

Современные автоматизированные системы управления движением судов

Лекция №6

Тема: «Измерители параметров движения корпуса судна».

Учебные вопросы и распределение времени:

Вступление	5 мин.
1. Инерциальные устройства для измерения линейных параметров качки.....	25 мин.
2. Инерциальные датчики угловых параметров качки.....	30 мин.
3. Комбинированные и спутниковые измерители параметров движения корпуса судна.....	15 мин.
Выводы и ответы на вопросы.....	5 мин.

Учебная и воспитательная цель:

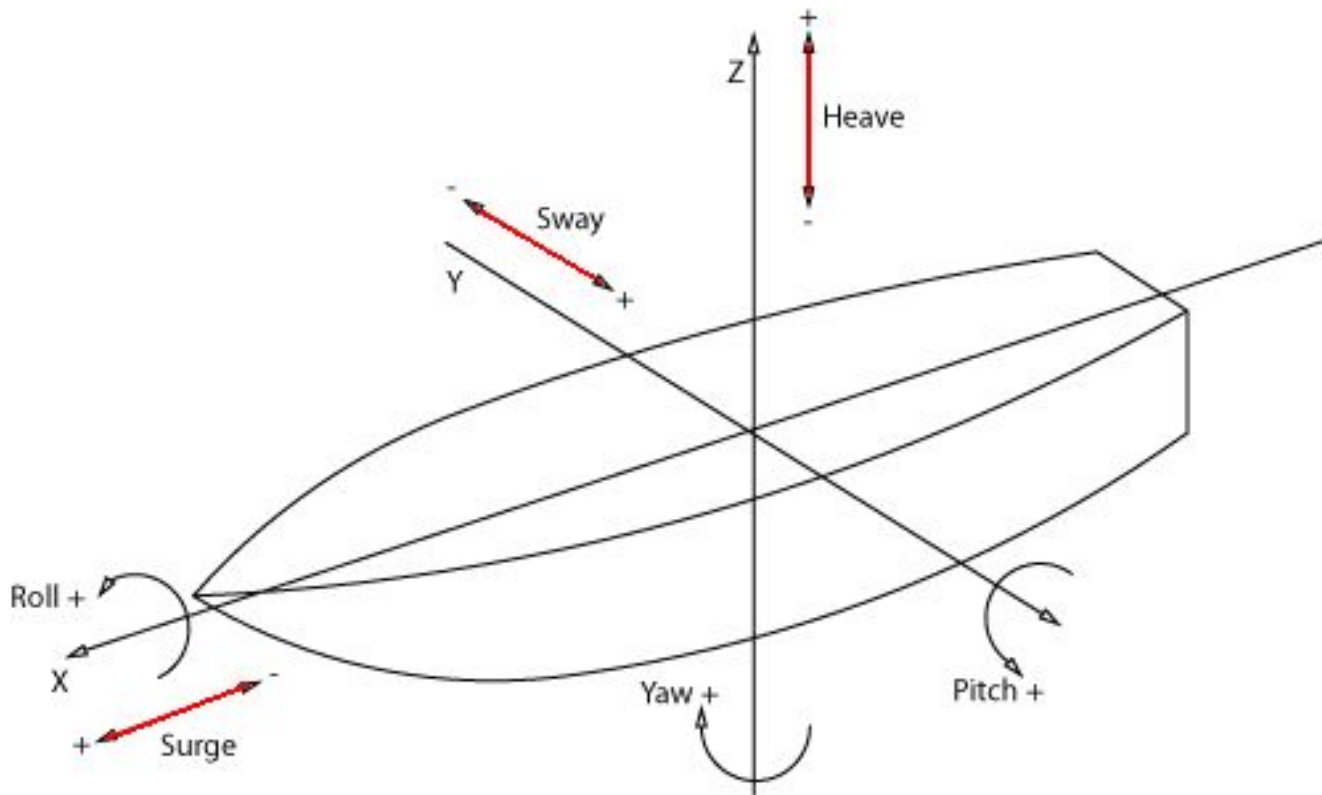
«Формирование у студентов целостного представления о современных автоматизированных системах управления движением судов»

Учебная литература:

1. Алексишин В.Г., Козырь Л.А., Короткий Т.Р. Международные и национальные стандарты безопасности мореплавания. - Одесса: «Латстар», 2002.-257с.
2. Золотов В.В., Фрейдзон И.Р. Управляющие комплексы сложных корабельных систем.-Л.: «Судостроение», 1986.-232с.
3. Вагущенко Л.Л. Интегрированные системы ходового мостика. - Одесса: «Латстар», 2003.-170с.
4. Вагущенко Л.Л., Вагущенко А.Л., Заичко С.И. Бортовые автоматизированные системы контроля мореходности. - Одесса: «Фенікс», 2005.-272с.
5. Вагущенко Л.Л. Судовые навигационно-информационные системы. - Одесса: «Латстар», 2004.-302с.

Инерциальные устройства для измерения линейных параметров качки

Для получения линейных параметров качки используются акселерометры. Они могут быть струнными, маятниковыми, жидкостными, кварцевыми и др. Точность используемых акселерометров должна быть не менее $\pm 0,01g$.

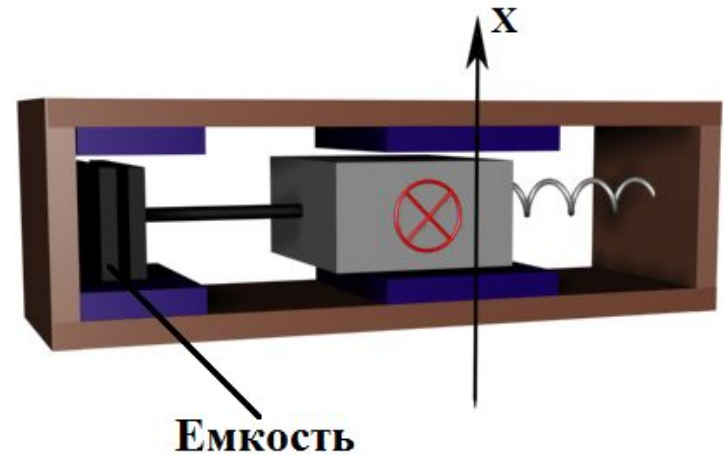
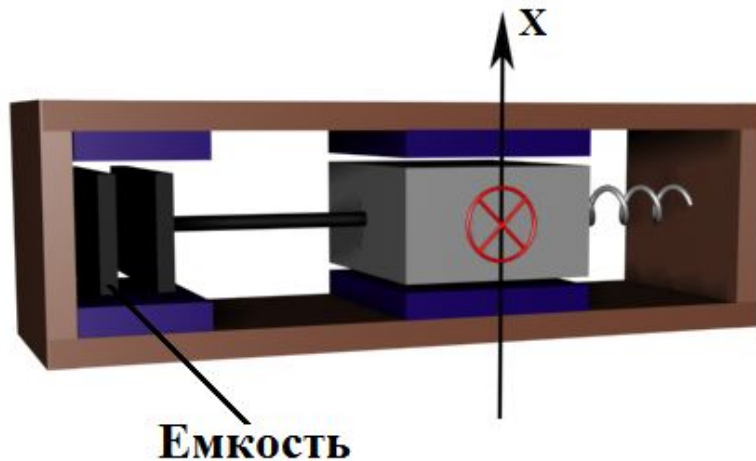


Инерциальные устройства для измерения линейных параметров качки

В основе работы акселерометров лежит **второй закон Ньютона**: когда известная «чувствительная масса» движется с ускорением, возникает сила, измерив которую можно получить значение ускорения. Для оценки силы в ряде акселерометров применяют пружину. Величина растяжения (сжатия) пружины Δl пропорциональна действующей силе, а, следовательно и ускорению.

$$\Delta l = k_a a$$

k_a - коэффициент пропорциональности.

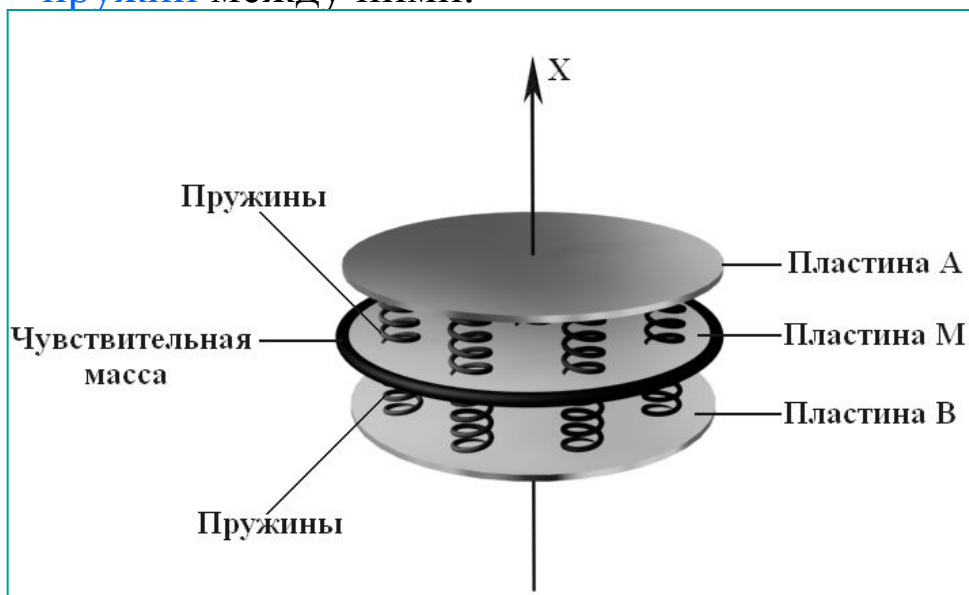


В микромеханических акселерометрах для измерения используется один из трех методов: **емкостной**, **пьезорезисторный** и **пьезоэлектрический**.

Инерциальные устройства для измерения линейных параметров качки

Одним из перспективных датчиков ускорений являются **кремниевые емкостные акселерометры**. Точность таких датчиков вполне достаточна при измерениях элементов качки судна.

Рассматриваемый **акселерометр** состоит из **трех кремниевых пластин** (А, М, В) и **пружин** между ними.

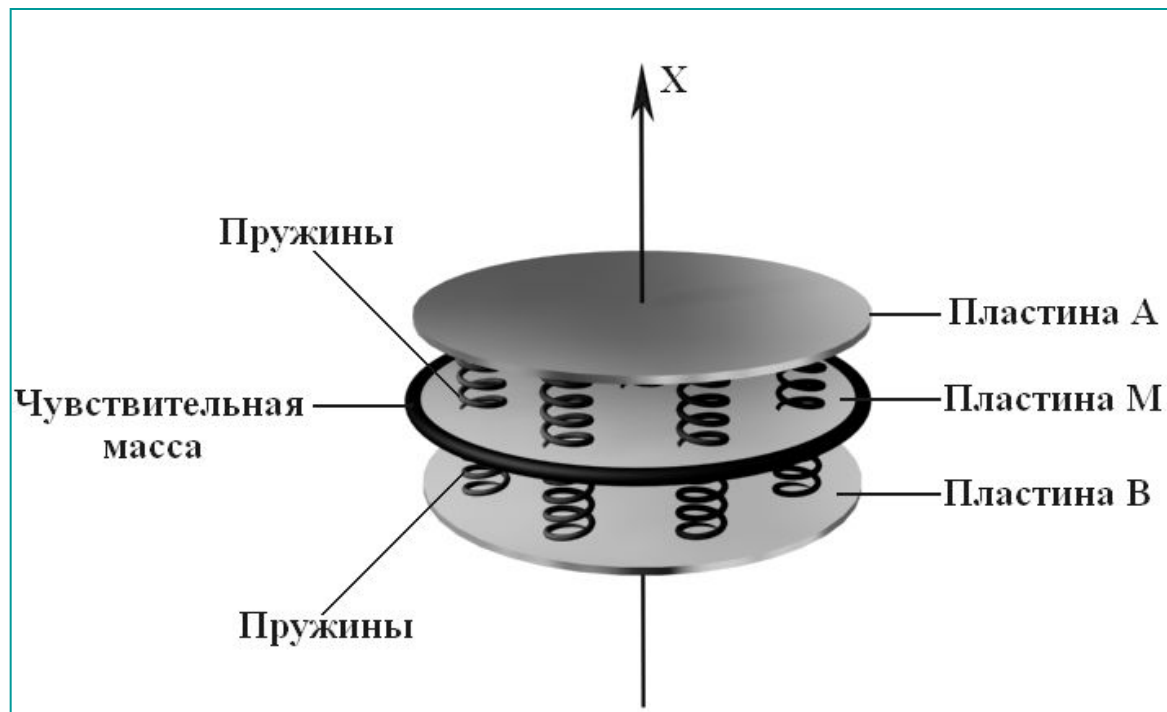


Эти элементы помещены в герметическую камеру, заполненную специальным «**демпфирующим**» газом. Внешние пластины А, В по отношению к корпусу прибора **неподвижны**, а внутренняя М представляет собой «**чувствительную массу**» акселерометра.

На пластинах с помощью фотолитографии нанесено металлическое покрытие. Пластины являются обкладками двух конденсаторов, обозначим их А и В в соответствии с названием внешних пластин прибора. Емкости этих конденсаторов зависят соответственно от расстояний между пластинами А, М и В, М

Инерциальные устройства для измерения линейных параметров качки

Акселерометр измеряет ускорения, действующие вдоль оси OX . При отсутствии ускорений расстояния между пластинами одинаковы, и емкости конденсаторов равны. Когда прибор движется вдоль своей оси с ускорением a , то зазоры между пластинами меняются на одинаковую величину: один в сторону увеличения, а другой — уменьшения. Соответственно изменяются и емкости конденсаторов. На основе измерения этих емкостей находится ускорение.

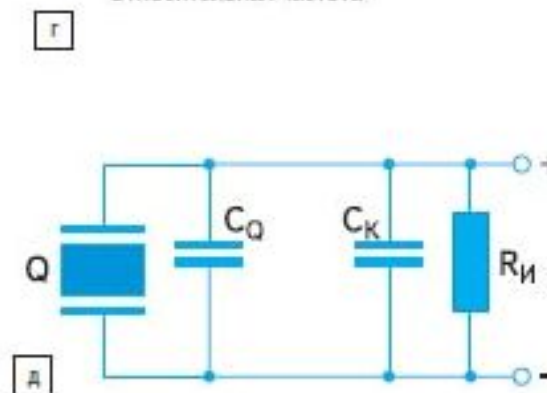
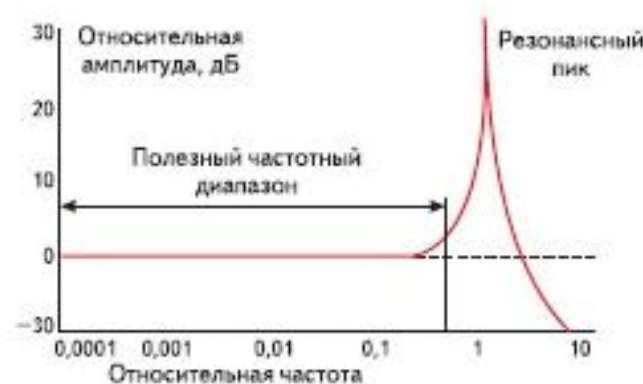
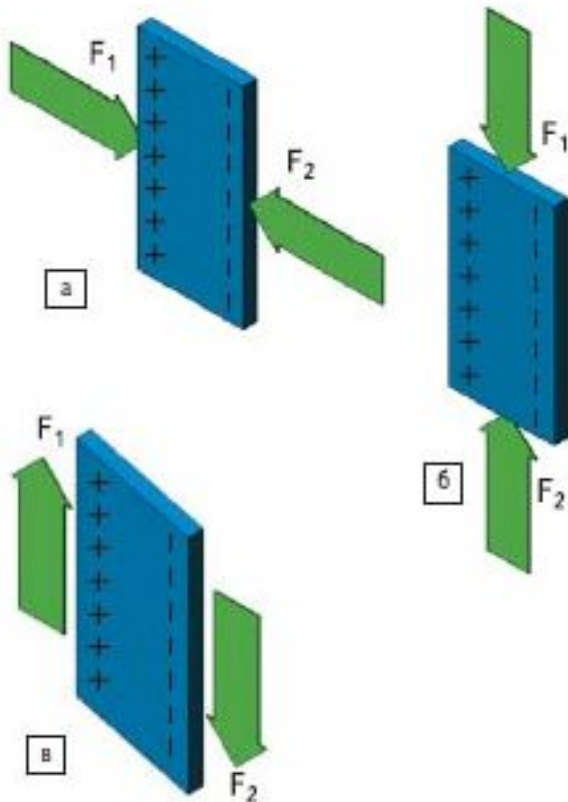


Инерциальные устройства для измерения линейных параметров качки

Пьезоэлектрические акселерометры

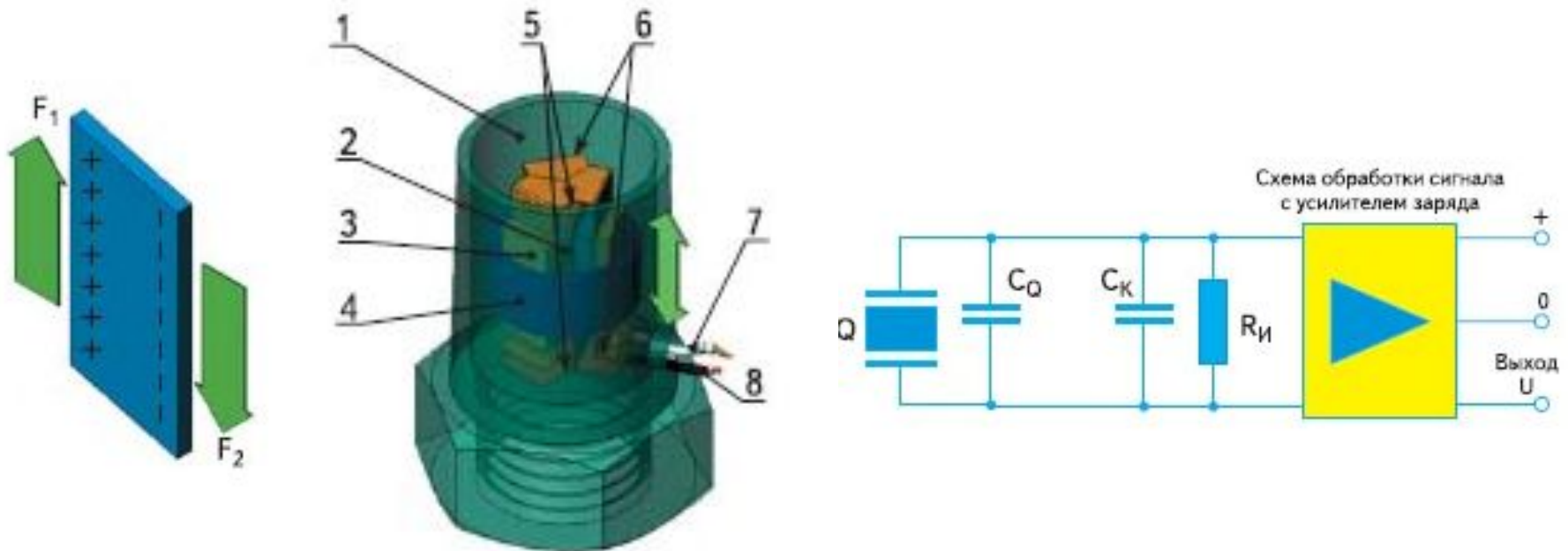


Принцип работы датчиков основан на прямом пьезоэлектрическом эффекте: когда **кварцевый кристалл** (пьезоэлемент) **подвергается действию внешней силы F** , вследствие смещения кристаллической решетки **на противоположных поверхностях материала аккумулируется электрический заряд**, прямо пропорциональный величине приложенного воздействия.



Инерциальные устройства для измерения линейных параметров качки

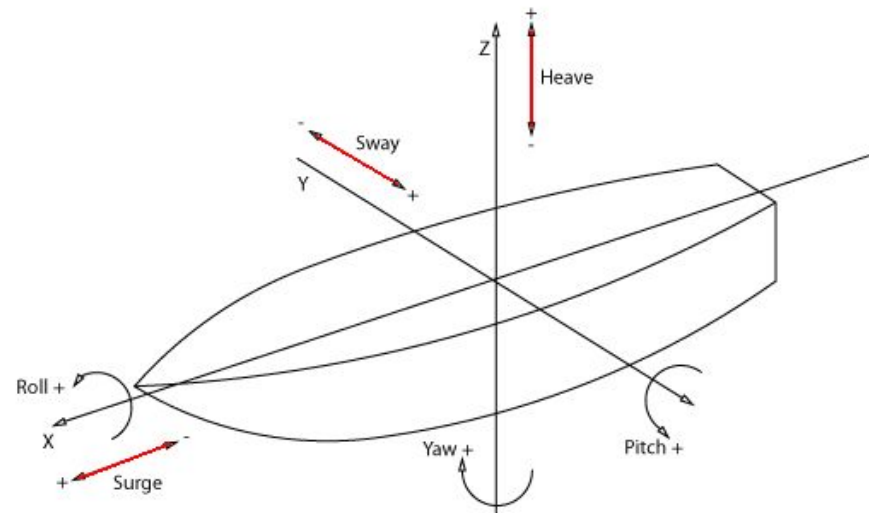
Пьезоэлектрические акселерометры



Акселерометр, работающий на сдвиг: 1 — корпус датчика; 2 — пьезоэлектрические элементы; 3 — инерционная масса; 4 — компрессионное кольцо; 5, 6 — физически изолированные электроды для снятия положительного и отрицательного заряда, соответственно; 7, 8 — условное изображение проводных выводов зарядового сигнала

Инерциальные датчики угловых параметров качки

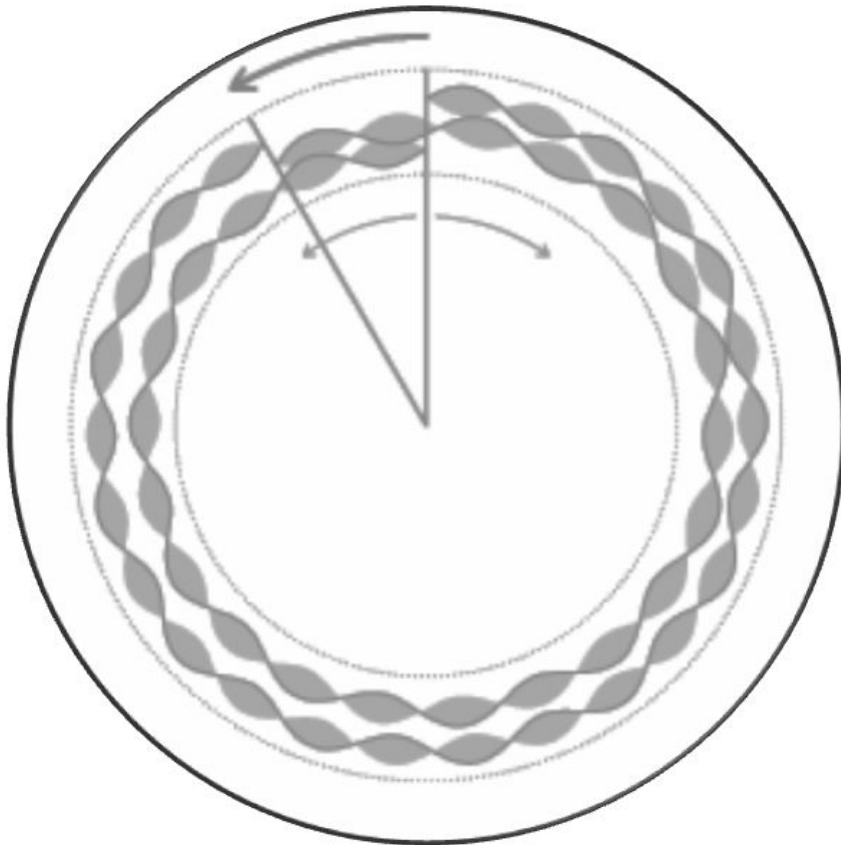
Параметры угловых перемещений судна обычно измеряются гироскопическими устройствами разных типов (с вращающимся ротором, волоконно-оптическими, вибрационными и другими). Наиболее подходящими для выполнения этой задачи на современном этапе являются волоконно-оптические и вибрационные гироскопы.



Инерциальные датчики угловых параметров качки

Принцип действия большинства оптических гироскопов основан на эффекте Саньяка.

Эффект Саньяка – появление фазового сдвига встречных электромагнитных волн во вращающемся кольцевом интерферометре.



В рамках кинематической теории может быть получена формула (коэффициент преломления на оптическом пути принят равным единице):

$$\Delta\varphi = \frac{4kS}{c} \cdot \Omega$$

$\Delta\varphi$ – фазовый сдвиг;

k – волновое число;

S – площадь, окаймленная оптическим путем;

c – скорость волны;

Ω – угловая скорость вращения системы.

Инерциальные датчики угловых параметров качки

В зависимости от конструкции замкнутого оптического контура различают два типа оптических гироскопов:

1. Волоконно-оптический гироскоп (ВОГ)



1. Кольцевой лазерный гироскоп

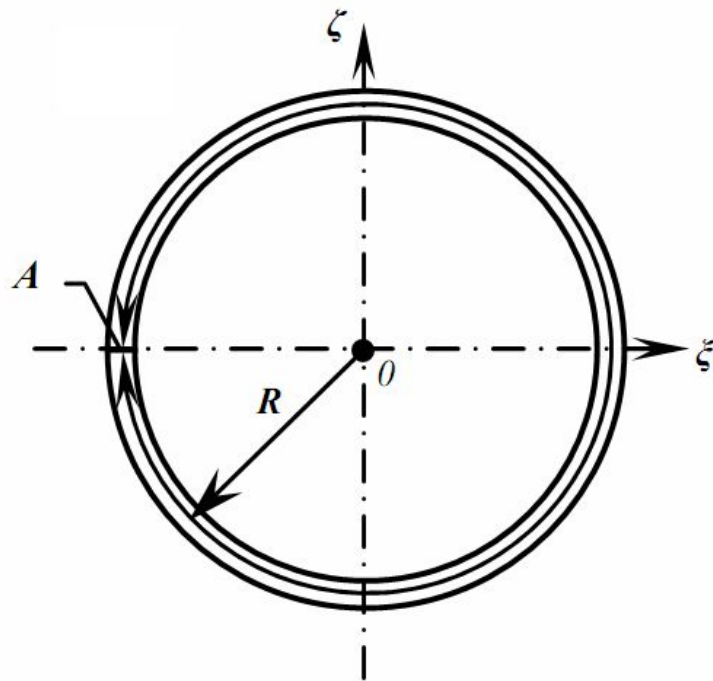


Инерциальные датчики угловых параметров качки

Волоконно-оптические измерители угловой скорости — одни из наиболее дешевых средне точных гироскопов (10—0,1 град/час). Этот вид приборов также называют фиброоптическими гироскопами (ФОГ).

Допустим, что в плоскости инерциального пространства с **системой координат $O\xi\zeta$** имеется **неподвижный волоконно-оптический кабель** (световод) **длиной L** , свернутый в виде кольца **радиусом R** .

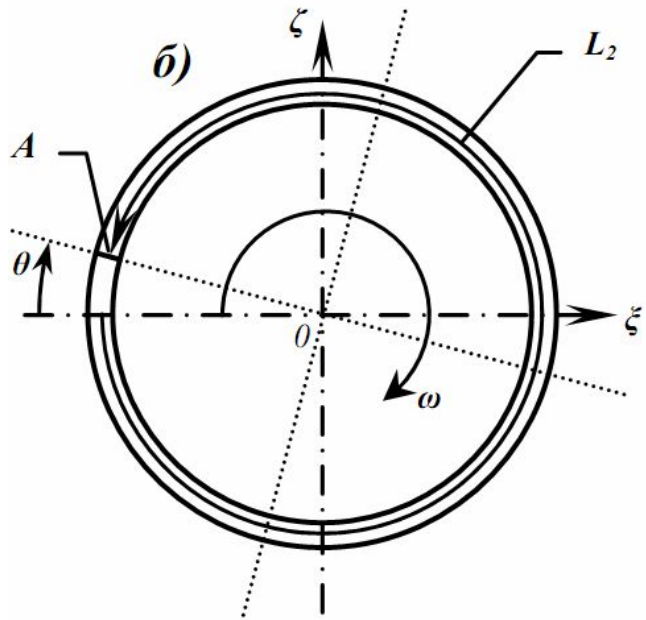
Начало и конец кабеля находятся в точке **A**.



Если в нее подать свет, то его волна разделится на две. Эти две волны распространяются по кабелю в противоположных направлениях (примем, что первая волна — по часовой стрелке, а вторая — против нее). Обойдя световод, первая и вторая волны встретятся в точке **A**.

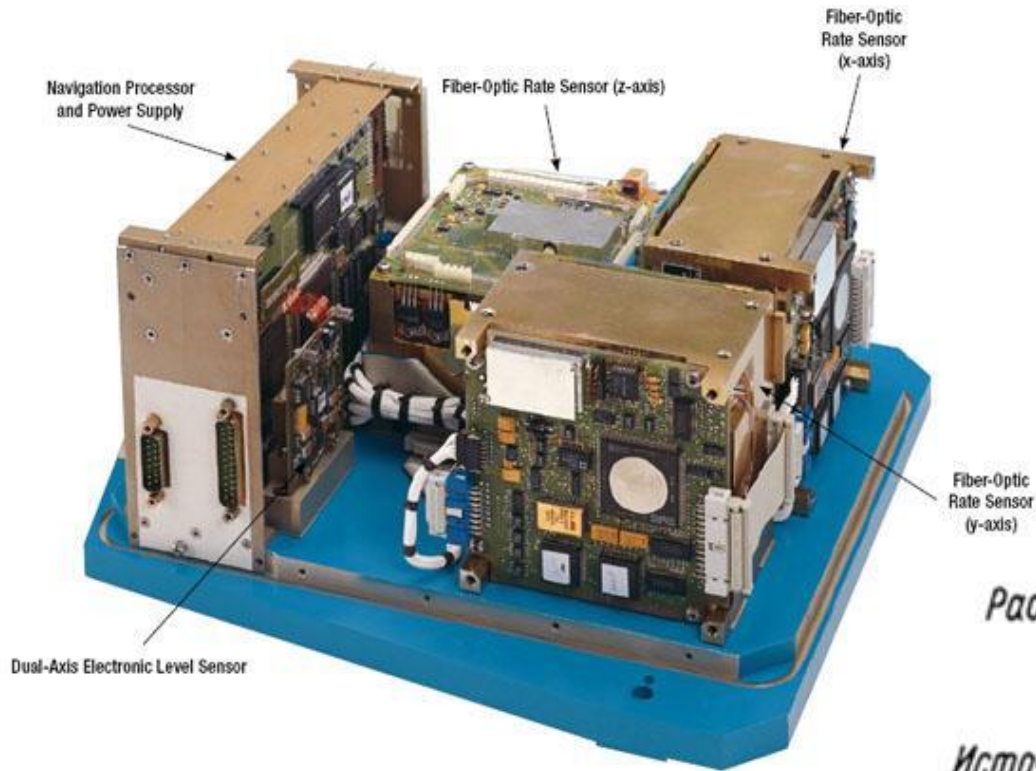
Инерциальные датчики угловых параметров качки

Допустим теперь, что кольцо световода вращается вокруг своей оси по часовой стрелке с угловой скоростью ω . В момент, когда точка A проходит через ось $O\xi$, ее подается свет. Разделившись на две волны, свет будет распространяться со скоростью c , не зависящей от скорости вращения световода. Точка A во время движения света по кабелю будет уходить от волны, движущейся по часовой стрелке и идти навстречу волне, огибающей световод против часовой стрелки. Вторая волна достигнет точки и покинет световод раньше первой волны, т.к. ее путь окажется короче расстояния, проходимого первой волной. По разности времени прихода волн в точку находится угловая скорость вращения световода.

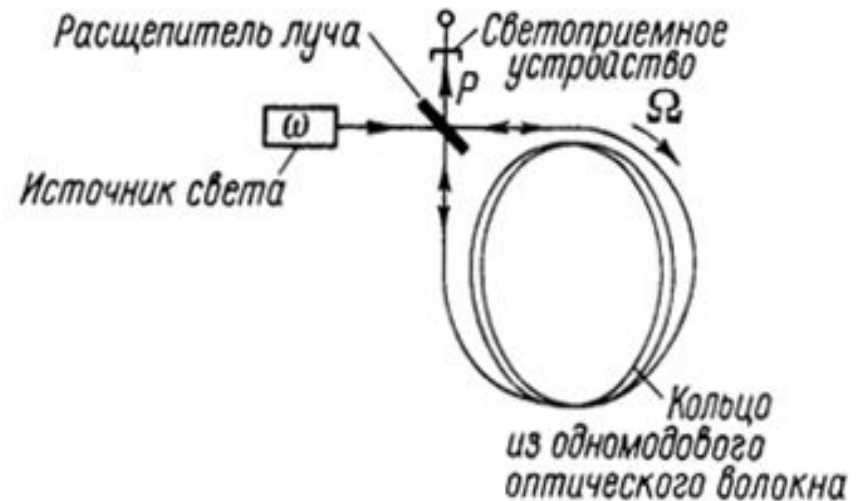


При практической реализации определение разности между L_1 и L_2 выполняется с помощью интерферометра, измеряющего разность фаз между первой и второй световыми волнами.

Инерциальные датчики угловых параметров качки

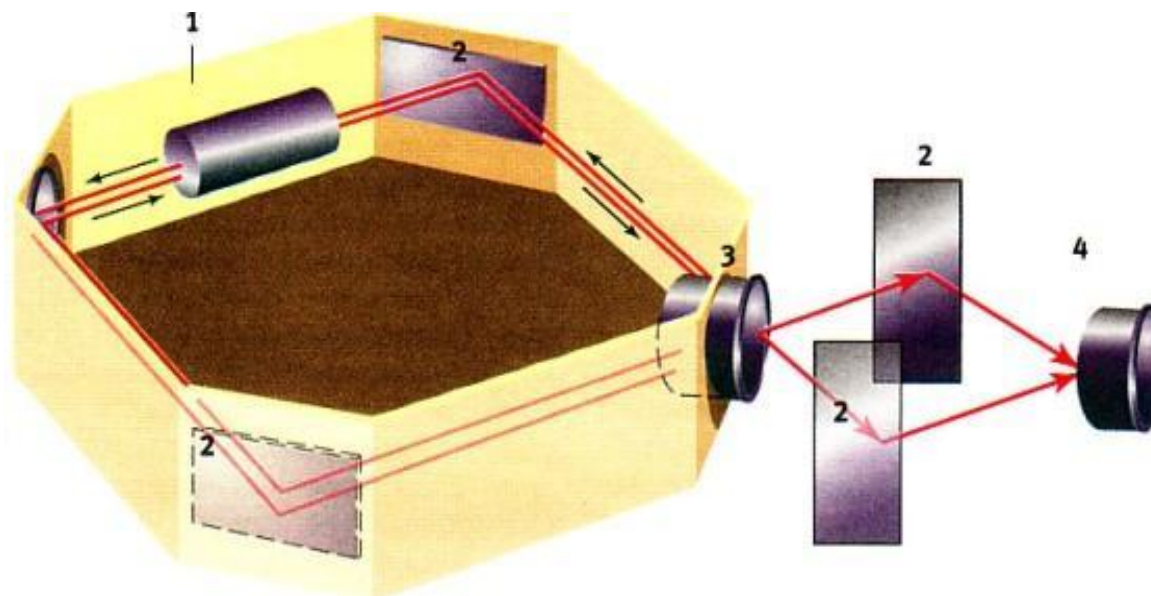


Главными элементами ВОГ являются излучатель, расщепитель луча, многовитковый замкнутый контур из диэлектрического световода с малым затуханием и фотоприемник.



Инерциальные датчики угловых параметров качки

Принцип действия кольцевого лазерного гироскопа



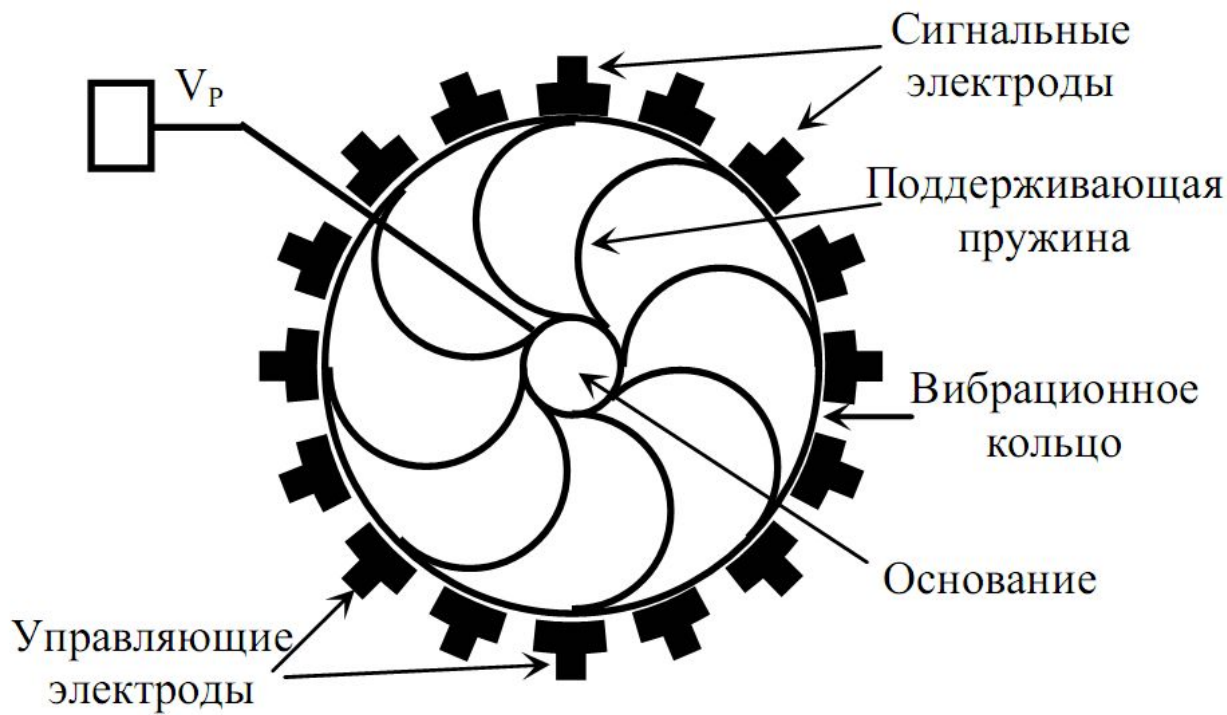
1. Рабочая среда лазера
2. Зеркала
3. Полупрозрачное зеркало
4. Интерферометр



Лазерный гироскоп ЛГ-1 Серпуховского завода «Металлист». Три таких устройства, расположенных взаимно перпендикулярно, измеряют угловую скорость по трем осям с погрешностью примерно 0,1 оборота в сутки

Инерциальные датчики угловых параметров качки

Вибрационные гироскопы пока относятся к приборам низкой точности (ниже 10 град/час), но из-за малой стоимости, миниатюрных размеров, высокой надежности они особенно перспективны для судовых и многих других приложений. Наиболее совершенными видами кремниевых микромеханических виброгироскопов являются кольцевые твердотельные устройства.



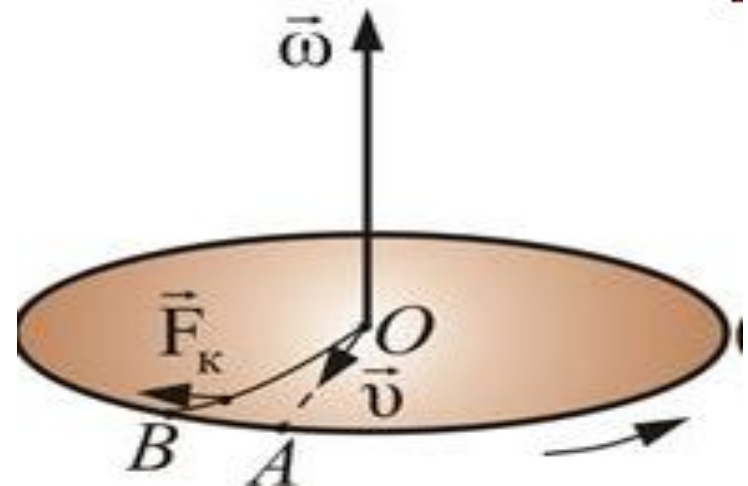
Структура виброгироскопического ДУС

Инерциальные датчики угловых параметров качки

Виброгироскопы — устройства, выполняемые на основе гирочувствительных пьезопреобразователей.

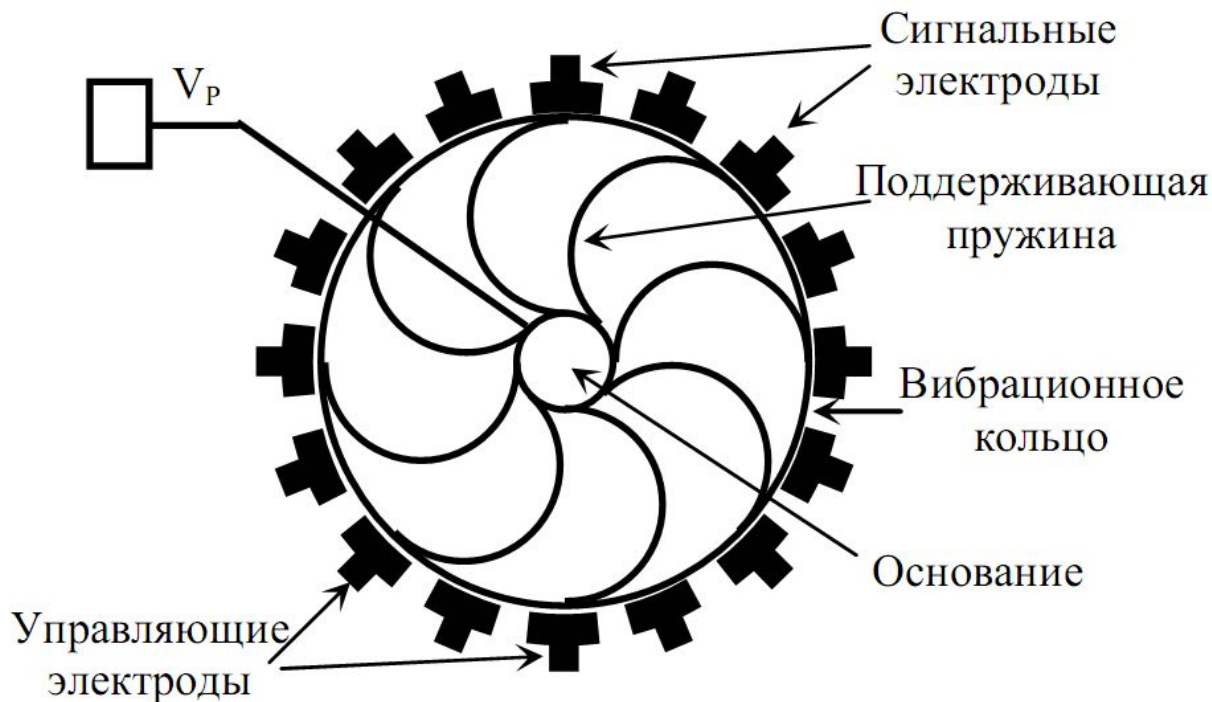
Работа виброгироскопов основана на действии сил Кориолиса, возникающих в колеблющемся пьезовибраторе при его вращении.

Причина появления силы Кориолиса — в кориолисовом (поворотном) ускорении. В инерциальных системах отсчёта Причина появления силы Кориолиса — в кориолисовом (поворотном) ускорении. В инерциальных системах отсчёта действует закон инерции Причина появления силы Кориолиса — в кориолисовом (поворотном) ускорении. В инерциальных системах отсчёта действует закон инерции, то есть, каждое тело стремится двигаться по прямой и с постоянной скоростью Причина появления силы Кориолиса — в кориолисовом (поворотном) ускорении. В инерциальных системах отсчёта действует закон инерции, то есть, каждое тело стремится двигаться по прямой и с постоянной



Инерциальные датчики угловых параметров качки

Кольцевой датчик состоит из **вибрационного кольца, восьми поддерживающих кольцо пружин, управляющих, сигнальных и настраивающих электродов**. Поддерживающие пружины укреплены на круглой основе внутри кольца. Эта основа и электроды закреплены на стеклянной пластине. Вибрационное кольцо и электроды изготовлены из кремниевой пластины с низким сопротивлением (0.002 Ом/см). На них с помощью фотолитографии нанесено металлическое покрытие. На электрод кольца подается поляризованное напряжение V_p .

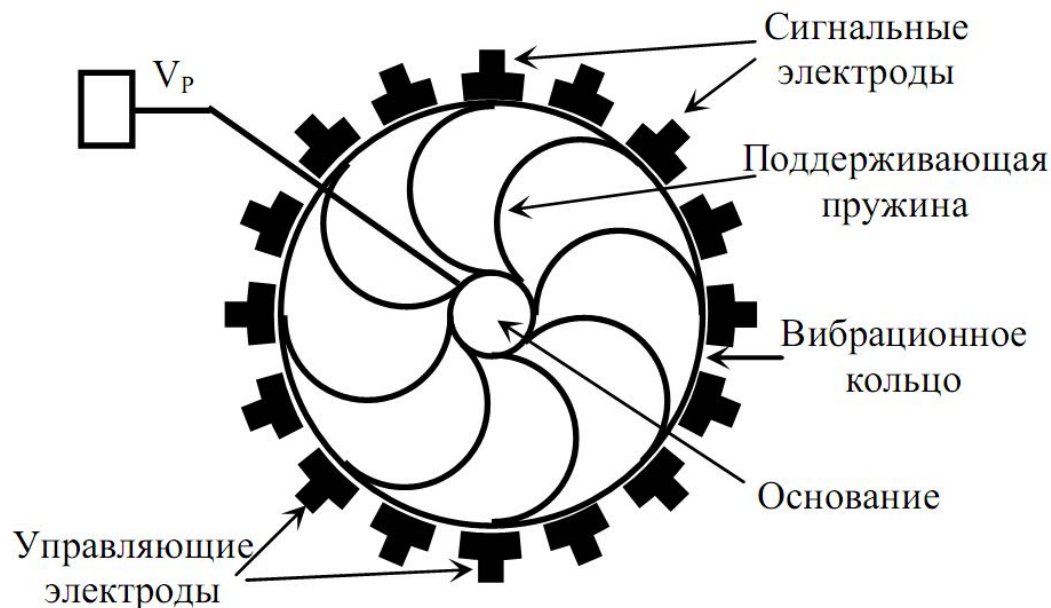


Инерциальные датчики угловых параметров качки

В датчике выделяют два режима вибрации кварцевого кольца.

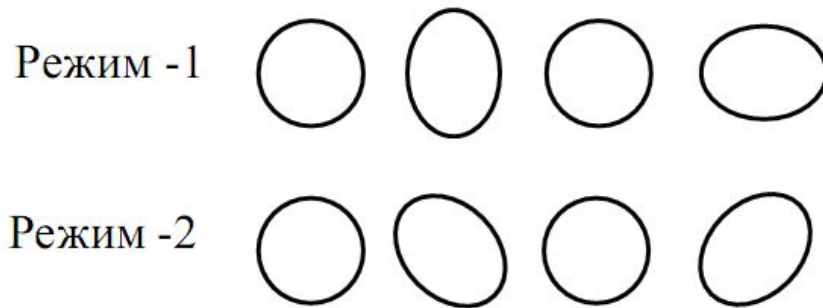
С помощью управляющих электродов, на которые подается переменное напряжение, инициируется **первый режим вибрации** с постоянной амплитудой (возбуждаемый режим).

Режим -1

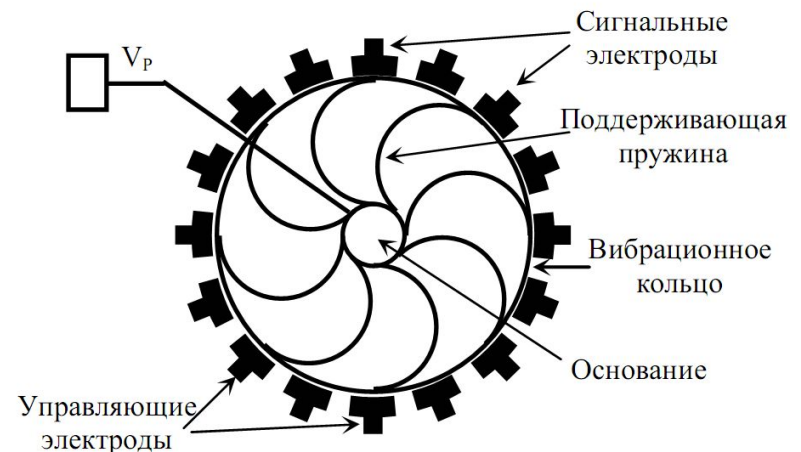
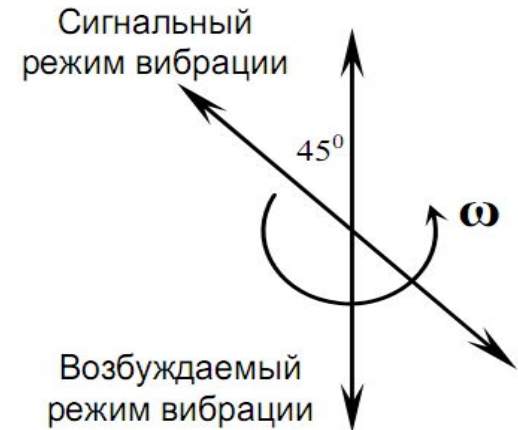


Инерциальные датчики угловых параметров качки

Когда происходит вращение гироскопа вокруг оси кольца с той или иной угловой скоростью ω , сила Кориолиса вызывает второй (сигнальный) режим совместной вибрации, отклоненной по направлению от первого на 45° .

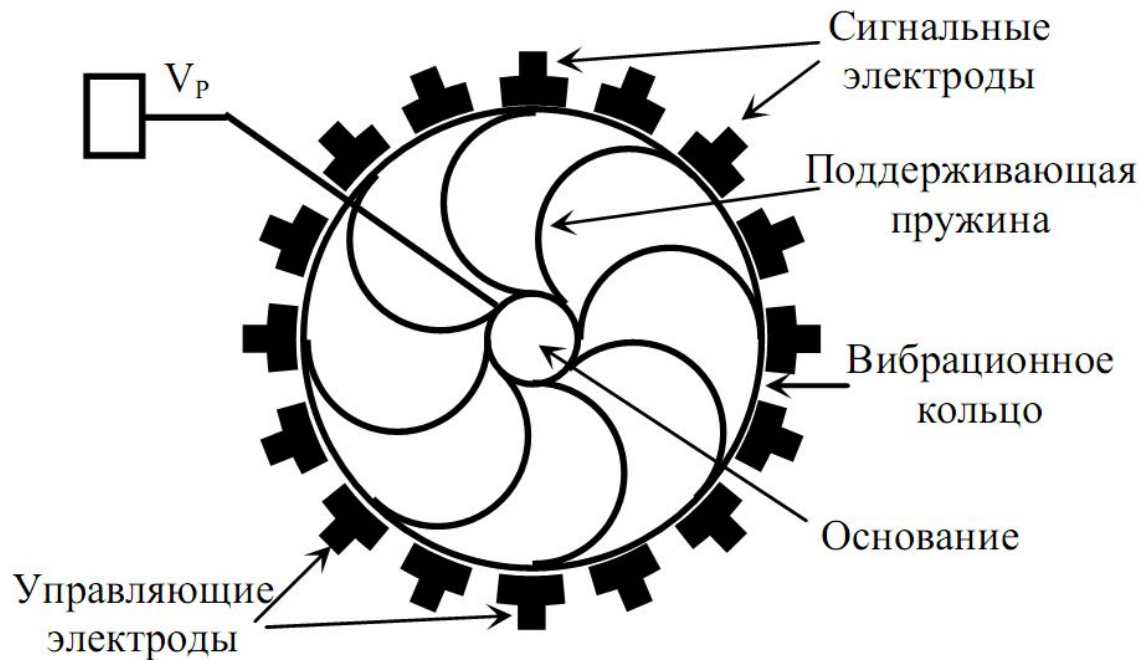


Амплитуда колебаний кольца во втором режиме пропорциональны ω . Таким образом, если по направлению 45° расположить **сигнальный электрод**, то **максимальный зазор** между ним и вибрирующим кольцом будет изменяться пропорционально угловой скорости поворота.



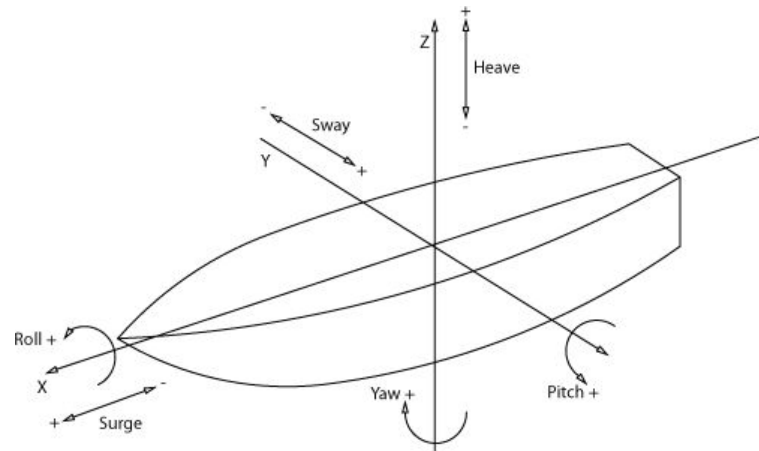
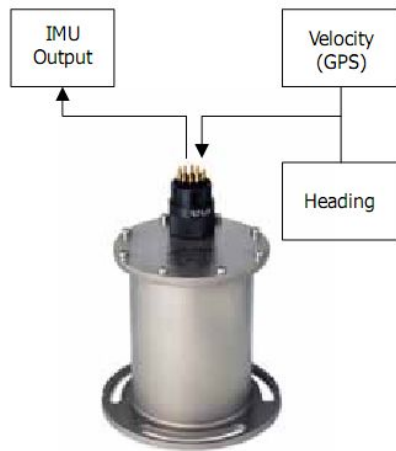
Инерциальные датчики угловых параметров качки

Колебание величины зазора между поверхностями кольца и сигнального электрода **приводит к пропорциональному изменению емкости между ними.** По измерениям этой емкости получается значение **угловой скорости поворота.** Для возбуждения вибрации кольца может применяться три электрода. Такое же количество электродов используется и для выходных сигналов. Обычно четыре электрода служат для настройки (балансировки) гироскопа. Остальные электроды заземлены.



Комбинированные и спутниковые измерители параметров движения корпуса судна

На базе современных технологий для измерения параметров качки созданы однокоординатные и двухкоординатные инклинометры, датчики линейных и угловых перемещений, комбинированные устройства, включая измерители движения **по шести степеням свободы**. Образцы таких приборов изготавливаются фирмами; Seatex, Measurement Devices Ltd, Silicon Sensing Systems Japan Ltd, MicroStrain и др. На судне результаты измерений параметров качки позволяют оценивать его мореходность, параметры волнения и обоснованно выбирать режимы штормования.



Комбинированные инерциальные измерители движения по шести степеням свободы в зарубежной литературе называют Inertial Motion Unit (IMU).

Комбинированные и спутниковые измерители параметров движения корпуса судна

Примером серийно производимых IMU являются морские приборы: «MRU-5» (Motion reference unit) фирмы SIMRAD SEATEX;

«LR-86» фирмы Litton;

«S-108» фирмы SMC.

Эти датчики включают в себя три волоконно-оптические гироскопа и три акселерометра.



«MRU-5» (Motion reference unit) фирмы SIMRAD SEATEX

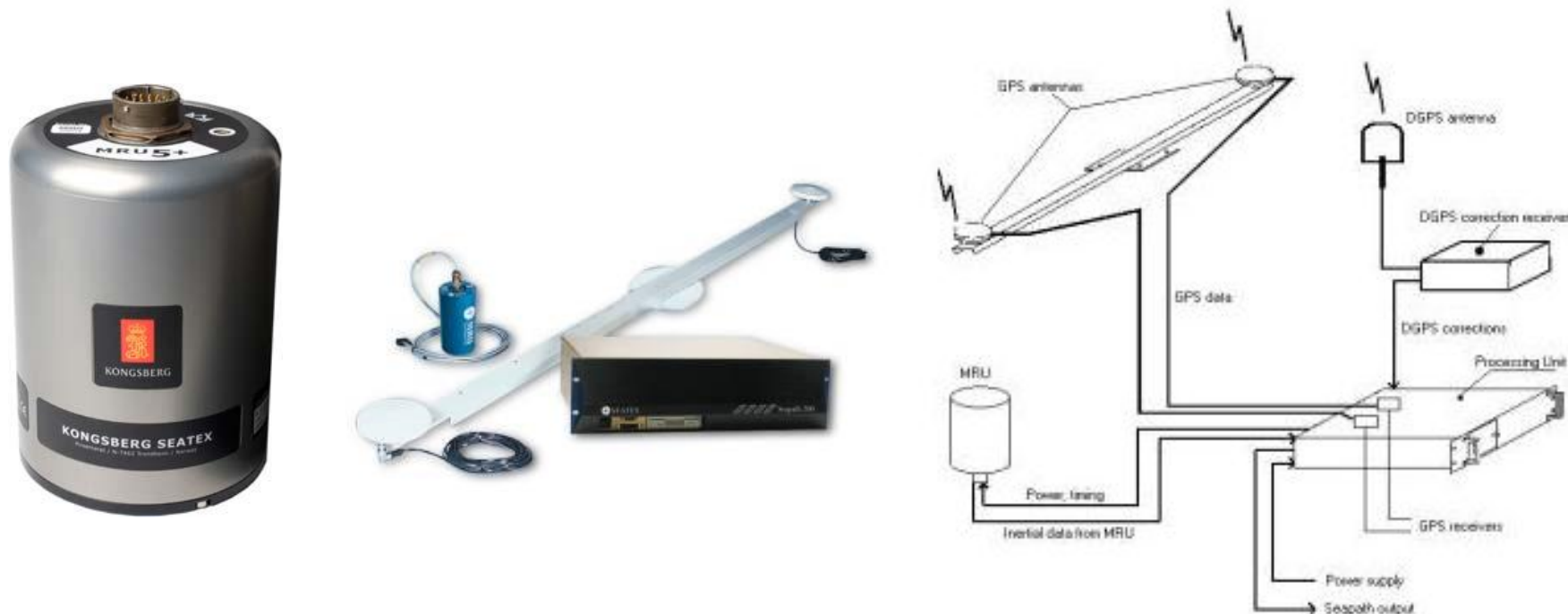


«LR-86» фирмы Litton



«S-108» фирмы SMC.

Комбинированные и спутниковые измерители параметров движения корпуса судна



Прибор «MRU-5» измеряет угловые скорости в диапазоне ± 150 град/с со средней квадратичной погрешностью (СКП) 0,025 град/с. Он определяет статические углы крена и дифферента с СКП $0,25^0$; а динамические углы бортовой, килевой качки и рыскание – $0,03^0$. Линейные ускорения «MRU-5» измеряет с СКП $0,01 \text{ м/с}^2$ в диапазоне $\pm 30 \text{ м/с}^2$. Среднее время наработки «MRU-5» на отказ – 50000 час, вес прибора – 2,5 кг.

Комбинированные и спутниковые измерители параметров движения корпуса судна



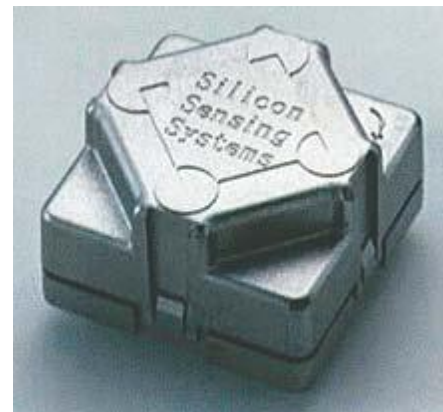
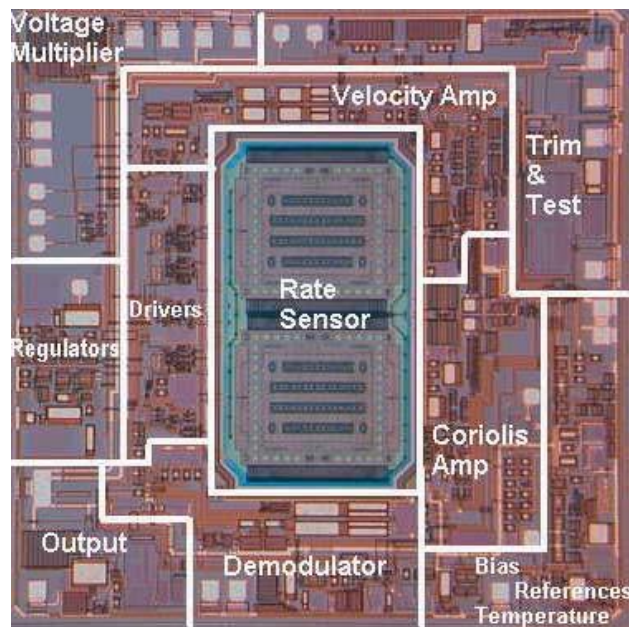
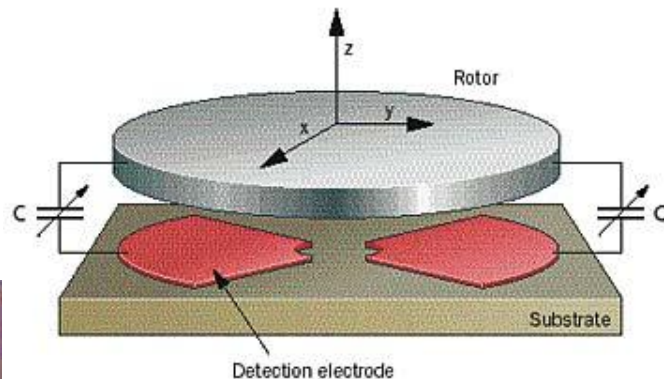
Комбинированный датчик «S-108» системы контроля движения судна фирмы SMC (Швеция) обеспечивает точность измерений:

- углов килевой и бортовой качки $0,01^0$;
- ускорений $0,001g$;
- вертикальной, продольной и поперечной качки ... 5 см ;
- курса $1,0^0$.

Комбинированные и спутниковые измерители параметров движения корпуса судна

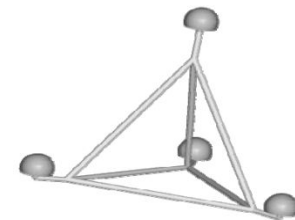
Ряд IMU основан на использовании миниатюрных кремниевых акселерометров и виброгироскопов. Устройства фирмы Silicon Sensing Systems Japan Ltd позволяют измерять:

- угловые скорости в диапазоне от 0,1 до 100 град/с с разрешением 0,1 град/с;
- углы рыскания, килевой и бортовой качки с точностью $0,1^{\circ}$;
- линейные ускорения со средней квадратичной погрешностью $0,01 \text{ м/с}^2$.



Комбинированные и спутниковые измерители параметров движения корпуса судна

Одним из спутниковых бортовых датчиков параметров качки судна является GPMS (GPS motion sensor), серийно выпускаемый фирмой SIREHNA. Он включает четырех антенную систему и специальный GPS приемник. Кроме координат позиции судна, путевого угла и путевой скорости GPMS измеряет курс судна и элементы качки. Определение угловых параметров качки характеризуется СКП $0,3^{\circ}$. Линейные перемещения находятся с точностью 10 см.



С целью повышения точности и надежности измерений спутниковые системы совмещаются с IMU.



система «Seapath 100» фирмы SEATEX, включающая двухантенную спутниковую бортовую аппаратуру и инерциальный датчик «MRU-H».

