

В. С. Осадчук, д. т. н., проф.; А. В. Осадчук, д. т. н., проф.; А. С. Звягин

МИКРОЭЛЕКТРОННЫЙ ЧАСТОТНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ВЛАЖНОСТИ

Показана возможность создания микроселектронного частотного преобразователя влажности нефтепродуктов на основе транзисторной структуры с отрицательным сопротивлением в сочетании с влагочувствительной конденсаторной цилиндрической структурой. Получена экспериментальная функция преобразования частотного преобразователя влажности нефтепродуктов.

Ключевые слова: влажность, преобразователь влажности, конденсаторная цилиндрическая структура, нефтепродукт, отрицательное сопротивление.

Вступление

Среди сенсоров разного типа особое место в измерительной технике занимают преобразователи влажности. Вопрос изучения, разработки и производства средств измерения влажности актуален, а в особенно в таких областях промышленности как пищевая, авиационная и космическая техника, химическая и нефтегазовая промышленность, эффективность которых в значительной мере зависит от точности измерения влажности. Контроль влажности нефти необходимый в процессах ее добычи, хранения, транспортирования и переработки [1]. Именно наличие содержания влаги в нефтепродуктах вызывает изменение их физико-химических параметров и тем самым уменьшает срок их службы.

Теоретические исследования показали, что использование транзисторных структур с отрицательным сопротивлением и реактивных свойств полупроводниковых приборов, существенно повышает чувствительность и точность измерения исследуемого сигнала, в нашем случае влажности нефтепродуктов [2, 3].

Важным вопросом является определение вольт-амперной характеристики частотного влагочувствительного преобразователя, так как выбор рабочей точки на этой характеристике обуславливает самовозбуждения и стойкость работы автогенератора преобразователя, а также определение зависимости функции преобразования и уравнения чувствительности.

Основная часть

На рис. 1 изображена электрическая схема частотного преобразователя влажности нефтепродуктов (ЧПВН), влагочувствительным элементом которого является конденсаторная цилиндрическая структура (КЦС) [4, 5]. ЧПВН состоит из источников постоянного напряжения U_1 и U_2 транзисторов VT1 и VT2, влагочувствительного конденсатора C_w , катушки индуктивности L_1 , ограничительного конденсатора C_1 и резисторов R_1 и R_2 .

Устройство для определения влажности работает таким образом. В начальный момент времени влага не действует на КЦС C_w . С повышением напряжения питания U_2 до величины, когда на электродах эмитер-первый затвор транзисторов VT1 и VT2 возникает отрицательное сопротивление, приводящее к возникновению электрических колебаний в контуре. Контур образован параллельным включением полного сопротивления с емкостной составной на электродах эмитер-первый затвор транзисторов VT1 и VT2, и индуктивности L_1 . При следующем действии влаги на КЦС C_w изменяется емкостная составная полного сопротивления на электродах эмитер-первый затвор транзисторов VT1 и VT2, что вызывает

эффективное изменение частоты колебательного контура.

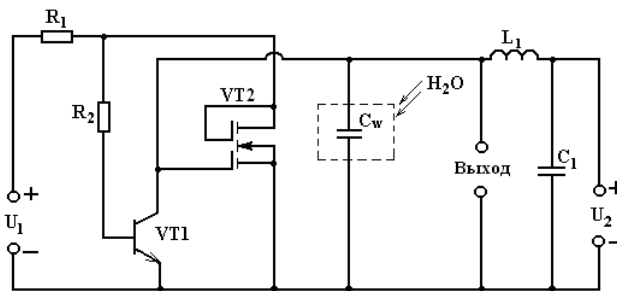


Рис. 1. Электрическая схема частотного преобразователя влажности нефтепродуктов

С помощью схемотехнического моделирования в среде Orcad Family Release 16.0 с использованием транзисторов BF240 и BF998 были получены вольт-амперные характеристики (ВАХ) для преобразователя влажности при разных напряжениях управления, которые приведены на рис. 2. Из характеристик видно присутствие участка с отрицательным сопротивлением, а также, наблюдаем то, что при увеличении напряжения управления U_1 увеличивается участок отрицательного сопротивления. Так, при $U_1=1,2$ В участок отрицательного сопротивления по U_2 лежит от 0,1 В до 0,5 В, при $U_1=1,35$ В – от 0,15 В до 1,3 В, а при $U_1=1,5$ В он составляет от 0,17 В до 1,55 В. Расхождение теоретических и экспериментальных ВАХ составляет не более 3%.

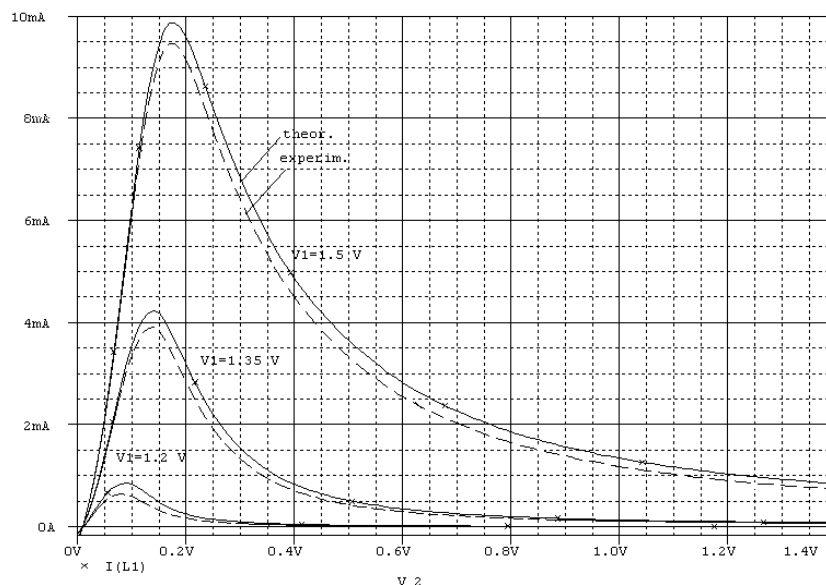
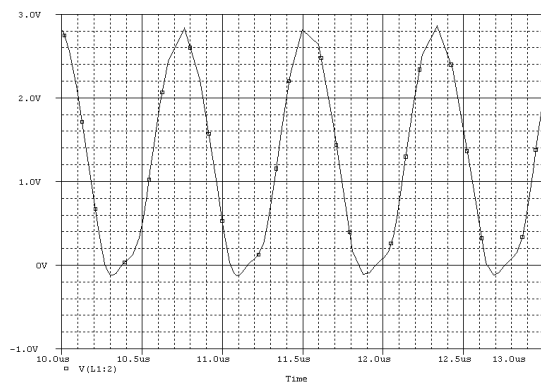


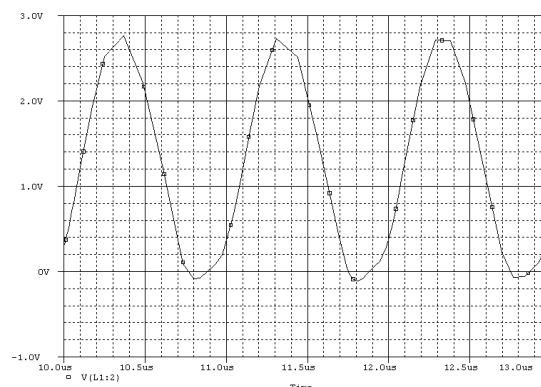
Рис. 2. ВАХ частотного преобразователя влажности

В электрической схеме ЧПВН (рис. 1) в результате экспериментальных исследований было определено местоположение КЦС, где она имеет наибольшую чувствительность к входному параметру, а именно влажности нефтепродукта. Для большей экономичности и компактности лучше использовать один источник питания, чем два. С ВАХ ЧПВН было определено, что наиболее оптимальным режимом питания для схемы является напряжение $U_1 = U_2 = 1,25$ В.

На рис. 3 показано изменение величины напряжения исходного сигнала преобразователя влажности от времени в среде Orcad Family Release 16.0, при разных значениях емкости КЦС $C_W = 45$ пФ рис. 3а и $C_W = 180$ пФ рис. 3б, при этом напряжение питания $U_1 = U_2 = 1,25$ В. Так при $C_W = 45$ пФ частота исходного сигнала $F = 1260$ кГц, а при $C_W = 180$ пФ частота исходного сигнала $F = 1040$ кГц.



а)



б)

Рис. 3. Изменение величины напряжения исходного сигнала от времени

На рис. 4 представлена экспериментальная блок-схема измерительной установки для исследования зависимости исходной частоты ЧПВН от влажности нефтепродуктов.

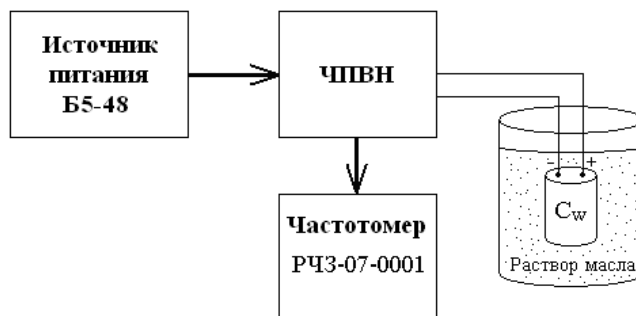


Рис. 4. Блок-схема измерительной установки для исследования зависимости частоты генерации преобразователя от массовой влажности нефтепродуктов

В измерительной установке было использовано влагочувствительную КЦС, которая изображена на рис. 5. КЦС состоит из сеткообразных электродов, размещенных один напротив другого таким образом, что расположение отверстий в первом электроде совпадает с отверстиями во втором электроде [5]. Электроды 1 и 2 крепко закреплены в диэлектрической трубе 3, причем они покрыты слоем полимера 4 и содержат отверстия 5 для движения потока жидкости, которая имеет диэлектрические свойства. Внешний диаметр диэлектрической трубы равняется 50 мм, а расстояние между электродами составляет 1,5 мм. Для минерального масла марки "М8В" начальная емкость при данных геометрических размерах и при нулевой влажности $W=0\%$ равная 20 пФ, а при $W=30\%$ – 44,5 пФ.

КЦС работает таким образом. Во время движения потока жидкости через диэлектрическую трубу, в которой находится влагочувствительный емкостный сенсор для измерения влажности, жидкость через отверстия 5 заполняет пространство между электродами 1 и 2, которые покрыты слоем полимера 4 и жестко закреплены в диэлектрической трубе 3. Это вызывает изменение диэлектрической проницаемости емкостного сенсора влажности. В зависимости от изменения влажности измерительной жидкости изменяется ее диэлектрическая проницаемость, значит, изменяется и емкость сенсора влажности.

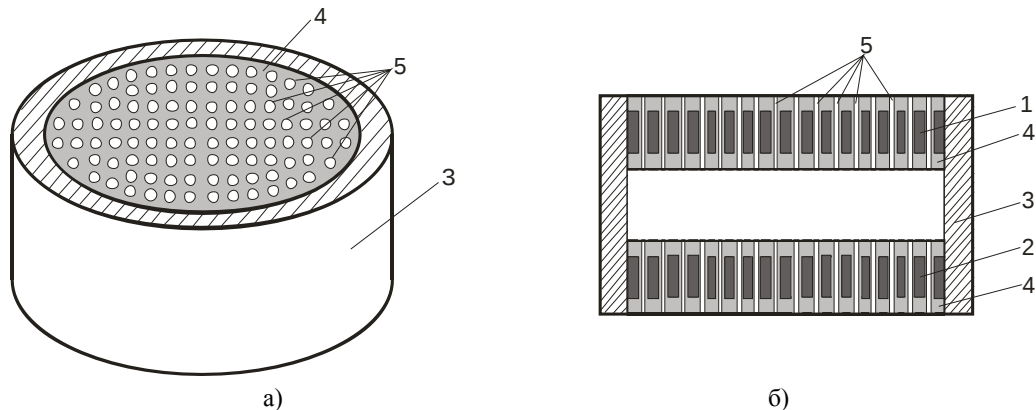


Рис. 5. Влагочувствительный емкостный сенсор для измерения влажности нефтепродуктов [5] общий вид (а), поперечный разрез (б): 1, 2 – электроды; 3 – диэлектрическая труба; 4 – слой полимера; 5 – отверстия

В данном случае исследовалась зависимость частоты генерации от массовой влажности минерального масла "М8В". При экспериментальном исследовании зависимости частоты генерации F от влажности минерального масла "М8В" было определено, что частота выходного сигнала F уменьшается от 1368 кГц до 1262 кГц (рис. 6) при изменении массовой влажности в диапазоне от $W=0\%$ до $W=30\%$.

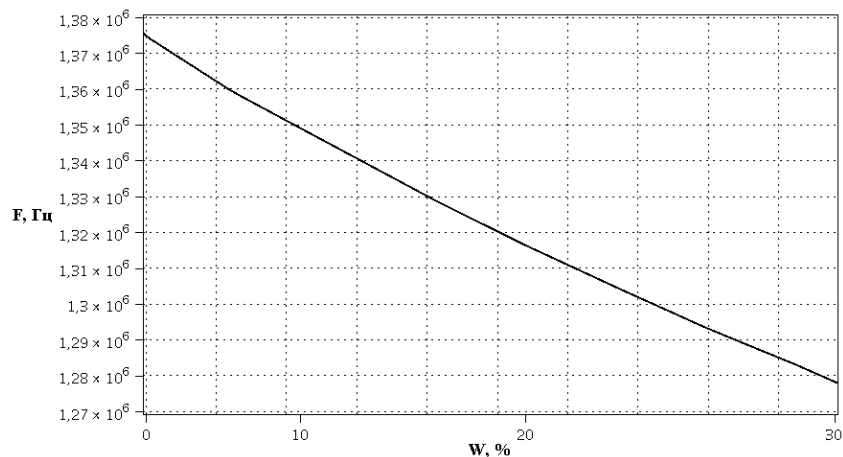


Рис. 6. Экспериментальная зависимость частоты генерации от влажности минерального масла "М8В"

Для определения чувствительности микроэлектронного преобразователя влажности нефтепродуктов применим кусочно-линейную аппроксимацию к функции преобразования. Так чувствительность преобразователя влажности при изменении влажности от 0% до 20% составляет 3 кГц /%, а в диапазоне изменения влажности от 20% до 30% чувствительность равна 4,5 кГц /%.

Выводы

Показана возможность создания ЧПВН на основе транзисторной структуры с отрицательным сопротивлением в сочетании с влагочувствительной конденсаторной цилиндрической структурой. Получена экспериментальная функция преобразования ЧПВН. Чувствительность разработанного преобразователя влажности при изменении влажности от 0% до 20% составляет 3 кГц/%, а в диапазоне изменения влажности от 20% до 30% равна 4,5 кГц/%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Осадчук В. С. Проблеми вимірювання вологості нафтопродуктів та метод підвищення його точності / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, О. С. Звягін // Нові технології. Науковий вісник КУЕІТУ. – 2010. – № 1. – С. 135 – 139.
2. Осадчук О. В. Мікроелектронні частотні перетворювачі на основі транзисторних структур з від'ємним опором: монографія / О. В. Осадчук. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2000. – 303 с.
3. Осадчук В. С. Реактивні властивості транзисторів і транзисторних схем : навч. посіб. для студ. ВНЗ / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1999. – 275 с.
4. Патент 40284 Україна, МПК G 01 N 27/22. Сенсор для вимірювання вологості / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, О. С. Звягін; заявник на патентовласник Вінницький національний технічний університет. – №u200814052; заявл. 05.12.2008; опубл. 25.03.2009; Бюл. № 6.
5. Осадчук О. В. Вологочутливий ємнісний сенсор для вимірювання вологості нафтопродуктів / О. В. Осадчук, О. С. Звягін, Л. В. Крилик // Вісник національного університету «Львівська політехніка». Серія: «Автоматика, вимірювання та керування». – 2010. – № 665. – С. 174 – 178.

Осадчук Владимирович Степанович – д. т. н., профессор кафедры электроники.

Осадчук Александр Владимирович – д. т. н., профессор, заведующий кафедрой радиотехники.
E-mail: osadchuk69@mail.ru.

Звягин Александр Сергеевич – аспирант кафедры радиотехники, E-mail: zviahin@rambler.ru.
Винницкий национальный технический университет.