

М.А. Анкуда, ст. преп.;
 Н.М. Олиферович, ст. преп.; М.К. Анкуда, ассист.;
 И.О. Оробей, доц., канд. техн. наук;
 Д.С. Карпович, доц., канд. техн. наук
 (БГТУ г. Минск)

АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ГЕНЕРАЦИИ ШУМОВ В ПЛЕНОЧНОМ ПОЛУПРОВОДНИКОВОМ СЕНСоре

Для любого процесса измерения необходимо учитывать все возможные факторы, которые будут влиять на шумовые характеристики сенсора и измерительной схемы. Что позволит оптимизировать процесс обработки данных.

При анализе шумов обычно разделяют внешние и внутренние источники шума. Для изучения внутренних источников шума необходимо проанализировать сам сенсор и его свойства. При этом полупроводниковый сенсор можно представить в виде не шумящего резистора и эквивалентного генератора напряжения внутренних шумов. На практике имеет смысл рассматривать только доминирующие шумы, к которому можно относить тепловой шум резистивного сопротивления сенсора и генерационно-рекомбинационный шум полупроводника. Напряжения источника теплового шума будет определяться [1]:

$$U_T = \sqrt{4 \cdot k \cdot T \cdot R \cdot \Delta f},$$

где k – постоянная Больцмана ($k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К), T – абсолютная температура, R – активное сопротивление сенсора, Δf – полоса частот, пропускаемая схемой.

А напряжение источника генерационно-рекомбинационного шума будет:

$$U_G = \sqrt{\frac{4 \cdot I^2}{N_0} \cdot \frac{\tau}{1 + \omega^2 \cdot \tau^2} \cdot \Delta f}.$$

где I – ток через полупроводниковый сенсор, N_0 – среднее равновесное число носителей заряда в полупроводниковом сенсоре, τ – среднее время жизни носителей в полупроводнике, $\omega = 2\pi f$ – циклическая частота, Δf – полоса частот, пропускаемая схемой.

Поскольку полупроводниковый сенсор не является замкнутой или изолированной системой, то на него могут случайным образом оказывать воздействия различные электроприборы, установки и оборудование. Снижение уровня таких помех осуществляется экранированием и фильтрацией цепей питания. Однако, для сенсора, который должен взаимодействовать с окружающей средой, полное экраниро-

вание невозможно. Находясь во взаимодействии с окружающей средой, сенсор может выступать в качестве приемного устройства, на которое действуют внешние электромагнитные излучения (ЭМИ). Т.е. он становится приемной антенной для ЭМИ и в нем генерируются шумовые напряжения от внешних воздействий.

Передача электромагнитной энергии помехи от источника к полупроводниковому сенсору может осуществляться различным образом, в зависимости от пути распространения помехи.

В случае свободно распространяющихся волн уровень помех, воздействующих на сенсор, зависит от мощности источника излучения, расстояния r до источника, длины волны помехи λ , параметров среды и ряда других факторов.

В зависимости от расстояния от сенсора до источника излучения источника помех целесообразно разделить на

- ближнюю зону $r \leq \lambda/2\pi$
- дальнюю зоны $r \geq \lambda/2\pi$.

Так как электромагнитное возмущение распространяется во все стороны от диполя с одинаковой скоростью, то возникает сферический волновой фронт. Сферическая плоскость упрощает процесс определения мощности излучения электрического диполя:

$$P_{\text{изл}} = \frac{\pi}{3} \cdot I_{\text{СТ}}^2 \cdot \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} \cdot \left(\frac{l}{\lambda}\right)^2$$

где l – длина электрического диполя; $I_{\text{СТ}}$ – ток электрического диполя; μ_0 – магнитная постоянная; ε_0 – электрическая постоянная.

При воздействии электромагнитной волны на электропроводные объекты вследствие антенного эффекта возникают высокочастотные напряжения, непосредственно или косвенно являющиеся помехами в сигнальных контурах.

Напряженность электрического поля на расстоянии x от источника ЭМИ мощностью $P_{\text{изл}}$ может быть определена из соотношения [2]:

$$E_x = 0,3 \cdot \frac{\sqrt{P_{\text{изл}}}}{x}$$

Приближенно индуцируемая ЭДС в антенном элементе, которым может быть полупроводниковый пленочный сенсор, рассчитывается

$$U_W = E_x l_{\text{ef}}$$

где l_{ef} – эффективная длина антенного элемента.

Длина l_{ef} зависит от размеров устройства, обладающего антенными свойствами и длины падающей волны.

Электромагнитные поля, излучаемые отдельными участками токовых областей некоторого источника, представляют собой распространяющиеся электромагнитные волны, а результирующее поле в точке приема является суперпозицией этих волн.

Таким образом, полупроводниковый сенсор можно представить в виде шумящего резистора, эквивалентная схема которого представляет собой последовательно соединенные не шумящий резистор с сопротивлением R и эквивалентный генератор напряжения, который будет учитывать внешние и внутренние шумовые воздействия.

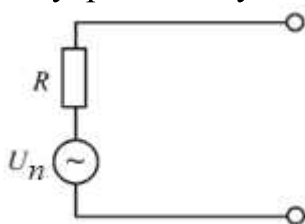


Рисунок 1 – Эквивалентная схема сенсора с генератором шумового напряжения

Среднеквадратичное значение полного шумового напряжения сенсора, приведенное к входу измерительной схемы, определяется формулой:

$$U_n = \sqrt{U_F^2 + U_G^2 + U_W^2}.$$

Поскольку источники шума являются случайными и/или имеющими гауссово распределение, суммарный шум некоррелированных источников равняется квадратному корню из суммы квадратов составляющих.

В результате получили схему замещения и электрическое описание полупроводникового пленочного сенсора с учетом наличия внутренних и внешних источников шума.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анкуда, М. А. Определение шумовой составляющей сигнала в измерительных преобразователях для полупроводниковых сенсоров / М. А. Анкуда, Д. С. Карпович, Н. М. Олиферович // Химическая технология и техника : материалы 88-й науч.-техн. конф. профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 29 января – 16 февраля 2024 г. – Минск: БГТУ, 2024. – С. 350-354.

2. Харлов Н.Н. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 207 с.