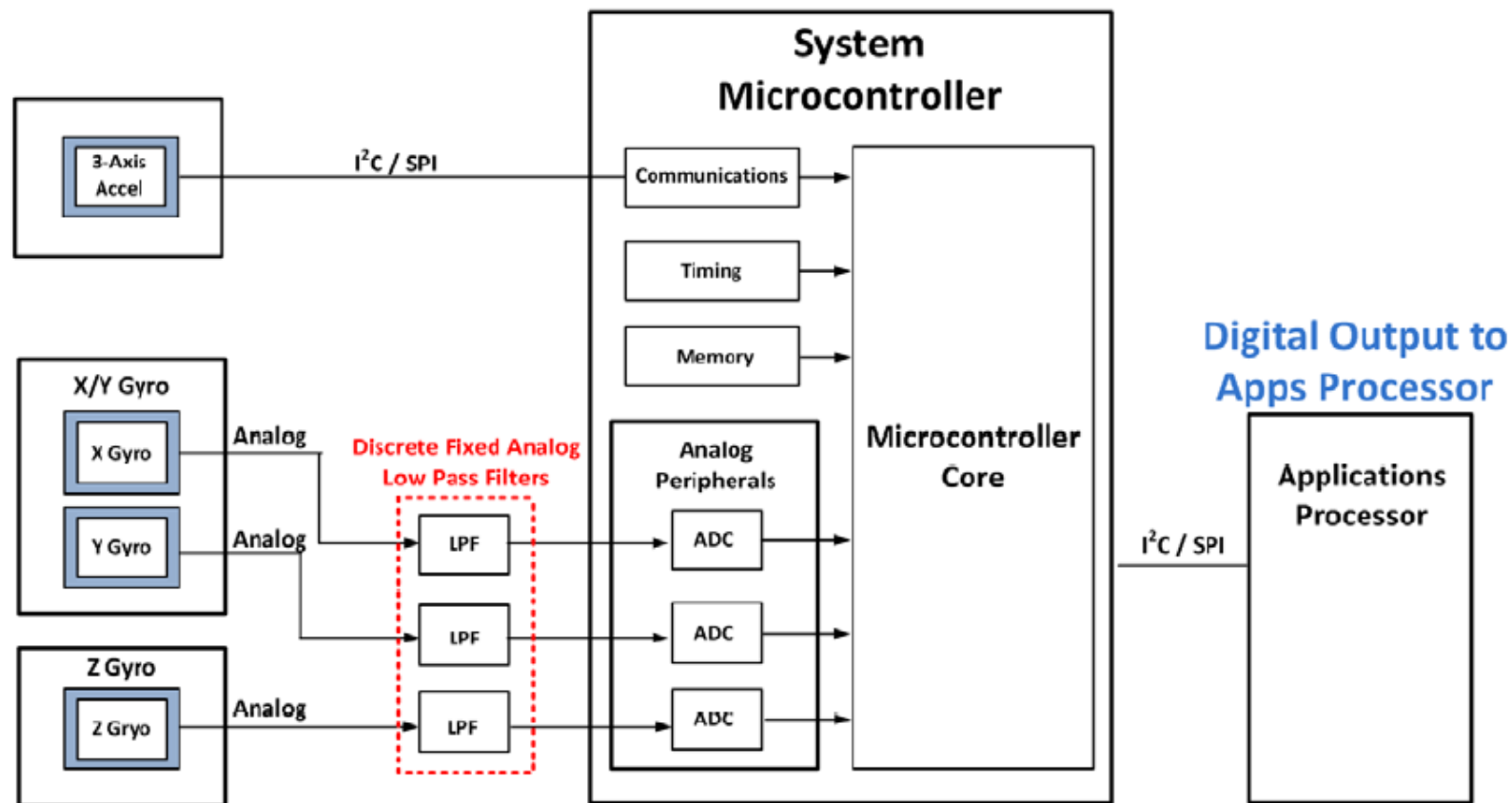


Figure 4: Non-integrated solutions using disparate motion sensors requires signal conditioning with discrete fixed functionality.

Czujniki żyroskopowe

InvenSense Integrated 6-Axis Motion Processing Solution

Triple Axis Digital Accel with Analog Inputs and Temp Sensor

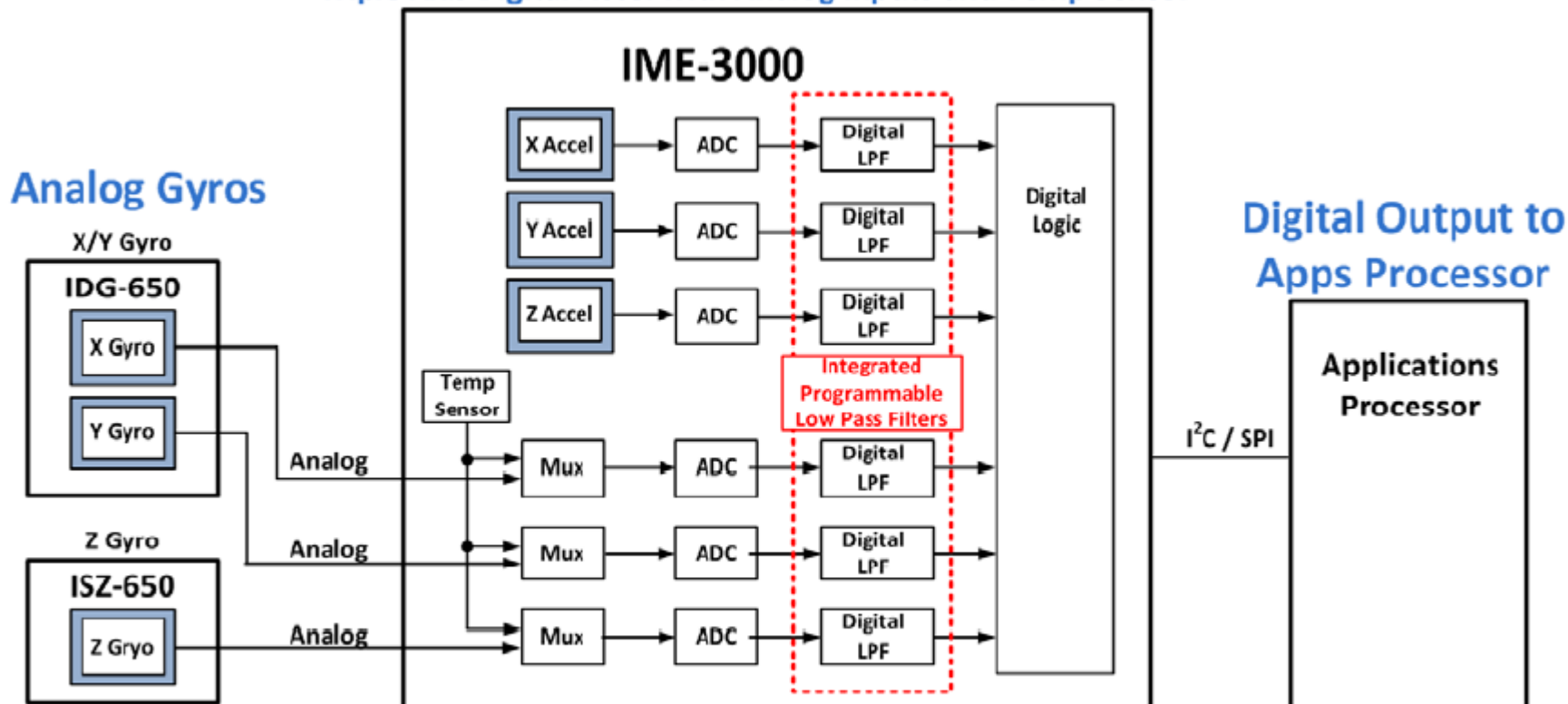
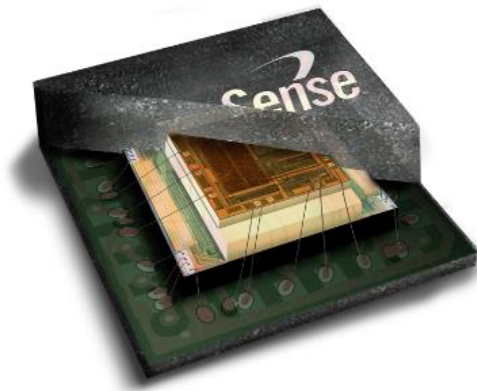


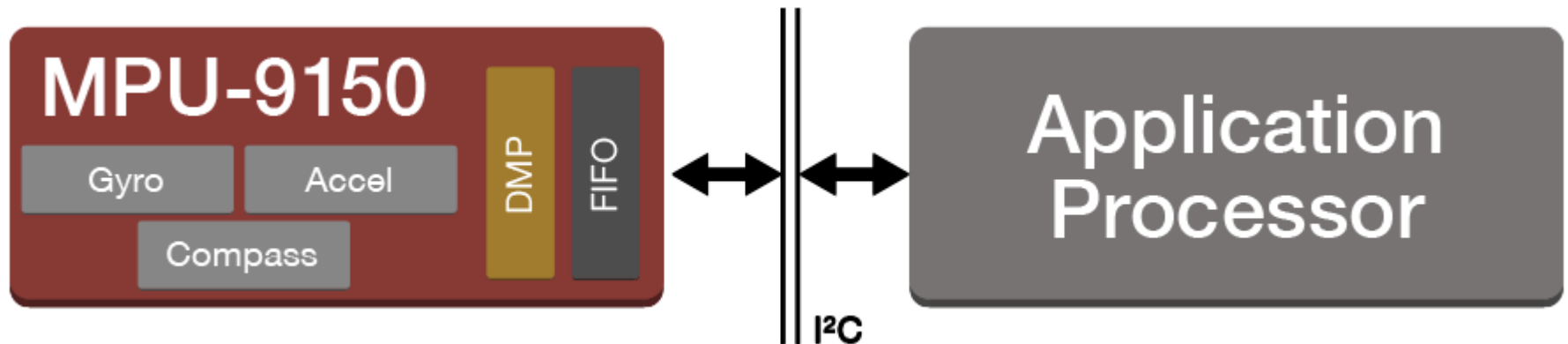
Figure 5: An integrated motion processing solution with programmable signal conditioning eliminates the need for fixed frequency external low pass filters.

Czujniki wielofunkcyjne - ICM-20948 (MPU 9150)

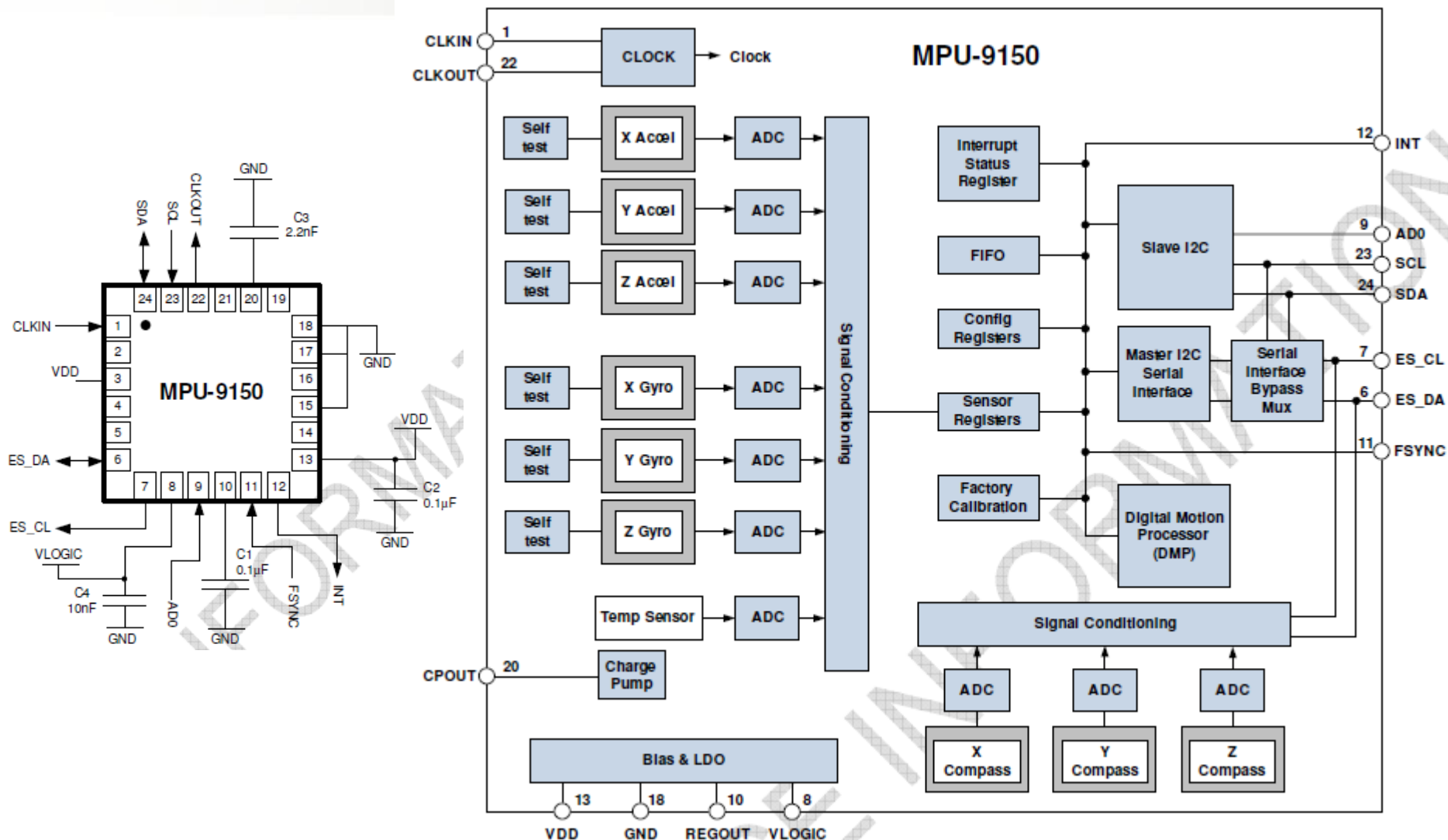
InvenSense Nine Axis Gyroscope + Accelerometer + Compass with
Embedded Digital Motion Processor (DMP)



- „Wszystkomający”
- Drogi (~90 zł w Kamami.pl)



Czujniki wielofunkcyjne - MPU 9150



Czujniki wielofunkcyjne – MPU 9150

- Digital-output 9-axis MotionFusion data in rotation matrix, quaternion, Euler Angle, or raw data format
- Tri-Axis **angular rate sensor** (gyro) with a sensitivity up to 131 LSBs/dps and a full-scale range of ± 250 , ± 500 , ± 1000 , and ± 2000 dps
- Tri-Axis **accelerometer** with a programmable full scale range of $\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$ and $\pm 16g$
- Tri-axis **compass** with a full scale range of $\pm 1200\mu T$
- **Reduced settling effects and sensor drift** by elimination of board-level cross-axis alignment errors between accelerometer, gyroscope, and compass
- Digital Motion Processing™ (DMP™) engine offloads complex MotionFusion, sensor timing synchronization and **gesture detection**
- **MotionApps™ Platform support for Android, Linux, and Windows**
- **Embedded algorithms for run-time bias and compass calibration.** No user intervention required
- Digital-output **temperature sensor**
- Digital input on FSYNC pin to support video Electronic Image Stabilization and GPS
- Programmable interrupt supports **gesture recognition, panning, zooming, scrolling, tap detection, and shake detection**
- VDD Supply voltage range of 2.4V–3.46V; VLOGIC of 1.8V $\pm 5\%$ or VDD
- Gyro operating current: 3.6mA (full power, gyro at all rates)
- Gyro + Accel operating current: 3.8mA (full power, gyro at all rates, accel at 1kHz sample rate)
- Gyro + Accel + Compass + DMP operating current: 4.25mA (full power, gyro at all rates, accel at 1kHz sample rate, compass at 8Hz rate)
- Accel low power mode operating current: 10 μA at 1Hz, 20 μA at 5Hz, 70 μA at 20Hz, 140 μA at 40Hz
- Full Chip **Idle Mode Supply Current: 8 μA**
- 400 kHz Fast Mode I²C serial host interface
- On-chip timing generator with $\pm 1\%$ frequency variation over full temperature range
- User self test , **10,000g shock tolerant** , Smallest and thinnest package for portable devices (4x4x1mm)

Czujniki wielofunkcyjne - ICM-20948

World's Lowest Power 9-Axis MEMS MotionTracking™ Device

TYPICAL OPERATING CIRCUIT

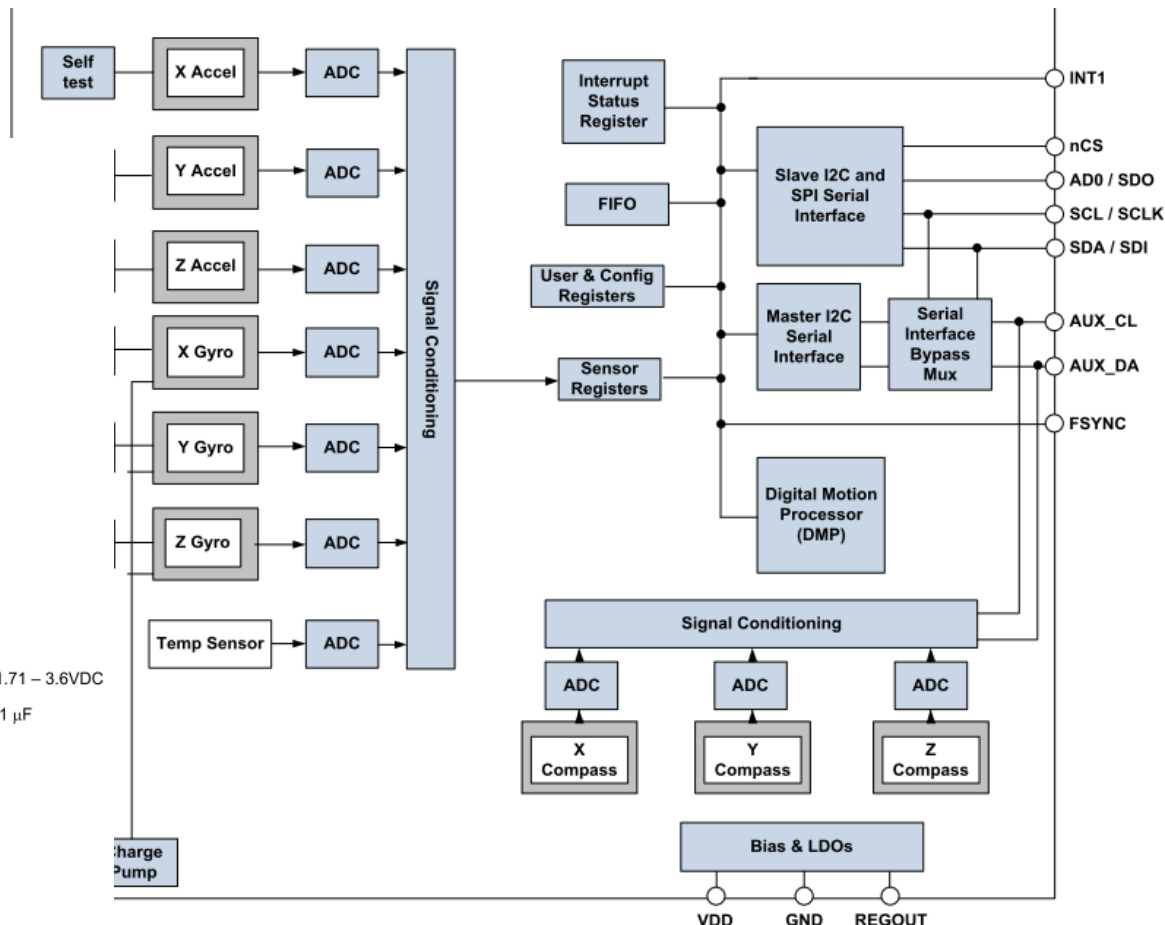
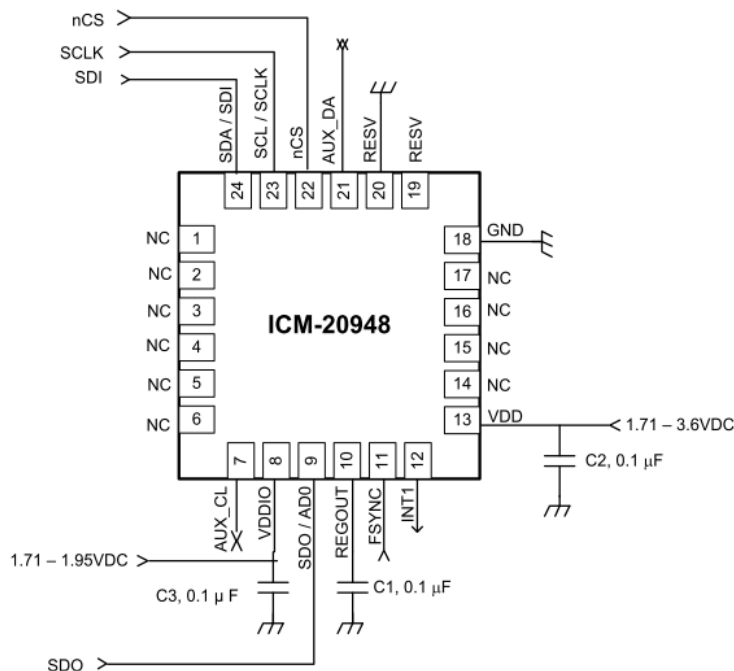


Figure 5. ICM-20948 Block Diagram



Czujniki wielofunkcyjne - ICM-20948

World's Lowest Power 9-Axis MEMS MotionTracking™ Device

The ICM-20948 is the world's lowest power 9-axis MotionTracking device that is ideally suited for Smartphones, Tablets, Wearable Sensors, and IoT applications.

- 3-axis gyroscope, 3-axis accelerometer, 3-axis compass, and a Digital Motion Processor™ (DMPTM) in a 3 mm x 3 mm x 1 mm (24-pin QFN) package
- DMP offloads computation of motion processing algorithms from the host processor, improving system power performance
- Software drivers are fully compliant with Google's latest Android release
- EIS FSYNC support

ICM-20948 supports an auxiliary I2C interface to external sensors, on-chip 16-bit ADCs, programmable digital filters, an embedded temperature sensor, and programmable interrupts. The device features an operating voltage range down to 1.71V. Communication ports include I2C and high speed SPI at 7 MHz.



Czujniki wielofunkcyjne - ICM-20948

APPLICATIONS

- Smartphones and Tablets
- Wearable Sensors
- IoT Applications

FEATURES

- Lowest Power 9-Axis Device at 2.5 mW
- 3-Axis Gyroscope with Programmable FSR of ± 250 dps, ± 500 dps, ± 1000 dps, and ± 2000 dps
- 3-Axis Accelerometer with Programmable FSR of $\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$, and $\pm 16g$
- 3-Axis Compass with a wide range to $\pm 4900 \mu T$
- Onboard Digital Motion Processor (DMP)
- Android support
- Auxiliary I2C interface for external sensors
- On-Chip 16-bit ADCs and Programmable Filters
- 7 MHz SPI or 400 kHz Fast Mode I²C
- Digital-output temperature sensor
- VDD operating range of 1.71V to 3.6V
- MEMS structure hermetically sealed and bonded at wafer level
- RoHS and Green compliant

Czujniki wielofunkcyjne – ADIS 164xx

FEATURES

Dynamic angle outputs

Quaternion, Euler, rotation matrix

0.1° (pitch, roll) and 0.3° (yaw) static accuracy

Triaxial, digital gyroscope, $\pm 450^\circ/\text{sec}$ dynamic range

$< \pm 0.05^\circ$ orthogonal alignment

6°/hr in-run bias stability

0.3°/√hr angular random walk

0.01% nonlinearity

Triaxial, digital accelerometer, $\pm 10 g$

Triaxial, delta angle and delta velocity outputs

Triaxial, digital magnetometer, ± 2.5 gauss

Digital pressure sensor, 300 mbar to 1100 mbar

Adaptive extended Kalman filter

Automatic covariance computation

Programmable reference reorientation

Programmable sensor disturbance levels

Configurable event-driven controls

Factory-calibrated sensitivity, bias, and axial alignment

Calibration temperature range: -40°C to $+70^\circ\text{C}$

SPI-compatible serial interface

Programmable operation and control

4 FIR filter banks, 120 configurable taps

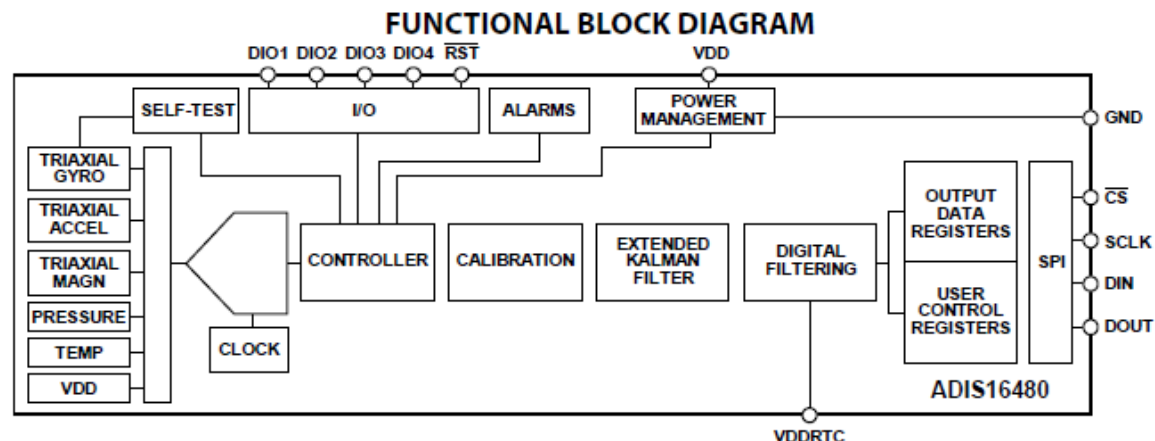
Digital I/O: data-ready alarm indicator, external clock

Optional external sample clock input: up to 2.4 kHz

Single-command self-test

Single-supply operation: 3.0 V to 3.6 V

2000 g shock survivability



Mouser: 9 528,47 zł

Źródła informacji

- **New iMEMS® Angular-Rate-Sensing Gyroscope :**

<http://www.analog.com/library/analogdialogue/archives/37-03/gyro.pdf>

www.findmems.com

Przykładowe projekty dla czujników MEMS z uC (dokładne opisy, kod źródłowy do pobrania):

www.STM32.eu (na mikrokontrolery STM32)

www.KINETIS.pl (na mikrokontrolery Kinetis)

Prosto opisane (i fajnie) z przykładem programowania, kalibracji itd.:

<http://starter-kit.nettigo.pl/2012/02/akcelerometry-zyroskopy-i-kompasy-czyli-badanie-polozenia-z-arduino-cz-1/>

Dobrze wyjaśniona zasada działania żyroskopów MEMS:

<https://www.youtube.com/watch?v=5BWerr7rJmU>

Czujniki wielkości mechanicznych - źródła

- J.W. Gardner, V.K. Varadan, O.O. Awadelkarim, *Microsensors, MEMS and Smart Devices*, John Wiley & Sons, LTD, 2001
- W. Göpel, J. Hesse, J.N. Zemel, *Sensors – A Comprehensive Survey*, VCH Verlagsgesellschaft mbH, 1989
- Piezoelectric sensors: http://www.piezocryst.com/piezoelectric_sensors.php
- Accelerometry: <http://www.iaa.ncku.edu.tw/~aeromems/MEMSDesign/Ch7.pdf>
- How does a piezo accel work:
<http://www.mastec.co.nz/Dataforth/PDFs/How%20does%20a%20piezo%20accel%20work.pdf>
- An Introduction to Microelectromechanical Systems Engineering:
<http://www.scribd.com/doc/47418045/An-Introduction-to-MEMs-Engineering-Nadim-Maluf-and-Kirt-Williams>
- Źródło: **Piezoelectric Accelerometers**, Theory and Application ,
<http://www.gracey.com/downloads/accelerometers.pdf>
- http://www.piezocryst.com/piezoelectric_sensors.php#sensing
- http://mafija.fmf.uni-lj.si/seminar/files/2007_2008/MEMS_accelerometers-koncna.pdf