

## **ДАТЧИК ПЕРЕМЕЩЕНИЯ В ПРИБОРЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРИЕНТАЦИИ ОБЪЕКТОВ**

Шерстюк Ю.А., группа Нап-07см

Руководитель: проф. Чичикало Н.И.

*Аннотация.* Целью статьи является разработка и исследование преобразователя перемещений на основе интегрального акселерометра в составе прибора определения пространственной ориентации объектов.

*Актуальность.* Каждый день из средств массовой информации мы узнаем о различных строительных авариях. Причины разные: подтопления территорий, оползни, нарушение технологии проведения строительных работ, несанкционированные реконструкции и т.д. В больших городах прибавилась еще одна – уплотненная застройка жилых районов. Строительные объекты, эксплуатирующиеся в сложных инженерно – геологических условиях Украины, постоянно испытывают дополнительные статические и динамические нагрузки, что приводит к реализации потенциальных деформаций грунта в их основаниях. Вследствие неравномерной осадки грунтов, залегающих в основаниях, строительные конструкции испытывают деформации, зачастую превышающие предельные величины для данного класса зданий и сооружений. Дополнительное вмешательство в грунты придомовых пространств могут спровоцировать непредвиденные деформационные процессы.

Традиционно используемые геодезические методы наблюдений за деформациями конструкций не могут обеспечить необходимую цикличность и точность измерений, что приводит обычно только к констатации возникших и развивающихся деформаций в конструкциях, без реальной возможности их прогнозирования и предупреждения аварийных ситуаций. Более того, они требуют определенного временного интервала наблюдений. Строительному подрядчику, как правило, установлены конкретные, сжатые сроки на

постройку здания и ждать ему результатов этих изысканий некогда.

Вышесказанное обуславливает необходимость оснащения строительных объектов, находящихся в зоне нового строительства, современными средствами мониторинга с целью оперативного контроля и накопления данных о поведении строительных конструкций, с целью предупреждения повреждения или разрушения.

*Характеристика известных решений.* Деформационный мониторинг конструкций и оснований зданий опирается в основном на четыре типа методик:

1) Геодезические измерения. Выполняются как с помощью традиционной нивелировки, так и с использованием современных цифровых датчиков, спутниковых GPS-технологий, возможно лазерное сканирование объекта. Данные методики позволяют определять перемещение объекта (здания или отдельных его частей) в пространстве, в том числе, измерять осадки и крены. Получаемые данные соответствуют состоянию на момент измерений, т.е. при достаточно редких по времени замерах методики не дают подробной динамики поведения объекта;

2) Инженерно-геологические наблюдения состояния грунтового массива в основании и в окрестности здания. Существует набор схем как разной трудоемкости и стоимости, так и разной разрешающей способности и информативности – от измерений в отдельных скважинах до межскважинного просвечивания (вплоть до получения 3-мерного томографического изображения). В зависимости от выбора датчиков, можно вести мониторинг дифференциальных (послойных) или суммарных осадок грунтов основания, уровня воды, порового давления в породах (параметра, используемого в расчетах за рубежом). Помимо скважин, важную информацию получают при размещении под фундаментной плитой сети датчиков давления на грунт, в сваях – вертикальных нагрузок. Наблюдения могут вестись непрерывно или достаточно часто по времени, т.е. есть возможность следить за особенностями

динамики объекта;

3) Измерения нагрузок и деформаций в конструкциях фундамента и надземной части. Тут также существует набор инструментов, ниже рассмотрены схемы с использованием вибрационных датчиков напряжений, монтируемых по 1-, 2- и 3-м пространственным координатам X, Y, Z в точке и размещаемых в фундаментной плите, а также в стенах, пилонах и колоннах здания. Наблюдения могут вестись в мониторинга высотного комплекса

4) Сейсмометрические методики. Могут выполняться различными измерительными устройствами – деформографами, наклономерами и сейсмометрами (акселерометрами). Схемы наблюдений разнообразны, включают варианты возбуждения колебаний здания как искусственными (удары, вибраторы), так и естественными (ветер, микросейсмы) источниками. Сейсмометрические измерения дают «мгновенную» картину состояния объекта, наблюдая которую во времени можно получить разнообразную информацию об особенностях динамики сооружения.

Следует отметить, что если первые три типа наблюдений дают в основном «прямую» информацию (величины осадок, нагрузок и пр.), то регистрация колебаний требует как достаточно сложной предварительной обработки, так и создания моделей динамики сооружения. Особенностью сейсмометрических методик является то, что схемы наблюдений могут быть достаточно простыми (вплоть до одной точки). Кроме того, они дают возможность контролировать не только величины ускорений, но и позволяют судить о совместной работе здания и грунтов основания, в том числе выявить неизвестные ранее явления. В результате анализа преобразователей данного типа на различных физических принципах предпочтение отдано акселерометрам емкостного принципа.

**Постановка задачи.** Как известно, перемещение объекта, его скорость и ускорение являются взаимосвязанными величинами, т.к. скорость и ускорение являются производными перемещения. С помощью простых электрических

цепей преобразование ускорения в скорость и скорости в смещение (т.е. интегрирование) может быть осуществлено с высокой точностью. Поэтому акселерометры на сегодняшний день являются основными датчиками вибрации: их выходной сигнал можно легко подвергнуть однократному или двухкратному интегрированию и получить либо скорость, либо смещение.

По принципу действия все акселерометры можно разделить на приборы прямого измерения и компенсационные: чувствительный элемент первых непосредственно передает информацию о входной величине на вторичный преобразователь, и при этом все погрешности измерительного тракта присутствуют в выходном сигнале датчика, а вторые частично или полностью (с интегратором в контуре – астатизм первого порядка) уравнивают измеряемую величину с помощью главной отрицательной обратной связи (ГООС), т.е. реализуют силовую разгрузку ЧЭ с помощью выходного сигнала, подаваемого на элемент компенсации. В последнем случае точность прибора зависит в основном от элемента компенсации – датчика силы или момента

обратной связи. Поэтому к их электронному блоку не предъявляют каких либо особых требований. В приборах прямого измерения, напротив, точность зависит от всех узлов, что приводит к усложнению схемотехники таких конструкций.

Таким образом проблема улучшения характеристик (точности, технологичности, массогабаритных показателей) электронных блоков для приборов прямого измерения все еще актуальна.

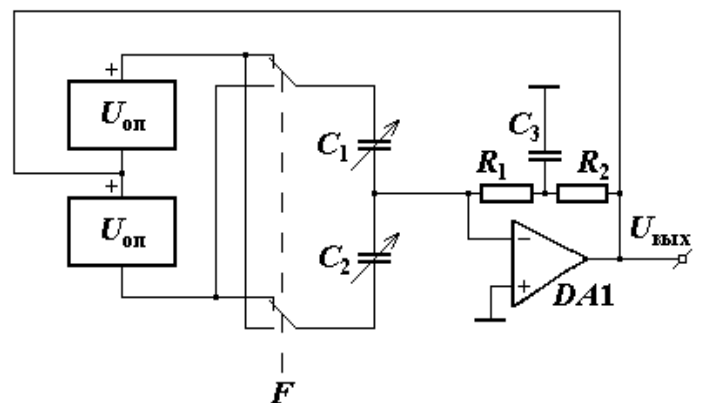


Рисунок 1 – Датчик

перемещения с электронной

обратной связью. В нем исключено влияние паразитных емкостей, так как

неподвижные электроды измерительных емкостей подключены к сравнительно низкоомным источникам опорного напряжения, а подвижный электрод – к инвертирующему входу операционного усилителя  $DA1$ , имеющему потенциал близкий к нулю.

Цепочка  $R_1-R_2-C_3$  применена для обеспечения устойчивости схемы (компенсации утечек операционного усилителя и измерительных емкостей). Она имеет малое сопротивление для постоянного тока и большое для переменного. При этом выходное напряжение датчика найдено в виде:

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{оп}} \frac{(C_1 s - C_2 s)(R_1 + R_2 + R_1 R_2 C_3 s)}{(C_1 s + C_2 s)(R_1 + R_2 + R_1 R_2 C_3 s) + 1} \quad (1)$$

Обеспечив выполнение условия:

$$K = (C_1 s + C_2 s)(R_1 + R_2 + R_1 R_2 C_3 s) \gg 1, \quad (2)$$

считаем, что:

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{оп}} \frac{(C_1 - C_2)}{(C_1 + C_2)}, \quad (3)$$

Выходной сигнал практически не зависит от частоты переключения напряжения питания моста и является линейным по перемещению. Тяжение подвижной пластины отсутствует, так как заряды измерительных емкостей равны. Основной недостаток схемы – сложность из-за применения двуполярного источника питания с плавающей средней точкой.

Вариант применения разработанного емкостного датчика перемещения в интегральном акселерометре приведен на рис. 2. Он содержит генератор управляющего напряжения, ключевую схему генерации переменного опорного

напряжения  $U_{\approx}$ , емкостной полумост, масштабный усилитель, двухполупериодный синхронный детектор и фильтр низких частот второго порядка. Для симметризации меандра в цепи генератора применен счетный триггер. Источник постоянного опорного напряжения  $U_{оп}$  на схеме не показан.

Интегральное уравнение для выходного напряжения операционного усилителя ОУ1  $U$  имеет вид:

$$UR_3(C_1(t) + C_2(t)) + \int U dt = U_{\approx} R_3(C_1(t) - C_2(t)). \quad (4)$$

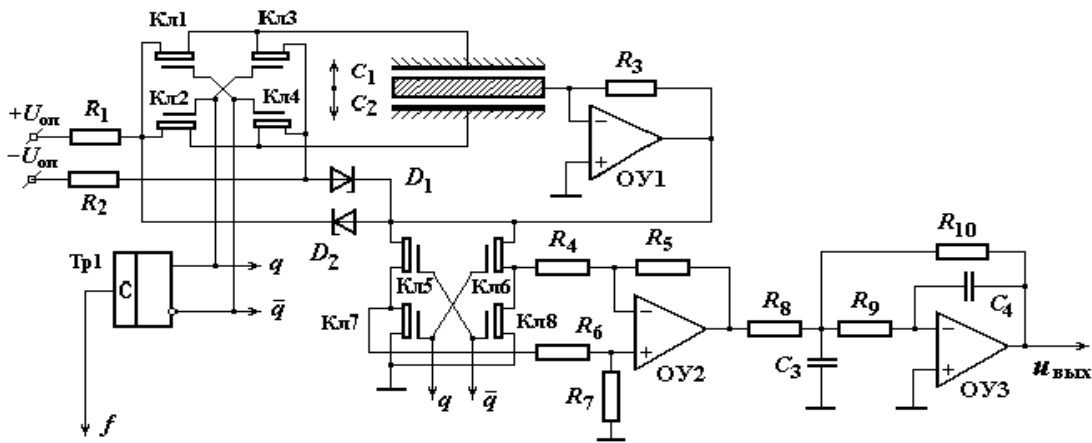


Рисунок 2 – Емкостный преобразователь перемещений в составе интегрального акселерометра

Интегральное уравнение (4) нелинейно. С учетом того, что частота питания моста (100-500 кГц) много больше полосы пропускания механической части (1-100 Гц), формула (4) после преобразования Лапласа приняла вид:

$$(R_3(C_1 + C_2)s + 1)U(s) = R_3(C_1 - C_2)sU_{\approx}(s). \quad (5)$$

Выходное напряжение ОУ1 имеет вредную составляющую, сдвинутую по фазе относительно переменного опорного напряжения. Она уменьшается с ростом частоты питания моста и частично компенсируется после двухполупериодного синхронного детектора, поэтому ею можно пренебречь.

Для того, чтобы коэффициенты передачи синхронного детектора были равны по модулю в оба полупериода, необходимо выполнение условий:  $R_4 = R_6, R_5 = R_7$ . В итоге выходное напряжение емкостного преобразователя перемещения найдено в виде:

$$U_{\text{вых}}(s) = \frac{R_5(C_1 - C_2)U_{\text{оп}}}{R_4(C_1 + C_2)} \cdot \frac{R_{10} / R_8}{1 + C_4(R_{10} + R_9 + R_{10}R_9 / R_8)s + C_3C_4R_{10}R_9s^2}. \quad (6)$$

В формулу (6) входит отношение разности измерительных емкостей к их сумме, то есть схема является дифференциальной и, кроме того, имеет линейную зависимость от перемещения.

**Выводы.** Разработаны генераторный датчик перемещения для интегрального акселерометра, с повышенной на порядок точностью измерений посредством применения ключевой схемы, переключающей времязадающий резистор, и дополнительных емкостей на входе триггера, и дифференциальный емкостный датчик перемещения с непрерывной электрической обратной связью, в котором повышена точность измерений за счет снижения влияния электростатического тяжения.

#### Перечень ссылок.

1. Волович Г.И. Схемотехника аналоговых и аналогово-цифровых электронных устройств. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2005. – 528с.
2. Долгов, А.Н. Разработка микросистемного преобразователя перемещений. – Н. Новгород : НГТУ, 2006. – с. 31.