

Тема 2. Чувствительные элементы датчиков

План занятия

1. Основные положения
2. Резистивные чувствительные элементы
3. Электромагнитные чувствительные элементы
4. Преобразователи Холла
5. Оптические чувствительные элементы
6. Пьезоэлектрические чувствительные элементы

1. Основные положения

В общем случае каждый ЧЭ реагирует на различные воздействия, не являясь, таким образом, датчиком определенного параметра. Именно это обстоятельство привело к появлению погрешностей измерения. Предварительная обработка, в том числе и компенсация погрешностей, осуществляется измерительной цепью. В нее кроме основных ЧЭ, предназначенных для измерения параметров сигналов, включают дополнительные компенсационные ЧЭ, служащие для устранения погрешностей.

Измерительная схема с компенсационными элементами

Принцип размещения компенсационного элемента

2. Резистивные ЧЭ

Принцип действия резистивных ЧЭ основан на измерении вариаций электросопротивления резистора R , под действием влияющего фактора.

Тензодатчики

Тензоэффектом (или пьезорезистивным эффектом) называется свойство проводников и полупроводников изменять электрическое сопротивление при деформации. У полупроводников тензоэффект связан с изменением удельного электросопротивления, причем знак тензоэффекта зависит от типа проводимости материала, а значение — от кристаллографического направления.

Тензочувствительность первичного преобразователя S_T определяется зависимостью:

Тензорезистор является элементом **параметрического** датчика с низким выходным импедансом, и, как правило, включается в мостовую измерительную схему. Если в схеме используется **единственный** тензорезистор, то его подключают по четырех и шестипроводной схемам.

Четырехпроводная мостовая схема

Шестипроводная мостовая схема

Термодатчики

Принцип действия ЧЭ основан на том, что его удельное электросопротивление зависит от рабочей температуры.

Классификация



Функция преобразования термометра сопротивления описывается зависимостью:

Функция преобразования термистора экспоненциальная:

Терморезисторы и термисторы относятся к классу преобразователей **параметрического** типа.

3. Электромагнитные ЧЭ

Принцип действия основан на том, что в измеряемый параметр (например, перемещение) «вовлекается» один из элементов магнитного контура ЧЭ (обычно индуктивность).

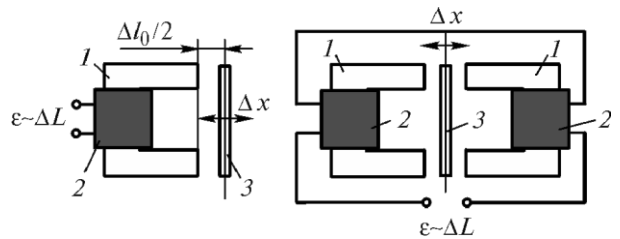
Классификация



Основным электромагнитным ЧЭ является катушка индуктивности — соленоид — винтовая или спиральная катушка из свёрнутого изолированного проводника, обладающая значительной индуктивностью при относительно малой ёмкости и малом активном сопротивлении.

Индуктивность L дросселя с числом витков N катушки, магнитным сопротивлением R_m и относительной магнитной проницаемостью μ сердечника вычисляют по формуле:

$$L = \frac{\mu N^2 S}{l} \quad (1)$$



Вид **функции преобразования** ЧЭ зависит от того, какой из параметров является информативным: если изменяется площадь S зазора, то функция **линейна**, если его длина l , то нет. Как правило, оба эти параметра зависят от перемещения сердечника x

Электромагнитные ЧЭ можно включать по **дроссельной** и **трансформаторной** схемам.

При построении электромагнитных датчиков наиболее часто используют два подхода:

- индуктивный
- индукционный.

В расчетах используют упрощенную формулу:

$$\Delta L(\Delta x) = \frac{\mu N^2 S}{l} \Delta x \quad (2)$$

Существенное уменьшение погрешности, вызванной нелинейностью $\Delta L(\Delta x)$, достигается при **дифференциальной** (встречной) схеме включения двух одинаковых катушек

Дифференциальная схема соединения ЧЭ

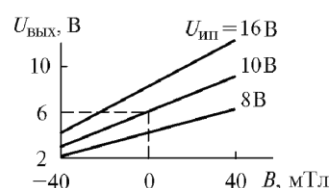
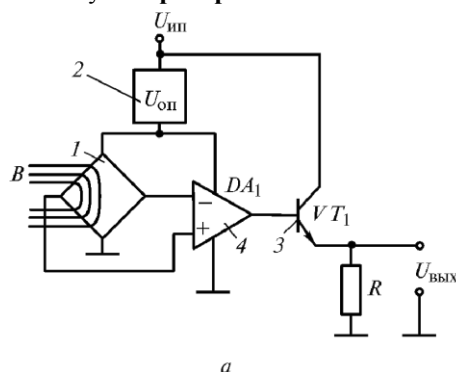
Функция преобразования

4. Преобразователи Холла

Эффект Холла основан на взаимодействии между движущимися носителями электрического заряда и **внешним магнитным** полем. Выходным сигналом **преобразователя Холла** является напряжение Холла U_x , которое возникает в случае, если через находящийся в магнитном поле кристалл протекает опорный ток $I_{оп}$:

$$U_x = R_H \frac{I_{оп} B}{d} \quad (3)$$

Обычно преобразователи Холла выполняют в виде интегральных микросхем. Датчик, содержащий преобразователь Холла, относится к классу **генераторных**.



5. Оптические ЧЭ

В качестве оптических ЧЭ чаще всего используют оптронные пары светоизлучатель — фотоземент.

Излучатели

Температурные (а) и временные (б) характеристики лампы накаливания (1) и светодиода

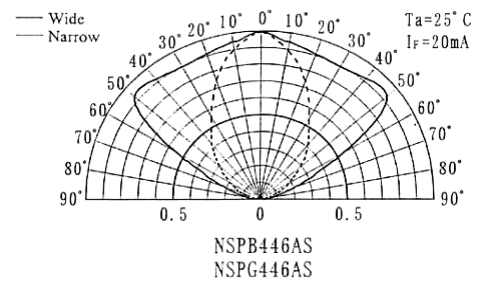
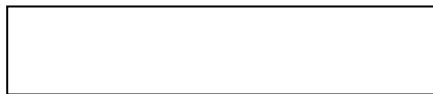


Диаграмма направленности светодиодов

Люминесценция представляет собой нетепловое свечение вещества, происходящее после поглощения им энергии возбуждения.

Диаграмма направленности характеризует зависимость мощности излучения P от его направления r (или угла θ):



Фотоприемник

Действие приемников света, основано на внешнем и внутреннем фотоэффекте

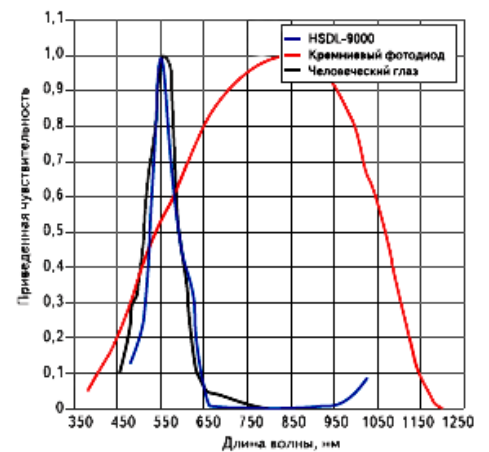
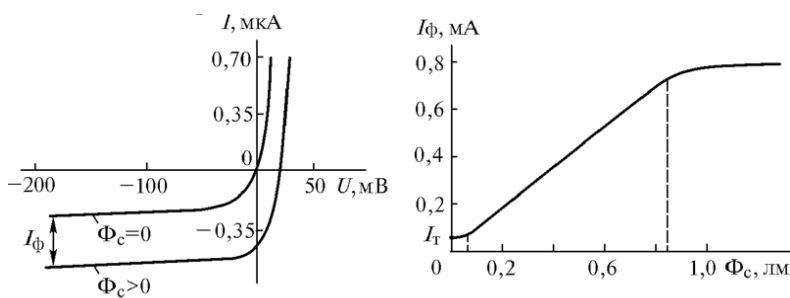
Классификация



Функция преобразования фотоприемника имеет вид:



где S_Φ — чувствительность фотоприемника, А/лм, Φ_c — световой поток, лм.



Фотодиод может работать в **двух режимах**:

- фотогальваническом (без внешнего источника напряжения);
- фотодиодном (с внешним обратным напряжением).

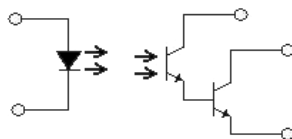


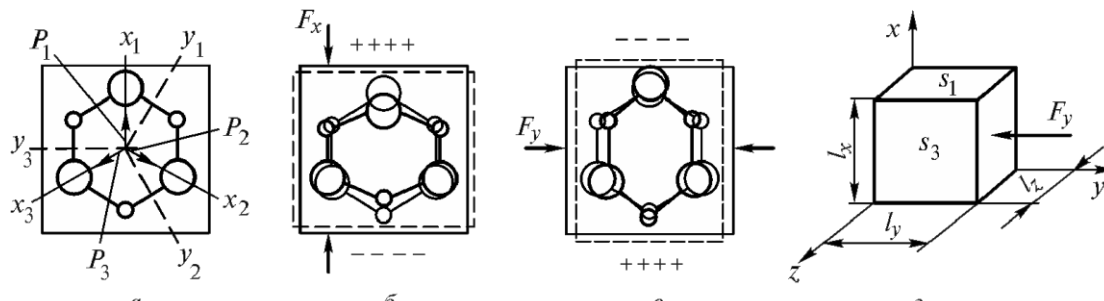
Схема оптрона с фототранзистором

6. Пьезоэлектрические ЧЭ

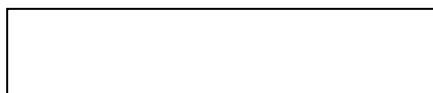
Пьезоэлектрическим называется эффект **поляризации** анизотропного диэлектрика под действием механического напряжения или возникновения в нем механических деформаций под действием электрического поля. В первом случае говорят о **прямом** пьезоэффекте, во втором — об **обратном**.

Основная расчетная модель

Рассмотрим упрощенную модель пьезоэффекта на примере кварца. Элементарная кристаллическая ячейка состоит из трех молекул SiO_2 , которые, группируясь по две, образуют гексагональную структуру. Кристалл имеет срезы вдоль осей x , y и z .



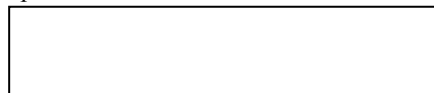
Рассмотрение физической природы пьезоэффекта показывает, что при напряженном состоянии материала заряды принципиально могут возникать между **тремя** парами граней. Это означает, что поляризационный заряд **Q** является вектором и описывается тремя компонентами



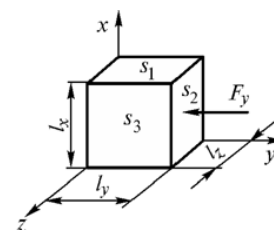
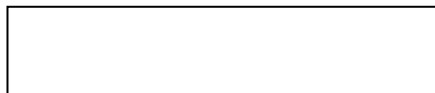
где **q** — плотность заряда; **s** — площадь грани ячейки; **D** — матрица пьезомодулей; **σ** — вектор напряженного состояния.

Пример расчета ЧЭ

Для каждой компоненты вектора **q** справедливо:



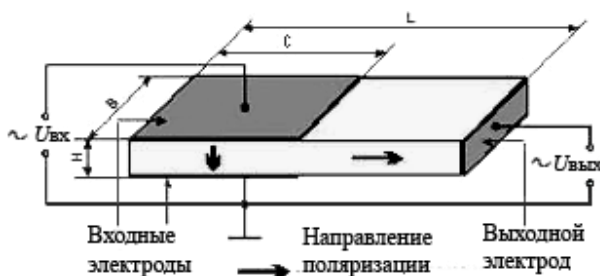
Особенностью **поперечного** пьезоэффекта является возможность **увеличения заряда** путем выбора **относительных размеров** пьезоэлемента, т. е. длин ребер l_x , l_y



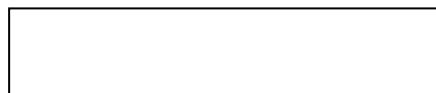
Расчетная схема

Пьезоэлектрический трансформатор

В ЧЭ, построенном по схеме **пьезоэлектрического трансформатора** используют **одновременно** прямой и обратный пьезоэлектрический эффект.



При действии на пьезоэлектрический трансформатор внешней силы **F** возникает деформация кристалла и изменяется частота его собственных механических колебаний f_c , пропорционально приложенной силе:



где $\Delta f_c = f_p - f$ и f_p — резонансная частота ЧЭ, L — длина ЧЭ, C и ρ — жесткость и плотность материала ЧЭ.