

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Кафедра физической электроники (ФЭ)

БУМАЖНЫЙ КОНДЕНСАТОР

Курсовая работа

по дисциплине

«Материалы электронной техники»

Студент гр. 320-1

_____ Д.В. Бородин

«__» _____ 2022 г.

Руководитель

Профессор каф. ФЭ, д-р

техн.наук, доцент

_____ _____ Ю.В. Сахаров

«__» _____ 2022 г.

Томск, 2022

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)
Кафедра физической электроники (ФЭ)

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой ФЭ

_____Троян П.Е.

ЗАДАНИЕ

на курсовую работу

Студента Бородину Данилу Валерьевичу

группы 320-1 факультета электронной техники.

Тема работы: Бумажный конденсатор.

Исходные данные:

- Номинальное напряжение 250 В;
- Емкость 5 мкФ.

Дата выдачи задания _____ 2022 г.

Руководитель: Сахаров Ю.В.

Оглавление

Введение.....	4
1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР.....	5
1.1 Основное понятие и классификация конденсатора.....	5
1.2 Бумажный конденсатор.....	7
1.2.1 Виды бумажных конденсаторов.....	7
1.2.2 Диэлектрические материалы для бумажного конденсатора.....	9
1.2.3 Материалы для обкладок бумажного конденсатора.....	11
2 ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	13
2.1 Выбор материалов.....	13
2.2 Расчет размеров бумажного конденсатора.....	14
Заключение.....	19
Список используемой литературы.....	20

Введение

Целью курсовой работы является расчет конструкции бумажного конденсатора с заданными характеристиками.

Конденсаторы в наше время являются незаменимыми частями во всех электрических цепях. Что такое конденсатор? Это элемент, который накапливает заряд и в определенный момент отдается последующим компонентам электрической цепи.

Бумажные конденсаторы являются компонентами современных электрических систем, используются там, где не требуется большая стабильность емкости. Они применяются в качестве блокировочных, развязывающих, разделительных фильтрующих элементов различных цепей с постоянным и переменным напряжениями [1].

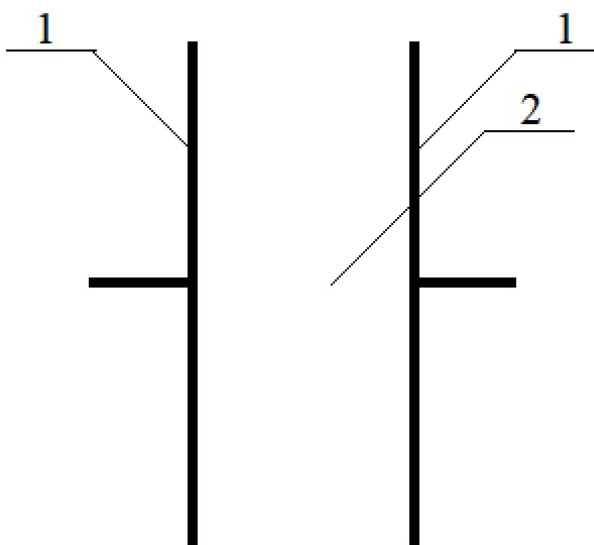
Примером использования конденсатора в современном мире служит обычная компьютерная клавиатура. Нажимая на клавиши изменяется емкость конденсатора. Электрическая схема, подключенная к конденсатору, преобразует изменение емкости в код.

1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Основное понятие и классификация конденсатора

Конденсатор – один из самых распространённых компонентов электрической цепи, построенный из двух проводниковых обкладок, между которыми есть слой диэлектрика [1].

На рисунке 1.1 показано схематическое изображение конденсатора.



1 – обкладки; 2 – слой диэлектрика
Рисунок 1.1 – Конструкция конденсатора

Конденсатор является устройством, которое накапливает электрический заряд, но в отличие от аккумуляторных батарей, может моментально отдать весь накопившийся заряд. Способностью накапливать электрический заряд в конденсаторе называется емкостью. Емкость по определению является отношение электрического заряда на обкладках к напряжению между его пластинами [1].

Конденсаторы различаются по рабочему напряжению на высоковольтные (больше или равно 1600 В) и низковольтные (меньше 1600 В) [1].

По слою диэлектрика конденсаторы делятся на четыре подкласса:

1. с органическим диэлектриком;
2. с оксидным диэлектриком;

3. с неорганическим диэлектриком;
4. с газообразным диэлектриком.

На рисунке 1.2 представлена классификация конденсаторов по диэлектрическому слою [2].



Рисунок 1.2 – Классификация конденсаторов по диэлектрическому слою

На рисунке 1.3 представлена классификация конденсаторов по емкости [2].

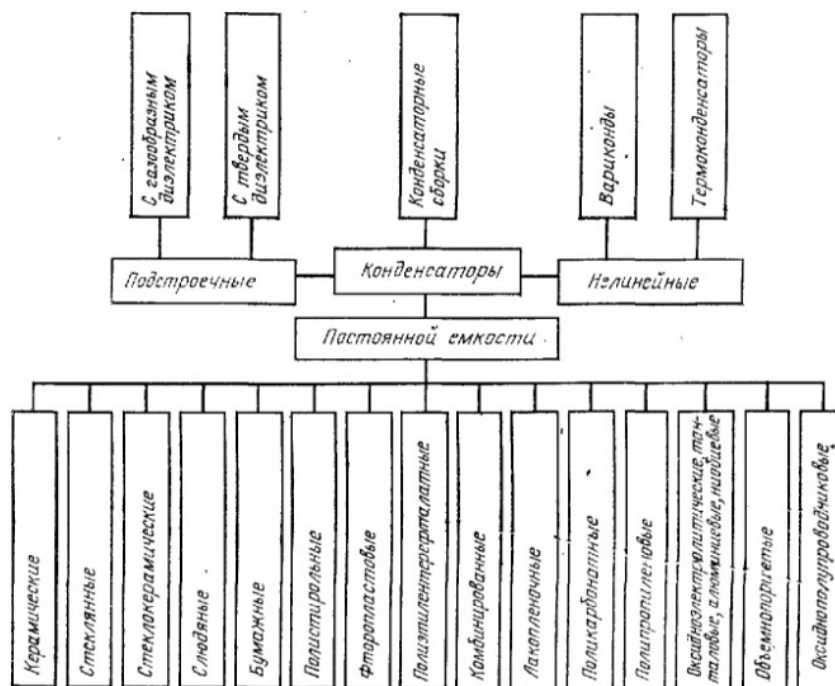
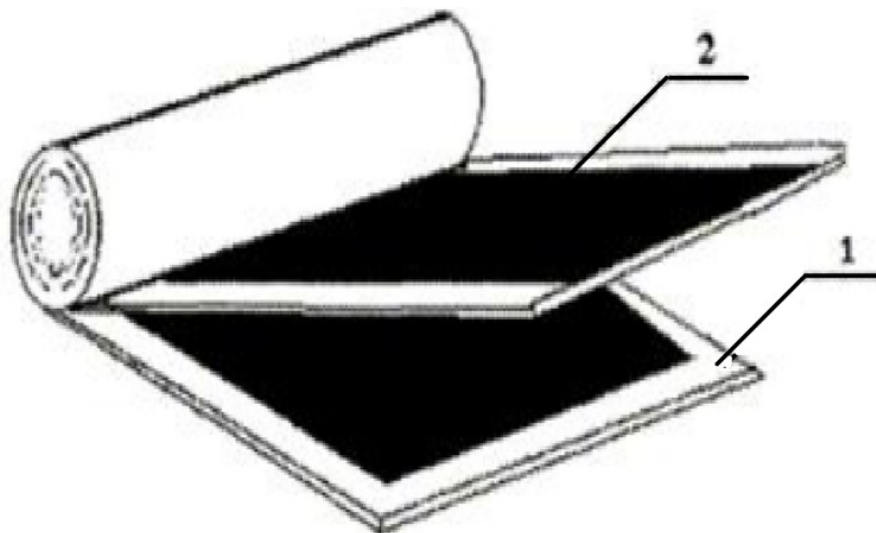


Рисунок 1.3 – Классификация конденсаторов по емкости

1.2 Бумажный конденсатор

Бумажный конденсатор относится к конденсаторам с постоянной емкостью. В качестве диэлектрика у него используется бумага. Для обкладок используется алюминиевая или медная фольга. Для повышения диэлектрической проницаемости бумаги, ее пропитывают синтетической жидкостью, например, машинным маслом (рисунок 1.4) [3].



1 – пропитанная бумага; 2 – фольга

Рисунок 1.4 – Конструкция бумажного конденсатора в рулоне

Отличие между бумажным и металобумажным конденсатором заключается в том, что на металобумажном конденсаторе обкладки напыление тонким слоем металла на бумагу, которая является диэлектриком. Бумажные конденсаторы находят широкое применение в электронике, в основном благодаря своей дешевизне.

1.2.1 Виды бумажных конденсаторов

Конденсаторы КБП (конденсаторы бумажные помехоподавляющие) предназначены в электрических цепях постоянного тока и переменного тока с частотой 50 Гц с целью подавления радиопомех [4, 5].

Виды крепления конденсаторов КБП:

1. КБП-С крепление скобой;
2. КБП-Р крепление расположено на резьбе;
3. КБП-Ф крепление фланцем.

Конденсаторы КБП выпускаются для постоянного тока с номинальным напряжением от 110 до 1500 В и для переменного тока с номинальным напряжением от 50 до 500 В. Емкость конденсатора КБП варьируется от 0,025 до 2 мкФ. Длина этого конденсатора варьируется от 55 до 126 мм, а диаметр от 14 до 40 мм [4, 5].

Бумажные конденсаторы в цилиндрическом корпусе БМ (конденсаторы бумагомасляные).

Конденсаторы БМ выпускаются в двух видах:

1. БМ-1 с вкладными контактами;
2. БМ-2 с паяными контактами.

Выпускаются конденсаторы БМ с емкостью от 470 до 2200 пФ и с номинальным напряжением 300 В, и с емкостью от 3300 до 0,022 мкФ и с номинальным напряжением 200 В. БМ-1 имеет размеры корпуса с диаметром 6 мм и длиной 17 мм. БМ-2 имеет такой же диаметр корпуса, но длина корпуса 20 мм [4, 5].

Конденсаторы К40П-2 (конденсатор бумажный низкочастотный) изготавливаются в цилиндрических металлических корпусах с разнонаправленным выводами [4, 5].

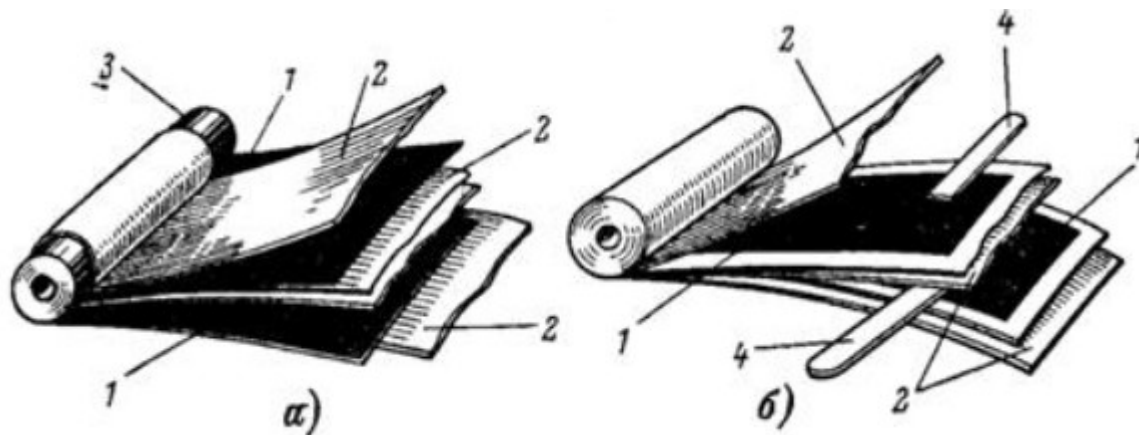
Конденсаторы К40П-2 выпускаются в двух видах:

1. К40П-2А – с одним изолированным выводом;
2. К40П-2Б – двумя изолированными выводами.

Конденсаторы К40П имеют емкость от 1000 до 6800 пФ, корпус этого конденсатора имеет диаметр 6мм и длиной 19 мм. Конденсаторы с емкостью от 0,015 до 0,047 мкФ корпус этого конденсатора имеет диаметр 11 мм и длиной 19 мм. Номинальное напряжение конденсатора К40П-2 равно 250 В при переменном токе с частотой 50 Гц, при постоянном токе

номинальное напряжение равно 400 В. Характеристики конденсаторов К40П и БМ идентичные [4, 5].

Есть два типа бумажных конденсаторов с выступающей и скрытой фольгой (рисунок 1.5) [2].



1 – фольга; 2 – бумага; 3 – выступающие концы фольги; 4 – вкладные выводы

Рисунок 1.5 Схема намоток конденсатора: а – со смещений фольгой; б – вкладные выводы.

Безиндуктивные конденсаторы выполнены так, что выводы имеют более короткое соединение со всеми участками обкладок (рисунок 1.5, а). На рисунке 1.5, б изображен конденсатор, имеющий через определенное число витков вкладки проводников, которые соединены у общего вывода [2].

1.2.2 Диэлектрические материалы для бумажного конденсатора

Основными диэлектрическими материалами в бумажном конденсаторе являются конденсаторная бумага и масло. Маслом пропитывают саму бумагу для увеличения диэлектрической проницаемости. При изменении объёмного веса конденсаторной бумаги изменяются электрические характеристики диэлектрика. Чем плотнее бумага, тем больше электрическая прочность и диэлектрическая проницаемость. Бумага состоит из клетчатки и углерода [6].

Конденсаторная бумага изготавливается 4 видов (таблица 1.1):

1. КОН – обычная бумага для бумажных конденсаторов;

2. СКОН – конденсаторная бумага с минимальными диэлектрическими потерями;
3. МКОН – конденсаторная бумага с большими электрическими потерями;
4. ЭМКОН – конденсаторная бумага с минимальными электрическими потерями, но с большой электрической прочностью [6].

Тип бумаги (таблица 1.1):

1. Н – конденсаторная бумага с минимальной влажностью;
2. В – конденсаторная бумага с высокой электрической прочностью;
3. 0 – конденсаторная бумага с минимальными диэлектрическими потерями [6].

Таблица 1.1 – Виды и типы конденсированной бумаги [6]

Вид и тип бумаги	Толщина бумаги, мкм. для марок				
	0,8	1	2	3	3,5
КОН	–	–	4 – 30	8 – 15	–
КОН Н	–	–	5 – 30	8 – 15	–
СКОН	–	10 – 30	7 – 30	8 – 12	8 – 12
СКОН Н	–	10 – 30	7 – 30	8 – 12	8 – 12
МКОН	10 – 20	8 – 30	6 – 30	8 – 15	–
МКОН Н	10 – 20	8 – 30	6 – 30	8 – 15	–
ЭМКОН В	10 – 15	10 – 15	8 – 17	8 – 12	12,5
ЭМКОН	10 – 20	10 – 30	6 – 30	8 – 12	12,5
ЭМКОН О	10 – 20	10 – 30	6 – 30	8 – 12	–
ЭМКОН ОВ	10 – 15	10 – 15	8 – 17	8 – 12	–

Для повышения диэлектрических свойств, конденсаторную бумагу высушивают и пропитывают маслами. Для пропитки бумаги в конденсаторе используют синтаксические токопроводящие материалы с целью повышения диэлектрической проницаемости. Совол – продукт хлорирования нефталина, хорошо растворяется в бензине, является изоляционным материалом для пропитки конденсаторной бумаги. Недостаток этого материала заключается в том, что бумажные конденсаторы, пропитанные соволом, при большой температуре выходят из строя [7].

При пропитывании конденсаторной бумаги полярным диэлектриком, можно уменьшить габариты конденсатора и сэкономить при сборке активными материалами [8].

Таблица 1.2 – Характеристики пропиточных диэлектриков [3].

Пропиточная масса	Диэлектрическая проницаемость массы, ϵ_n	Плотность 1,0 г/см ³		Плотность 1,2 г/см ³	
		ϵ	K_n	ϵ	K_n
Твердая (усадка 15%):					
парафин, церезин	2,2	3,5	162	4,2	135
синтетический церезин	2,5	3,7	153	4,4	129
хлорнафталин	5,0	4,9	116	5,25	108
ланостерол	10,0	5,8	98	5,9	96,6
Жидкая:					
Нефтяное масло, вазелин, октол	2,2	3,7	153	4,5	126
Кремнийорганическая жидкость	2,5	4,1	138	4,8	118
Касторовое масло	4,5	5,6	101	6,0	94,5
хлордифенил	5,0	6,0	94,5	6,15	92,5
нитросовол	7,0	6,75	84	6,17	92

Основным типом пропитки для бумаги служат жидкие материалы (таблица 1.2). Основным отличием жидкой пропитки от затвердевающей является то, что жидкая пропитка пропитывает все поры бумаги, но корпус бумажного конденсатора должен быть хорошо герметизирован. Для затвердевающей пропитки можно использовать дешевые корпуса, в которых нет герметизации, но при условии, что конденсатор не будет подвергаться влаги [8].

1.2.3 Материалы для обкладок бумажного конденсатора

В основном проводник для обкладок в бумажном конденсаторе используется алюминиевая фольга [8]. Медная фольга используется для вкладных выводов конденсатора, потому что имеет удельное сопротивление меньше, чем алюминий, значит хорошо проводит ток. Оловянная фольга используется крайне редко, так как у такой фольги плохая теплопроводность и высокая стоимость. Серебро стойкое к окислению металла, но удельное

сопротивление минимальное. Золото имеет одинакового удельное сопротивление с алюминием, но имеет высокую пластичность и стоимость.

Алюминиевая фольга выпускается двух сортов – мягкая и твердая, различающиеся между собой по физическим свойствам. Фольга выпускается толщиной от 0,005 до 0,2 мм [9]. Фольга из чистого алюминия марки А0 имеет высокую теплопроводность и электропроводность. В основном собирают конденсаторы из твердой фольги, так как прочность больше, но электропроводность меньше [8].

2 ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2.1 Выбор материалов

Расчет конденсатора сводится к тому, что надо найти его размеры. Нам дано номинальное напряжение 250 В и емкость 5 мкФ. По этим данным можно выбрать аналог конденсатора из справочника [10]. Выбираем конденсаторную бумагу КОН-2 так как она имеет среднее значение плотности. Бумагу будет пропитывать нитросовол для повышения удельной емкости.

Таблица 2.1 – Размеры конденсатора КБМ-МН [10].

Номинальная емкость, мкФ	Номинальное Напряжение, В	Размеры, мм					Масса, г, не более
		<i>L</i>	<i>B</i>	<i>H</i>	<i>h</i>	<i>A</i>	
1	200	35	19	58		15	115
2		45	25	78		20	160
4			30				200
6		45	35	93		35	420
8				108			560
10	400	45	25	58	20	160	
2			30			250	
4		65	35	93	35	420	
6				108		560	
8		60				750	

Так как бумажного конденсатора нет с таким номинальным напряжением и емкостью, значит выбираем среднее значение номинального напряжения от 200 до 400В, и емкости от 4 до 6 мкФ (таблица 2.1).

Таблица 2.2 – Значения допускаемой рабочей напряженности поля [8]

Толщина бумаги, мкм	Число бумаги	Допускаемая напряженность, КВ/мм		
		при 70° С	при 80° С	при 90° С
8	2	12,5	–	–
	3	16,7	12,5	8,3
	4	–	18,7	12,5
10	3	20	–	–
	4	25	25	15
	5	30	30	30
	6	–	33,4	25

Берем из таблицы 2.2 среднее значение напряжённости при температуре 90° С равное 8,3 кВ/мм при толщине 8 мкм и 3 слоев бумаги. В качестве обкладок берем алюминиевую фольгу шириной 40 мм и толщиной 5 мкм.

Пробой конденсатора может произойти не только через толщину диэлектрика, но и по поверхности закраин (расстояние от края обкладки до края диэлектрика). Поэтому величину закраины следует выбирать, исходя из испытательного напряжения, при котором не должен наблюдаться разряд по закраине, такие значения ширины закраины представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Выбор ширины закраины [8]

Испытательное напряжение, В	Ширина закраины, мм	
	Намотка со скрытой фольгой	Намотка с выступающей фольгой
1500 или ниже	2	3
1600 – 2000	2,5	4
2100 – 3000	3	5

2.2 Расчет размеров бумажного конденсатора

Конденсаторная бумага КОН-2 имеет плотность 1,2 г/см³ используем формулу для расчета диэлектрической проницаемости для пропитанной бумаги нитросоволом.

Диэлектрическую проницаемость пропитанной бумаги вычисляют по формуле [8]:

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_k}{\frac{\varepsilon_k - k_n \frac{\rho_b}{\rho_k} (\varepsilon_k - 1)}{\varepsilon_n}} \quad (2.1)$$

где ε_k – диэлектрическая проницаемость клетчатки равная 6,6;

ε_n – диэлектрическая проницаемость нитросоволом равна 7;

ρ_b – плотность бумаги равная 1,2 г/см³;

ρ_k – плотность клетчатки равная 1,55 г/см³;

k_n – коэффициент запрессовки равен 1.

Рассчитаем диэлектрическую проницаемость по формуле 2.1.

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_{\kappa}}{\frac{\varepsilon_{\kappa} - k_n \frac{\rho_{\delta}}{\rho_{\kappa}} \left(\frac{\varepsilon_{\kappa} - 1}{\varepsilon_n} \right)} = \frac{6,6}{\frac{6,6}{7} - 1 \cdot \frac{1,2}{1,55} \left(\frac{6}{7} - 1 \right)} = 6,7$$

Толщину диэлектрика в бумажном конденсаторе вычисляют по формуле [8].

$$d = \frac{U_n}{E}, \quad (2.2)$$

Где U_n – номинальное напряжение равное 250 В;

E – электрическая прочность равная 20 КВ/мм.

Рассчитаем толщину диэлектрика в конденсаторе по формуле 3.2.

$$d = \frac{U_n}{E} = \frac{250}{8,3 \cdot 10^3} = 30,1 \text{ мкм}$$

Ширина фольги у нас 40 мм, следовательно, ширина бумаги с закраинами будет равна $40 + 2 + 2 = 44 \text{ мм}$ (таблица 2.3, рисунок 2.1).

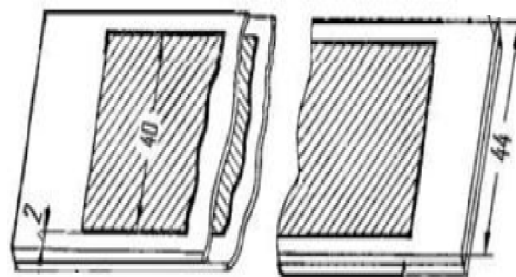


Рисунок 2.1 – ширина бумаги и фольги

Так как у конденсатора большая емкость, разделим его на 8 секций и подключим параллельно (рисунок 2.2). Емкость одной секции будет равна 0,63 мкФ.

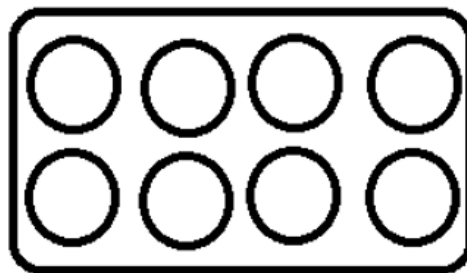


Рисунок 2.2 – Бумажный конденсатор с большой емкостью разделенный на 8 секций вид сбоку

Найдем диаметр каждой секции по формуле [8]:

$$D = \sqrt{D_0^2 + k_h C}, \quad (2.3)$$

Где D_0 – диаметр намоточной оправки равный 2 мм;

k_h – коэффициент диаметра секции;

C – номинальная емкость секции, мкФ.

Найдем коэффициент диаметра секции по формуле [8]:

$$k_h = \frac{0,144(d + d_\phi)d}{\epsilon b}, \quad (2.4)$$

Где d_ϕ – толщина фольги равная 5 мкм;

d – толщина диэлектрика равная 30,1 мкм;

b – активная ширина обкладок равная 4 см.

Рассчитаем коэффициент диаметра по формуле 2.4

$$k_h = \frac{0,144(d + d_\phi)d}{\epsilon b} = \frac{0,144(30,1 + 5)30,1}{6,7 \cdot 4} = 5,67$$

Рассчитаем по формуле 2.3 диаметр одной секции (рисунок 2.3).

$$D = \sqrt{D_0^2 + k_h C} = \sqrt{0,2^2 + 5,7 \cdot 0,63} = 1,9 \text{ см}$$

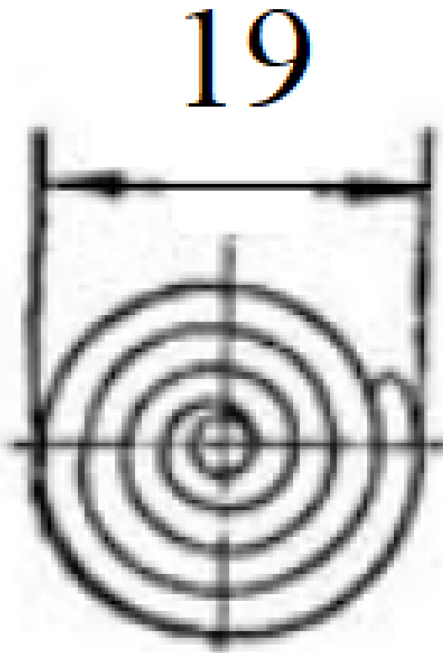


Рисунок 2.3 – Диаметр одной секции в мм

Найдем длину и высоту конденсатора, умножим диаметр одной секции на количество секций в строке (рисунок 2.4). Высота будет равна $4 \cdot 19 = 76$ мм. Длина будет равна $2 \cdot 19 = 38$ мм. Ширина равна 44 мм.

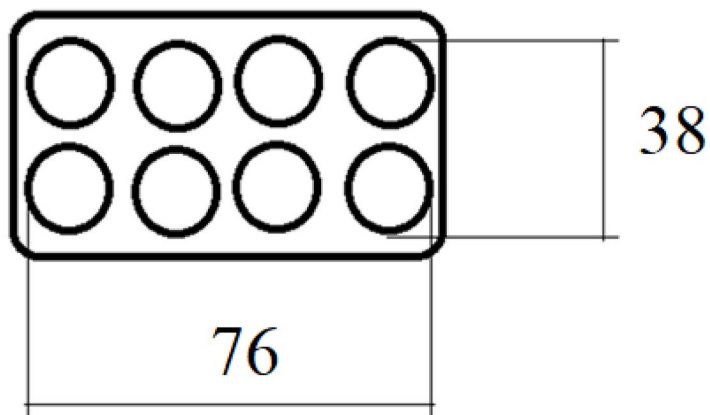


Рисунок 2.4 – Размеры конденсатора из 8 секций в мм вид сбоку

Выберем стальной корпус для нашего конденсатора. Принимаем толщину стенок 0,3 мм, высоту 7,5 см, шириной 4,5 см и длиной 3,5 см. (рисунок 2.5). 8 секции конденсатора можно сжать и поместить в корпус. Крышка корпуса крепится с помощью пайки. Внутри корпуса 8 секций изолированы от стенок стали.

На рисунке 2.5 изображен рассчитанный конденсатор в корпусе.

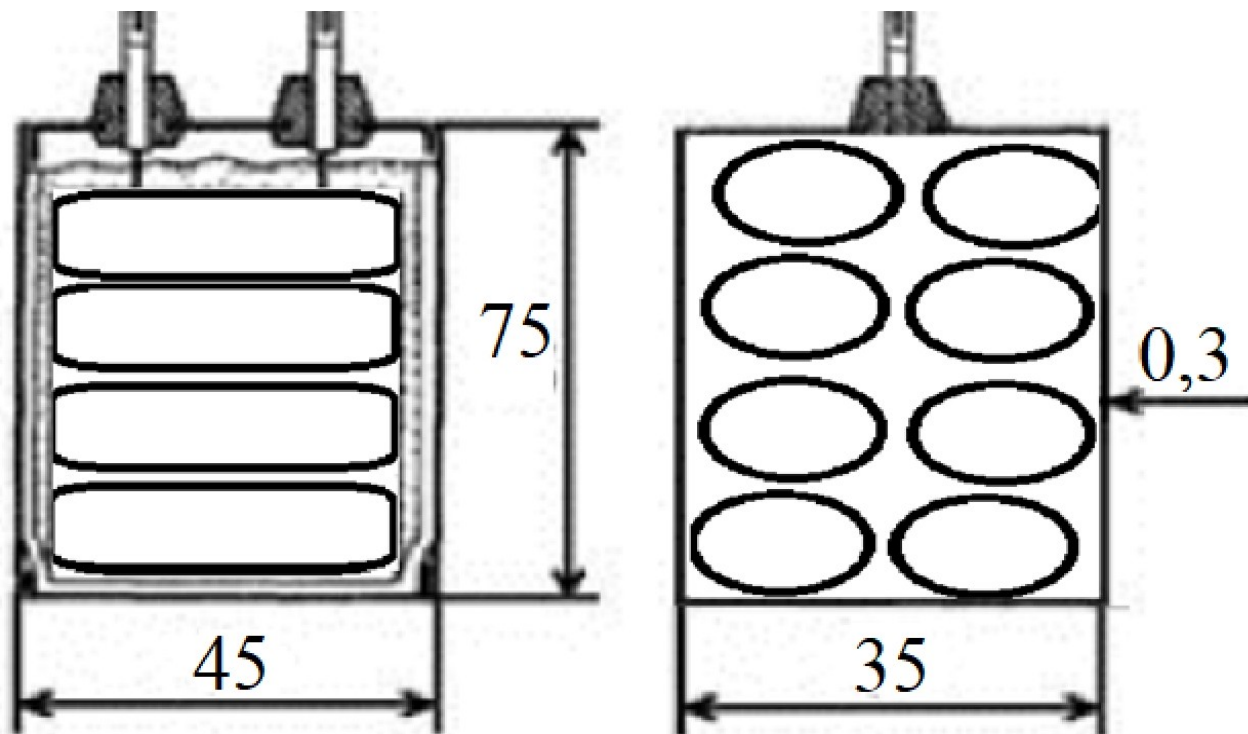


Рисунок 2.5 – Бумажный конденсатор в корпусе вид спереди и сбоку

Сравним получившийся конденсатор в корпусе с аналогами КБГ-МН взятый с емкостью 4 мкФ при напряжении 200 В и КБГ-МН с емкостью 6 мкФ при напряжении 400 В (таблица 2.4).

Таблица 2.4

Параметры	Рассчитанный конденсатор	КБГ-МН	
		4	6
Емкость, мкФ	5	4	6
Номинальное напряжение, В	250	200	400
Ширина × длина × высота, мм	45 × 35 × 75	45 × 30 × 78	65 × 35 × 108

Заключение

Произведен расчет бумажного конденсатора и получены следующие данные: длина 50 мм, ширина 50 мм, высота, 54 мм. В качестве диэлектрика использовалась бумага КОН-2 и пропитка нитросовол. В качестве обкладок использовалась алюминиевая фольга. Емкость конденсатора 5 мкФ, номинальное напряжение 250 В. Данный конденсатор имеет реальные аналоги типа КБГ-МН.

Список используемой литературы

1. Ревич Ю. В. Занимательная электроника. СПб.: БХВ-Петербург, 2011. 720 с.
2. Волгов В. А. Детали и узлы радиоэлектронной аппаратуры. М.: Энергия, 1977. 656 с.
3. Петров К. С. Радиоматериалы, радиокомпоненты и электроника. СПб.; Питер, 2003. 512 с
4. Горячева Г. А., Добромыслов Е. Р. Конденсаторы (справочник). М.: Радио и связь, 1984. 88 с.
5. Михайлов И.В., Пропошин А.И. Конденсаторы М.: Энергия, 1973. 54 с.
6. ГОСТ 1908-88 бумага конденсаторная. общие технические условия. М.: Издательство стандартов, 1990. 35 с.
7. Хайкин С.Э., Словарь радиолюбителя. М.: Государственное энергетическое издательство 1959. 607 с.
8. Ренне В. Т. Расчет и конструирование конденсаторов. К.: Техника, 1966. 325 с.
9. ГОСТ 618-73 Фольга алюминиевая для технических целей. Технические условия. М.: Издательство стандартов, 1975. 12 с.
10. Справочник по электрическим конденсаторам / М. Н. Дьяконов [и др.]. М.: Радио и связь, 1983. 576 с.
11. Ренне В. Т. Электрические конденсаторы. М.: Государственное энергетическое издательство, 1947. 193 с.
12. ГОСТ ОС ТУСУР 01-2021 Работы студенческое по направлениям подготовки и специальностям технического профиля. Общие требования и правила оформления. Т.: ТУСУР, 2021. 52 с.
13. Ломанович В. А. Справочник по радиодеталям (сопротивления и конденсаторы). М.: ДОСААФ, 1966. 61 с.