

Содержание

Введение.....	8
4. Экспериментальный раздел.....	11
4.1. Выбор метода и описание стенда.....	11
4.2. Контактное устройство.....	12
4.3. Анализатор цепей (векторный).....	13
4.4. Коммутационная матрица.....	14
4.5. СВЧ сборки кабелей и кабели питания и управления.....	16
4.6. Процесс измерения электрофизических параметров ДР.....	18
4.7. Результаты измерений электрофизических параметров диэлектрического резонатора.....	21
5. Экономический раздел.....	22
5.1 Техничко-экономическое обоснование.....	22
5.2 Разработка сетевого графика реализации технических мероприятий.....	23
5.3. Описание работ сетевого графика разработки и изготовления опытного образца.....	24
5.4. Расчет параметров сетевого графика.....	25
5.5. Расчет требуемых затрат на разработку опытного образца диэлектрического резонатора из материала БЦНТ.	26
5.5.1. Расчет капитальных затрат.....	26
Заключение.....	32
Список используемой литературы.....	33

Введение

Активное развитие СВЧ-микроэлектроники сопровождается рядом трудоемких задач, таких как миниатюризация, повышение надежности и технологичности радиоэлектронной аппаратуры, посредством улучшения свойств материалов и их температурной стабильности, и получение устройств с характеристиками, недостижимыми ранее на основе традиционных подходов к решению таких задач.

Более перспективными в области СВЧ-техники стали электродинамические системы с медленными волнами, волноведущие и колебательные свойства которых возникают благодаря явлению внутреннего отражения на границе диэлектриков с различными значениями диэлектрических проницаемостей. В состав современных микроэлектронных СВЧ-устройств входят такие элементы как диэлектрические резонаторы (ДР). Диэлектрические резонаторы из современных материалов не уступают полым металлическим резонаторам в температурной стабильности резонансной частоты, выгодно отличаясь от них улучшенными

массогабаритными характеристиками. Диэлектрические резонаторы конструктивно просто сочетаются с пассивными и активными элементами гибридных интегральных схем. Преимуществом ДР являются высокие значения собственных добротностей.

К диэлектрикам, которые применяют для изготовления ДР, предъявляют следующие требования: низкие диэлектрические потери ($\text{tg}(\delta) < 10^{-3}$), высокая диэлектрическая проницаемость ($\epsilon_d > 30$). Для изготовленных ДР важны высокая электрическая и механическая прочность, высокая стабильность электрических параметров в широком интервале температур, стабильность свойств при воздействии различных внешних факторов, доступность сырья и материалов, технологичность. Таким образом,

высокие требования к качеству ДР требуют достаточно точных методов измерения их параметров, одним из которых является температурная стабильность частоты. Данная работа посвящена изучению методов измерения параметров диэлектрических резонаторов. [1]

4. Экспериментальный раздел

4.1. Выбор метода и описание стенда

Измерение электрофизических характеристик диэлектрического резонатора будет производиться с помощью резонансного метода измерения. Данный метод является наиболее подходящим, так как обеспечивает высокую точность измерений, всех необходимых параметров диэлектрического резонатора.

Кроме того, помимо крайне точного измерения диэлектрической проницаемости, с помощью данного метода можно измерять и температурный коэффициент чистоты (ТКЧ).

Измерения электрофизических параметров будут производиться с помощью измерительного стенда, который и будет рассмотрен в данной главе.

Стенд состоит из:

- Анализатор цепей (векторный);
- Коммутационная матрица;
- Контактное устройство (КУ);
- СВЧ сборки кабелей;
- ПК с программой расчета и управления;
- Кабель питания и управления;
- Температурная камера

4.2. Контактное устройство

Главным компонентом рассматриваемого измерительного стенда является контактное устройство.

Схема КУ приведена на рис. 1.

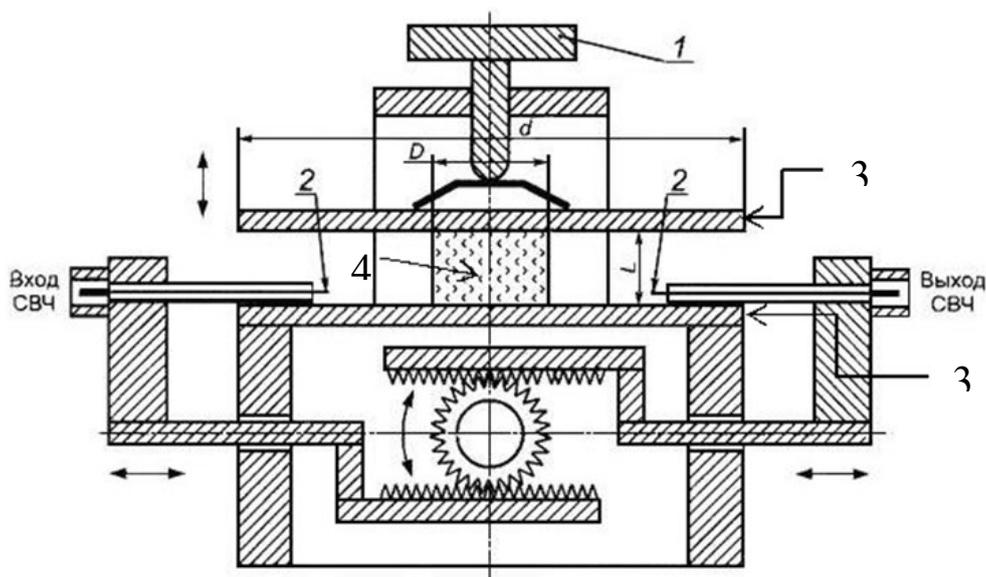


Рис.1. Схема контактного устройства, где:

1,3 – Зажим верхней проводящей пластины, 2 – элементы возбуждения, 4 – ДР.

Контактное устройство должно соответствовать следующим требованиям:

- устойчивое крепление ДР;
- допустимость измерения диэлектрических резонаторов любого размера;

Конструкция контактного устройства включает в себя три пластины. Центральная и нижняя пластины позолочены и представляют собой две замыкающие стенки, которые превращают линию передачи диэлектрического стержня в резонансную структуру. Центральная пластина может перемещаться

для размещения образцов различной длины. Связь с образцом осуществляется с помощью прямоугольных зондов, которые могут перемещаться внутрь и наружу радиально относительно образца, чтобы варьировать коэффициенты связи. [2]

4.3. Анализатор цепей (векторный)

Помимо КУ в измерительный стенд так же входит анализатор цепей (векторный) (ВАЦ). В данной работе в качестве ВАЦ был применен анализатор цепей серии E5071C (Рис. 2) изготовленный компанией Keysight Technologies.

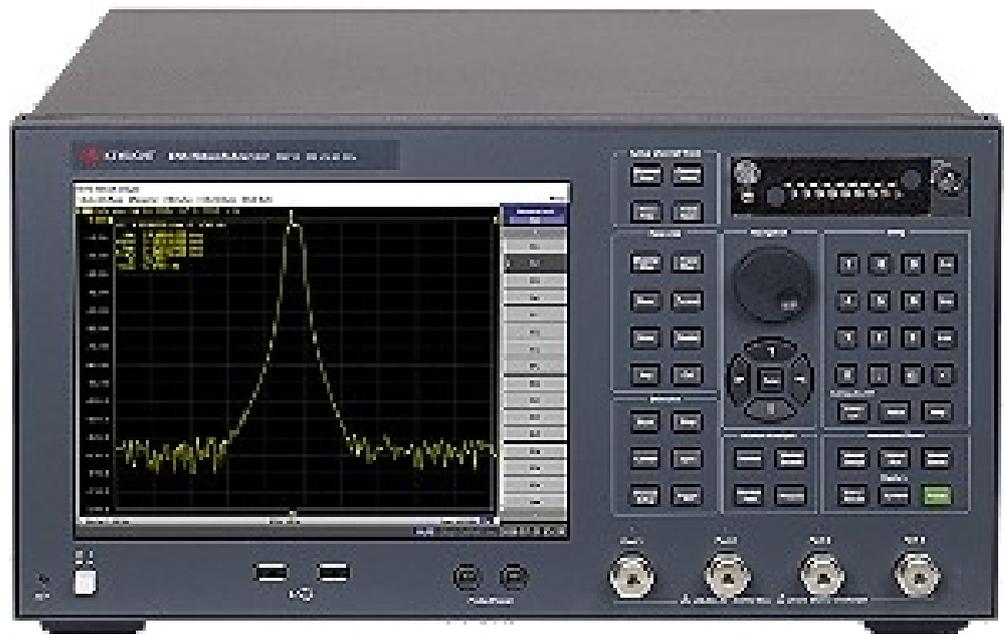


Рис. 2. ВАЦ серии E5071C

Данный ВАЦ обладает следующими характеристиками:

- Широкий частотный диапазон: от 9 кГц до 4,5 ГГц, 6,5 ГГц, 8,5 ГГц, 14 ГГц или 20 ГГц;
- Наличие четырех измерительных портов;
- Высокая производительность и точность измеряемых параметров, а так же высокая скорость измерений;

4.4 Коммутационная матрица

Так же помимо ВАЦ в измерительный стенд входит матрица коммутации, которая позволяет измерять сразу несколько диэлектрических резонаторов, путем переключения сигнальных трактов без ручного переключения соединений, что существенно увеличивает

производительность измерений. В данной работе была применена коммутационную матрицу U3020AS26 (Рис. 3) производимую компанией Keysight Technologies.



Рис. 3. Коммутационная матрица U3020AS26

Пример подключения коммутационной матрицы U3020AS26 к ВАЦ серии E5071C приведен на рис. 4.



Рис. 4. Пример подключения коммутационной матрицы U3020AS26 к ВАЦ серии E5071C

4.5. СВЧ сборки кабелей и кабели питания и управления

Подбор подходящих коаксиальных кабелей питания для соединения измерительного стенда является не менее важной процедурой, так как это напрямую зависит от точности проводимых измерений. Коаксиальный кабель питания для соединения измерительного стенда представлен на рис. 5.



Рис.5. Коаксиальный кабель питания для соединения измерительного стенда

Для высокой производительности и точности проводимых измерений коаксиальный кабель питания для соединения измерительного стенда должен обладать следующими свойствами:

- Иметь хорошие электрические характеристики;
- Устойчивость при изменении температуры;
- Обеспечивать минимальные вносимые потери коэффициент отражения;
- Обладать износостойким покрытием;
- Иметь высокую фазостабильность;

4.6. Процесс измерения электрофизических параметров ДР

После подключения измерительного стенда и соблюдения всех указанных выше, можно перейти непосредственно к самому процессу измерения электрофизических параметров ДР.

Процесс измерения электрофизических параметров ДР состоит из следующих этапов:

- Опытный образец диэлектрического резонатора помещают в контактное устройство;
- Контактное устройство с помощью коаксиальных кабелей подключается к коммутационной матрице U3020AS26, управление которой осуществляется с помощью ПК;
- Коммутационная матрица U3020AS26 подключается к ВАЦ серии E5071C;
- С помощью ВАЦ серии E5071C проводятся измерения коэффициента передачи, исходя из результатов которого, осуществляется вычисление добротности и диэлектрической проницаемости;
- Для измерения температурного коэффициента частоты (ТКЧ) контактное устройство вместе с опытным образцом диэлектрического резонатора помещают в температурную камеру. Происходит изменение температуры в широком диапазоне, в результате чего исследуется сдвиг резонансной частоты, по результатам которого и осуществляется измерение ТКЧ.
- Все непосредственные автоматизированные измерения производятся на персональном компьютере (ПК) по специализированным программным обеспечением (ПО).

Программное обеспечение позволяет, выполняет следующие функции:

- Осуществлять управление ВАЦ – начинать измерение электрофизических параметров и собирать данные об измерении;
 - Осуществлять управление коммутационной матрицей;
 - Осуществлять управление тепловой камерой – изменение температуры измеряемой среды.
 - Проводит автоматизированные измерения необходимых электрофизических параметров;
 - Составляет полный отчет о результатах измерений; [3]
- Блок схема измерительно стенда представлена на рис. 6.

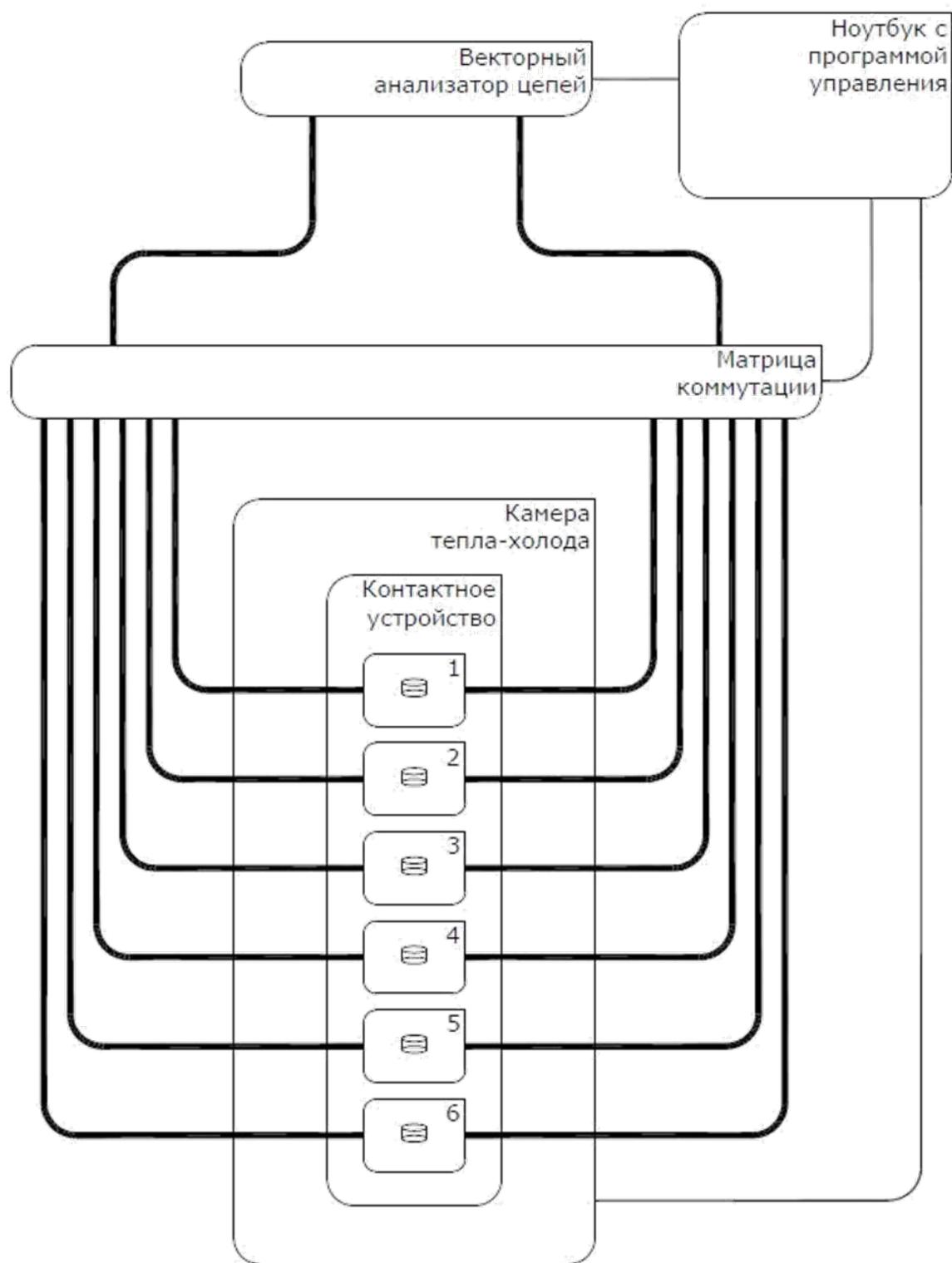


Рис. 6. Блок схема измерительно стенда

4.7. Результаты измерений электрофизических параметров диэлектрического резонатора

В результате измерений электрофизических параметров опытного образца диэлектрического резонатора изготовленного из материала БЦНТ были получены следующие результаты:

- Диэлектрическая проницаемость - 30;
- Добротность Q на частоте 10 ГГц - 9 800;
- Температурный коэффициент частоты – 4.

В таблице 9 представлено сравнение электрофизических параметров опытного образца с ТЗ.

Исходя из технического задания (ТЗ), целью которого было изготовление опытного образца диэлектрического резонатора из материала БЦНТ с параметрами удовлетворяющими современным требованиям предъявляемым к электрофизическим параметрам диэлектрических резонаторов:

- Диэлектрическая проницаемость - 30-32;
- Добротность Q на частоте 10 ГГц - 1000;
- Температурный коэффициент частоты – 1-4

можно сделать вывод, что данный опытный образец удовлетворяет современным требованиям, предъявляемым к электрофизическим параметрам диэлектрических резонаторов. [4]

5. Экономический раздел

5.1 Технико-экономическое обоснование

В настоящее время к СВЧ технике приковано большое внимание, так как данная область активно используется как в военной технике, так и мирных целях. Применение в мирных целях активно связано с диэлектрическими материалами. В вопросе диэлектрических материалов большую роль играет создание и разработка новых более прогрессивных диэлектрических материалов, с ещё более высокотехнологичными электрофизическими параметрами.

Так как диэлектрические резонаторы активно используются в СВЧ технике, и я являются основными элементами таких приборов как СВЧ фильтр и СВЧ генераторы которые являются неотъемлемой частью любой современной военной техники, то поиск новых технологических путей изготовления диэлектрических резонаторов является наиболее актуальным на данный момент.

Известно много разных способов изготовления диэлектрических резонаторов из различных диэлектрических материалов, которые обусловлены областью применения, особенностью конструкции и другими различными факторами.

Выбранный мною метод изготовления обусловлен следующим:

- Высокая надежность, обусловленная отсутствием составных частей;
- Незначительная трудоемкость, обусловленная возможностью автоматизированного процесса вычисления необходимого размера диэлектрического резонатора;
- Повышенная точность получения значений основных электрофизических параметров диэлектрического резонатора;

5.2 Разработка сетевого графика реализации технических мероприятий

Сетевой график производственного процесса выполненных работ представлен на рис 18.

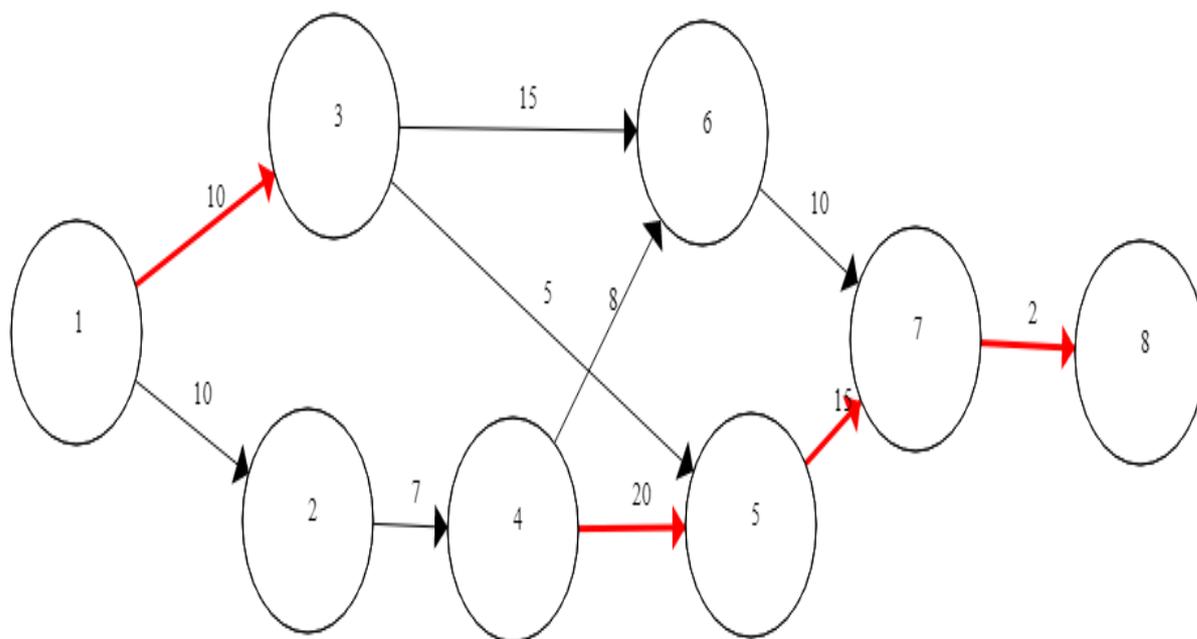


Рис. 7. Сетевой график производственного процесса выполненных работ

5.3. Описание работ сетевого графика разработки и изготовления опытного образца

В таблице 1 приведено описание работ сетевого графика технологического процесса разработки и изготовления опытного образца

Таблица 1. Описание работ сетевого графика

Наименование работ	Продолжительность T_{i-j} (дни)
Изучение литературы	10
Исследование материала	10
Конструирование ДР	7
Разработка ТЗ	5
Изучение и проектирование КТД	15
Изготовление опытного образца	20
Контроль внешнего вида опытного образца	8
Расчет электрофизических параметров опытного образца	15
Испытание опытного образца	10
Сдача опытного образца	2

5.4. Расчет параметров сетевого графика

В таблице 2 представлен расчёт параметров сетевого графика технологического процесса разработки и изготовления опытного образца.

Критический путь равен 54 дням.

Таблица 2. расчёт параметров сетевого графика технологического процесса разработки и изготовления опытного образца

Работа (i,j)	Продолжительность t_{ij}	Ранние сроки		Поздние сроки		Резервы времени $R_{ij}^П$
		начало t_{ij}^P	окончание $t_{ij}^{P.O.}$	начало $t_{ij}^{П.Н.}$	окончание $t_{ij}^{П.О.}$	
(1,2)	10	0	10	0	10	0
(1,3)	10	0	10	17	27	17
(2,4)	7	10	17	10	17	0
(3,5)	5	10	15	32	37	22
(3,6)	15	10	25	27	42	17
(4,5)	20	17	37	17	37	0
(4,6)	8	17	25	34	42	17

(5,7)	15	37	52	37	52	0
(6,7)	10	25	35	42	52	17
(7,8)	2	52	54	52	54	0

5.5. Расчет требуемых затрат на разработку опытного образца диэлектрического резонатора из материала БЦНТ.

5.5.1. Расчет капитальных затрат

Капитальные затраты на разработку определяются по направлениям вложений средств по формуле:

$$K_{\text{общ.}} = K_{\text{н.}} + K_{\text{о.}} + K_{\text{м.}} + K_{\text{р.}} + K_{\text{т.}} + K_{\text{л.}}$$

где:

$K_{\text{н.}}$ — предпроизводственные затраты на проведение научно-исследовательских (НИР) или опытно-конструкторских (ОКР) работ

$K_{\text{о.}}$ — стоимость нового оборудования, руб.

$K_{\text{м.}}$ — затраты на модернизацию действующего оборудования, руб.

$K_{\text{р.}}$ — стоимость строительства и реконструкции зданий, участков, цехов, руб.

$K_{\text{т.}}$ — затраты на изготовление и приобретение технологической оснастки, руб.

$K_{\text{л.}}$ — ликвидационная стоимость нового оборудования, руб.

При разработке опытного образца диэлектрического резонатора из материала БЦНТ такие параметры как $K_{\text{о}}$, $K_{\text{м.}}$, $K_{\text{р.}}$, $K_{\text{т.}}$, $K_{\text{л}}$ не учитываются.

Следовательно капитальные затраты будут рассчитываться по формуле: $K_{\text{общ}} = K_{\text{п}}$.

Расчёт заработной платы производственных рабочих представлен в таблице 3.

Таблица 3. Расчёт заработной платы производственных рабочих

Должность	Число лиц	Трудоемкость, н\ч	Стоимость, н\ч	Сумма, руб.
Мельник-технолог	1	15	130	1 950
Штамповщик, оператор гидравлического прессы	1	3	110	330
Оператор печи для синтеза	1	10	97	970
Оператор печи для обжига	1	11	101	1111
Шлифовщик	1	9	95	855
Итого				5216
Премия (10%)				522
Итого				5738
-5% (потеря рабочего времени)				287
Итого:				5451

Расчёт заработной платы научных и инженерно-технических работников представлен в таблице 4.

Таблица 4 - Расчёт заработной платы научных и инженерно-технических работников

Наименование должности	Число лиц	Время работы, мес.	Оклад, руб.	Сумма, руб.
Начальник лаборатории	1	1	40 000	40 000
Заместитель начальника по лаборатории	1	1	35 000	35 000
Инженер-технолог	1	1	28 000	28 000
Младший инженер-технолог	1	1	22 000	22 000
Техник	2	1	18 000	18 000
Итого	6	5	143000	143000
Премия (10%)				14300
Итого				157300
-5%(потеря рабочего времени)				7865
Итого:				149435

Затраты на материалы представлены в таблице 5.

Таблица 5. Затраты на материалы

№	Наименование материала	Ед. изм.	Кол-во	Цена, руб.	Сумма, руб.
	Материал БЦНТ	шт	1	5000	5000
	Деионизованная вода и водный раствор поливинилового спирта	л	5	500	500
	Итого:				5500
	Транспортные расходы (7% от общей суммы)				385
	Итого:				5885

Полная основная заработная плата:

$$ОЗП = ЗП_{итр} + ЗП_{раб} = 149435 + 5451 = 154886$$

Дополнительная заработная плата:

$$ДЗП = 15\% * ОЗП = 0,15 * 154886 = 23233$$

Фонд заработной платы:

$$ФЗП = ОЗП + ДЗП = 154886 + 23233 = 178119$$

Отчисление на социальное страхование:

$$ОСС = 30,6\% * ФЗП = 0,306 * 178119 = 54504$$

Накладные расходы: $НР = 150\% * ОЗП = 1,5 * 154886 = 232329$

Расчет капитальных затрат указан в таблице 6.

Таблица 6 – Расчёт капитальных затрат

№	Наименование статей расходов	Сметная стоимость, руб.
1	Материалы	5885
2	Фонд оплаты труда	154 886
3	Дополнительная заработная плата (15%)	23 233
4	Отчисления в социальные фонды (30,6%)	54504
5	Накладные расходы (150%)	232329
Всего		470837

Расчет текущих затрат

Основная заработная плата:

$$ОЗП = ЗП_{\text{раб}} = 5451$$

Дополнительная заработная плата:

$$ДЗП = 15\% * ОЗП = 0,15 * 5451 = 818$$

Фонд заработной платы:

$$ФЗП = ОЗП + ДЗП = 5451 + 818 = 6269$$

Отчисление на социальное страхование:

$$ОСС = 30,6\% * ФЗП = 0,306 * 6269 = 1918$$

Накладные расходы:

$$НР = 150\% * ОЗП = 1,5 * 5451 = 8176$$

Калькуляция затрат приведена в таблице 7.

Таблица 7 – Калькуляция затрат

№	Наименование статей расходов	Сметная стоимость, руб.
1	Материалы	5885
2	Заработная плата производственных рабочих	5451
3	Дополнительная заработная плата (15%)	818
4	Отчисления в социальные фонды (30,6%)	1 918
5	Накладные расходы (150%)	8 176
Всего		22248

Заключение

В данной работе были изучены методы измерения основных электрофизических параметров диэлектрических резонаторов. Освоен резонансный метод измерения электропараметров и проведено измерение электропараметров опытного образца диэлектрического резонатора В результате измерений электрофизических параметров опытного образца диэлектрического резонатора изготовленного из материала БЦНТ были получены следующие результаты:

- Диэлектрическая проницаемость - 30;
- Добротность Q на частоте 10 ГГц - 9 800;
- Температурный коэффициент частоты – 4.

Было произведено сравнение полученных результатов электрофизических параметров диэлектрического резонатора с современными требованиями предъявляемыми к электрофизическим параметрам диэлектрических резонаторов, из чего был сделан вывод, что данный опытный образец удовлетворяет всем современным требованиям и полностью готов к применению в фильтрах СВЧ диапазона.

Список используемой литературы

1. Диэлектрические резонаторы/ М.Е. Ильченко, В.Ф. Взятыхшев, Л.Г. Гассанов и др.; под ред. М.Е. Ильченко. – М.: Радио и связь, 1989. – 328 с.: ил. – ISBN 5-256-00217-1.
2. Доброхотов Б. А. Измерения в электронике. Том 1. Москва - Ленинград: «Энергия», 1965.
3. ГОСТ Р 8.623-2006 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Относительная диэлектрическая проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь твердых диэлектриков. Методики выполнения измерений в диапазоне сверхвысоких частот. М.: Стандартинформ, 2008.
4. Keysight Technologies Inc. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.keysight.com/main/commonlanding.jsp?lc=rus&cc=RU>.