

Обеспечение устойчивой работы СВЧ сегнетоэлектрических устройств в широком температурном диапазоне

К.А. Дмитриев¹, С.П. Зубко¹, А.Х. Курбанов², И.Д. Максименко¹

¹Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

²ООО «МикроВейв АйСи»

Аннотация: Рассмотрен способ обеспечения устойчивой работы управляемых СВЧ устройств на основе сегнетоэлектрических материалов методом электрической термокомпенсации в заданном интервале температур. Спроектирован лабораторный стенд, позволяющий реализовать данный метод и оценить его эффективность.

Ключевые слова: СВЧ, сегнетоэлектрик, электрическая термокомпенсация

1. Введение

Компоненты СВЧ на основе сегнетоэлектриков обладают большей электрической и радиационной стойкостью по сравнению с компонентами на основе полупроводников, и меньшим энергопотреблением в сравнении с ферритами. Быстродействие и скорость переключения также являются достоинством сегнетоэлектриков. Вышеперечисленные особенности позволяют сегнетоэлектрическим устройствам решать задачи, недоступные для полупроводников и ферритов. Однако существенная зависимость диэлектрической проницаемости от температуры мешает предсказуемой работе СВЧ устройства. Обеспечение стабильности работы в широком диапазоне температур является актуальной задачей для разработчиков устройств микроэлектроники. Так, например, к фазовращателям (ФВ), используемым в фазированных антенных решетках (ФАР) для радарных и антистолкновительных систем, устанавливаемых на движущемся транспорте, предъявляется требование осуществления устойчивого управления фазой сигнала в температурном диапазоне от -60 до $+80^{\circ}\text{C}$.

В данной работе реализован метод электрической термокомпенсации - компенсации температурной зависимости диэлектрической проницаемости путем приложения к сегнетоэлектрику зависящего от температуры управляющего напряжения.

2. Сборка стенда и экспериментальные результаты

Термоэлектрическая компенсация – метод компенсации температурной зависимости диэлектрической проницаемости сегнетоэлектрических компонентов путем приложения к нему зависящего от температуры управляющего напряжения.

В качестве объекта исследования выступает планарный сегнетоэлектрический конденсатор, ёмкость которого рассчитывается методом частичных ёмкостей и конформных отображений:

$$C(T) = w\varepsilon_o \left(\frac{\varepsilon_f(T) - \varepsilon_s - 1}{s/h + 4 \frac{\ln(2)}{\pi}} + \frac{2}{\pi} \ln\left(4 \frac{L}{s}\right) + (\varepsilon_s - 1) \frac{1}{\pi} \ln\left(\frac{16H}{\pi s}\right) \right)$$

где w – ширина конденсатора; ε_f – диэлектрическая проницаемость сегнетоэлектрика; ε_s – диэлектрическая проницаемость подложки; s – ширина зазора планарного конденсатора; h – толщина сегнетоэлектрической пленки; L – длина электродов; H – толщина подложки.

График зависимости ёмкости сегнетоэлектрического конденсатора от температуры представлен на рисунке 1.

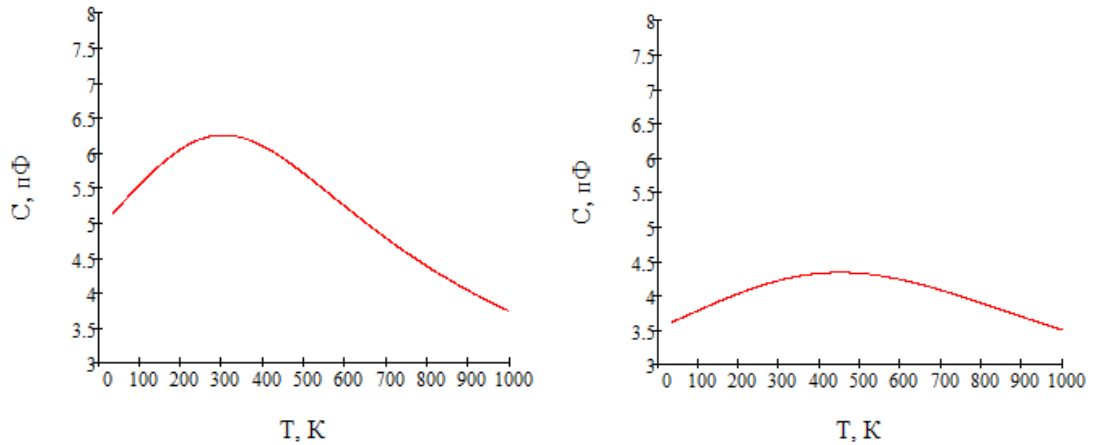


Рисунок 1. Зависимость ёмкости сегнетоэлектрического конденсатора при
a – при $U = 0$ В, *б* – при $U = 10$ В.

Имея требуемое значение C_g (соответственно и ε_g) нетрудно определить необходимое управляющее напряжение:

$$U(T) = E(T)(s + h)$$

$$E(T) = \sqrt{\left(\frac{\varepsilon_{oo}}{\varepsilon_g} - \eta(T)\right)\left(\frac{\varepsilon_{oo}}{\varepsilon_g} + \eta(T)\right)^2 En^2 - \xi_s^2 En_o^2}$$

где ε_{oo} – аналог постоянной Кюри-Вейса; температурный коэффициент η определяется как $\eta(T) = \frac{T}{T_c} - 1$, где T_c – температура Кюри; En – нормирующее поле, ξ_s – параметры, характеризующие кристаллографическое качество сегнетоэлектрика. График зависимости управляющего напряжения от температуры представлен на рисунок 2.

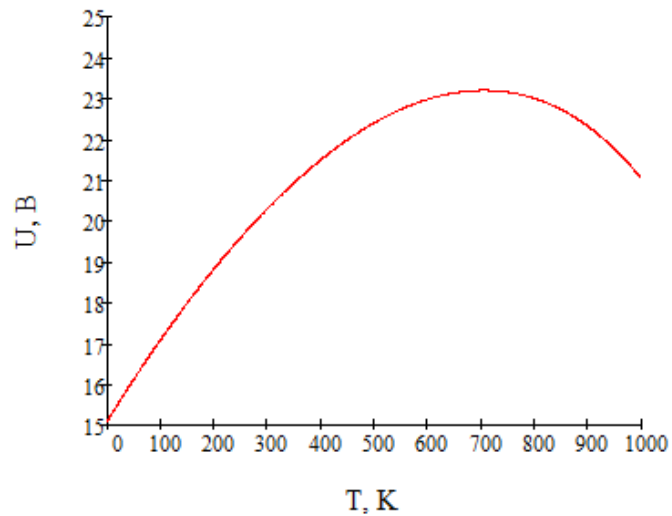


Рисунок 2. Зависимость управляющего напряжения от температуры

Подавая на сегнетоэлектрический конденсатор зависящее от температуры напряжение, получим постоянную ёмкость в довольно широком диапазоне температур. Итоговый график зависимости емкости от температуры представлен на рисунок 3.

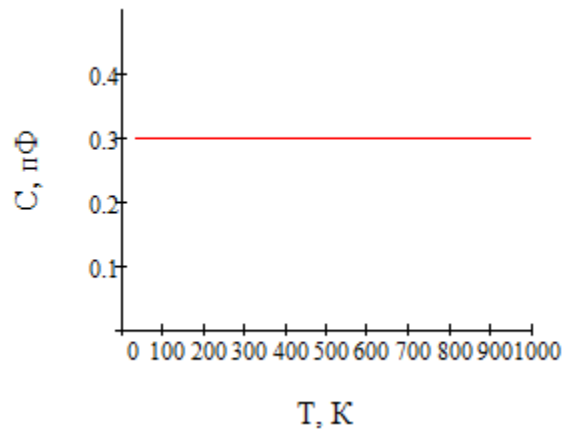


Рисунок 3. Зависимость емкости конденсатора от температуры при подаче на него зависящего от температуры напряжения

На практике осуществление электрической термокомпенсации можно реализовать с помощью блока коррекции реализованного с помощью контроллера. Через него рассчитывается корректирующее напряжение $U_{кор}$, которое суммируется с напряжением смещения U_c . Блок-схема модуля дискретной коррекции напряжения показана на рисунке 4, где *БД* — управляемый источник напряжения смещения, *ТД* — термодатчик.

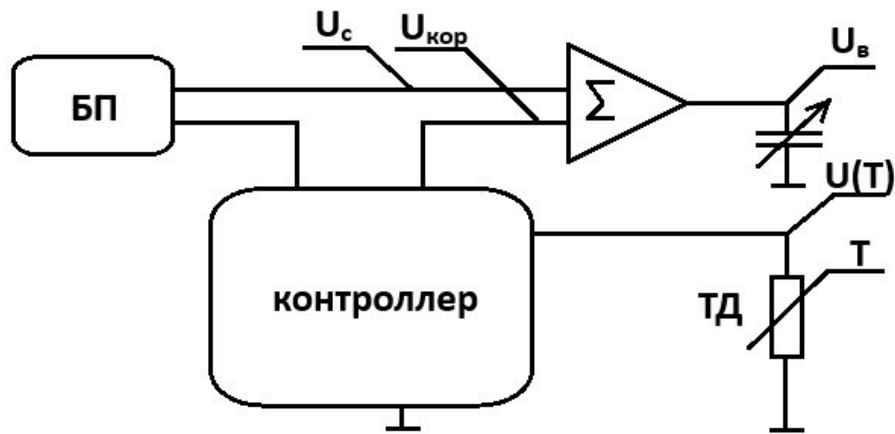


Рисунок 4. Блок-схема модуля дискретной коррекции напряжения

3. Заключение

Разработанная схема позволяет реализовать на практике метод электрической термокомпенсации с помощью дискретной коррекции напряжения. Это позволяет нивелировать недостаток сегнетоэлектриков – зависимость диэлектрической проницаемости от температуры, и сохранить зависимость диэлектрической проницаемости от приложенного электрического поля. Данный метод является наиболее простым и довольно эффективным по сравнению с другими методами.

Список литературы

1. С. П. Зубко, А.Х. Курбанов. Обеспечение устойчивой работы сверхвысокочастотных сегнетоэлектрических устройств в широком температурном диапазоне. Письма в ЖТФ, 2003, том 29, вып. 17
2. Сегнетоэлектрики в технике СВЧ/ Н.Н. Антонов, И.М. Бузин, О.Г. Вендик и др.; Под ред. О. Г. Вендика – М.: Сов. радио, 1979 – 272 с., ил.