

С.Г. ЛОМОВ, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХПИ";
И.А. КОСТЮКОВ, аспирант, НТУ "ХПИ";
А.А. СТЕПАНЕНКО, аспирант, НТУ "ХПИ"

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СЕПАРАТОРА НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНДЕНСАТОРОВ С ДВОЙНЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СЛОЕМ

В роботі зроблений огляд основних типів сепараторів, що використовуються в конденсаторах з подвійним електричним шаром. Розглянута та експериментально доведена можливість використання сепараторів із слюди та синтетичного паперу типу NOMEX.

В работе сделан обзор основных типов сепараторов, применяющихся в конденсаторах с двойным электрическим слоем. Рассмотрена и экспериментально доказана возможность использования сепараторов из слюды и синтетической бумаги типа NOMEX.

This paper gives a review of the basic types of separators that are used in double-layer capacitors. A possibility of using separators made of mica paper and synthetic paper of NOMEX type is considered and experimentally proved.

В конденсаторах с двойным электрическим слоем энергия запасается за счет создания двойных электрических слоев, которые представляют собой систему пространственно разделенных зарядов разного знака формирующуюся на границе раздела пористых электродов и электролита. В заряженном состоянии такие конденсаторы представляют собой две последовательно соединенные емкости разделенные сепаратором, представляющим из себя пористый диэлектрик.

В подавляющем большинстве работ, в которых рассматриваются проблемы усовершенствования конденсаторов с двойным электрическим слоем, внимание концентрируется на процессах, происходящих в электродах и электролите конденсатора, при этом в четкой постановке не рассматривается вопрос о влиянии материала сепаратора и его характеристик (толщины, пористости, проницаемости, размеров пор, извилистости...) на технические показатели такого типа конденсаторов. Однако в конденсаторах такого типа, как и в аккумуляторах, сепаратор играет важную роль: разделяя электроды, он препятствует возникновению короткого замыкания, оказывает значительное влияние на саморазряд конденсатора, позволяет обеспечивать ионообмен, необходимый для создания двойных электрических слоев, а также в значительной степени определяет внутреннее сопротивление конденсатора, а значит и его технические показатели.

При этом для изготовления сепараторов конденсаторов с двойным электрическим слоем используются те же самые материалы, что и для

изготовления сепараторов аккумуляторов [1]. Это мипласт (материал получаемый спеканием порошковой поливинилхлоридной смолы), мипор, целлюлоза, асбест [2], кроме того используются сепараторы изготовленные из слоя стекловолкна, также могут использоваться резиновые сепараторы. Широкое распространение в последние годы получили полиэтиленовые и полипропиленовые сепараторы. Так, например, в [3] при исследовании конденсаторов использовался полипропиленовый сепаратор "Celgard-2400", сепаратор "Celgard-3401" использовался и в [4], в патенте [5] также предложен полиэтиленовый или полипропиленовый сепаратор толщиной 5 – 100 мкм, в [6] предложен конденсатор с сепаратором на основе асбестовой бумаги толщиной 50 мкм.

Микрофотографии пористой структуры сепараторов приведены на рисунке 1 [7].

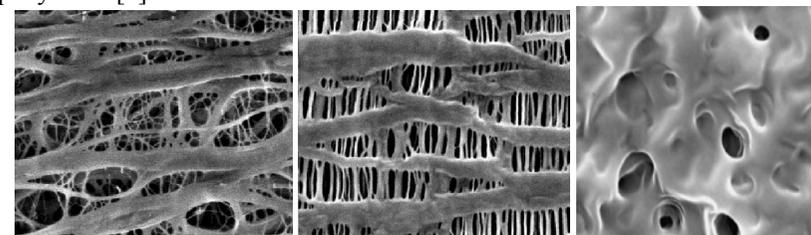


Рис. 1 – Микрофотографии поверхности сепараторов Asahi и Celgard

Для наиболее часто применяющихся полиэтиленовых и полипропиленовых сепараторов характерны следующие структурные характеристики:

1. Пористость 40 – 60 %;
2. Размер пор 0,03 мкм – 0,50 мкм;
3. Толщина 20 мкм – 80 мкм.

В [8] было впервые рассмотрено и предложено использование в качестве сепаратора бумаги на основе щипаной слюды. Такая бумага представляет собой пористую дисперсную структуру, состоящую из элементарных пластинок слюды, которые сцепляются между собой силами когезионного взаимодействия без наличия какого-либо связующего. В [8] также доказана целесообразность такого использования путем снятия и сравнения разрядных кривых тока и напряжения элементарных ячеек конденсаторов с разными сепараторами, сравнение проводилось с сепараторами из мипласта и асбестовой бумаги. Помимо более высоких энергетических характеристик преимущества слюды обеспечиваются ее значительно большей теплостойкостью, а также стойкостью к образованию дендритов (по сравнению с полимерными сепараторами).

Целью данной работы является продолжение экспериментального исследования конденсаторов с двойным электрическим слоем с сепаратором выполненным из щипаной слюды, с целью определения оптимального режима заряда конденсаторов и определения оптимальной толщины сепаратора, а также обоснования возможности применения в качестве сепаратора бумаги типа NOMEX, до этого традиционно применяющейся в качестве изоляции низковольтных электрических машин.

Для проведения эксперимента были изготовлены образцы элементарных ячеек конденсаторов с двойным электрическим слоем. Пористые электроды образцов были изготовлены из угольной ткани размером $50 \times 19 \times 0,44$ мм. Для всех экспериментальных ячеек в качестве коллектора использовалась медная фольга с толщиной 50 мкм. Электроды и сепаратор были пропитаны электролитом 6М КОН. При исследовании конденсатора с сепаратором из щипаной слюды толщина сепаратора составляла 0,036; 0,072; 0,096 мм. При исследовании конденсатора с сепаратором из синтетической бумаги типа NOMEX толщина сепаратора составляла 0,065; 0,13; 0,195 мм.

На рисунке 2 в относительных единицах приведены графики энергии, выделяющейся в течении 60 минут при разряде элементарных ячеек конденсатора с сепаратором выполненным из щипаной слюды. За единицу запасаемой энергии как и в [1] принята энергия запасаемая в ячейке конденсатора с сепаратором из слюдобумаги запасаящаяся при заряде в течении 30 минут.

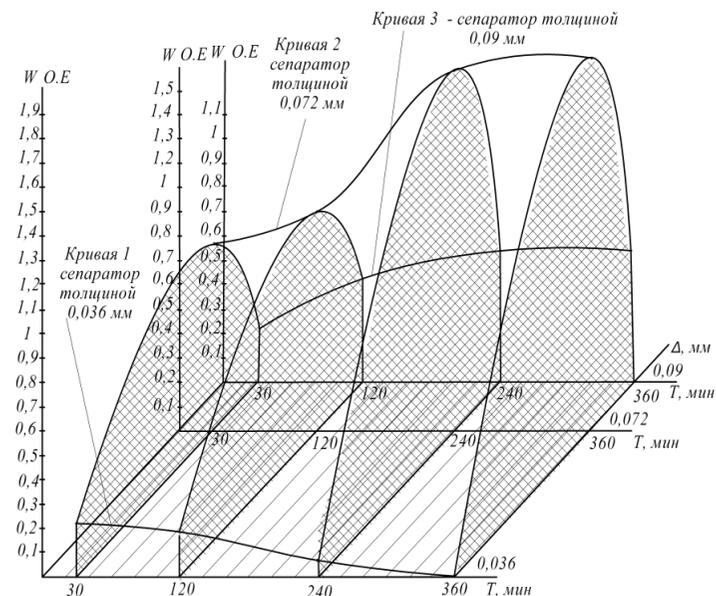


Рис.2 – Энергетические показатели конденсаторов с сепаратором из слюдобумаги

На рисунке 3 приведены аналогичные данные для разрядных характеристик элементарной ячейки конденсатора с сепаратором выполненном из бумаги типа NOMEX.

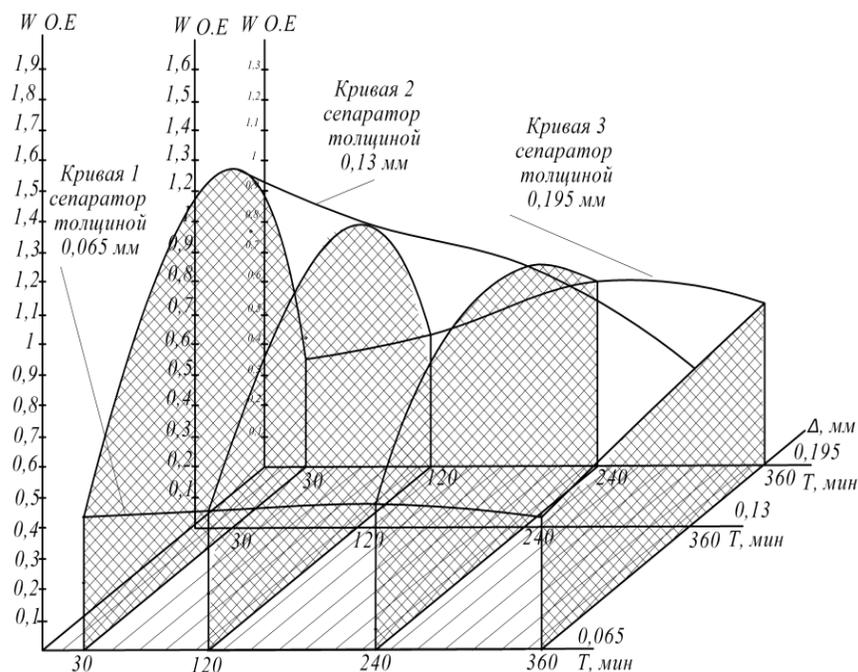


Рис.3 – Энергетические показатели конденсаторов с сепаратором выполненным из бумаги типа NOMEX

Анализируя полученные экспериментальные данные, можно сделать вывод о существовании оптимальной толщины сепараторов конденсаторов с двойным электрическим слоем. Действительно, запасенная энергия элементарных ячеек конденсаторов с сепаратором из щипаной слюды при его толщине 0,072 мм значительно превосходит энергию, запасаемую при толщине сепаратора 0,036 мм и 0,09 мм. Аналогичный вывод можно сделать и для сепаратора который выполнен из бумаги типа NOMEX, согласно измерениям наивысшие энергетические показатели наблюдаются при использовании сепаратора толщиной 0,13 мм, запасенная в этом случае энергия превосходит энергию, запасенную при использовании сепараторов толщиной 0,065 мм и 0,195 мм. Полученный результат является неожиданным, так как увеличение толщины сепаратора должно приводить к увеличению внутреннего сопротивления конденсаторов, что обусловлено ухудшением условий переноса ионов, необходимых для создания двойных электрических слоев. Согласно проведенному обзору литературы и патентных данных при производстве конденсаторов такого типа существует тенденция к уменьшению толщины сепаратора. Однако такое уменьшение не всегда целесообразно, что подтверждается проведенными

опытами, хотя наличие оптимальной толщины сепаратора может быть связано с физико-химическими особенностями исследуемых материалов, которые ранее не использовались в качестве сепараторов конденсаторов такого типа.

Кроме того следует отметить, что опытами доказана возможность применения бумаги типа NOMEX в качестве сепаратора. При этом сепараторы выполненные из щипаной слюды по сравнению с сепаратором из бумаги типа NOMEX дают преимущество при сравнительно длительном времени заряда (240, 360) минут. И, наоборот, при меньших временах заряда следует отдать предпочтение сепаратору из бумаги типа NOMEX.

Список литературы: 1. Пат. 66448 Україна, МПК Н 01 G 2/00, Н 01 G 9/00, Н 01 M 2/00. Конденсатор із подвійним електричним шаром / Костюков І. О., Ломов С. Г., Степаненко О. О.; заявник та патентовласник Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». – № у 2011 05017; заявл 20.04.2011; опубл. 10.01.2012, Бюл. №1. 2. Лаврус В. С. Источники энергии / В. С. Лаврус. – Н. : Наука и техника, 1997. – 107 с. 3. Пат. 44365 Україна, МПК Н 01 G 9/00, Композитний електрод для конденсаторів подвійного електричного шару / Ізотов В. Ю., Шоломицький Л. В., Кудряченко В. В., Колосов О. С.; заявник та патентовласник Кудряченко В. В., Колосов О. С. – № у 2009 08147; заявл 03.08.2009; опубл. 25.09.2009, Бюл № 18. 4. Григорчак І. І. Ефекти блокування лімітуючої негелмгольцевої ємності в нанопористих і нанокомпозитних структурах та їх застосування для створення змінної струмових суперконденсаторів / І. І. Григорчак, В. З. Каліцинський, С. Й. Ріпецький, М. М. Міцов // Наукові вісті Національного університету “Львівська політехніка”. – 2007. – № 592. – С. 72 – 80 5. Пат. 54508 Україна, МПК Н 01 G 9/00. Спосіб виготовлення конденсатору подвійного електричного шару. Малетін Ю. А., Стрижакова Н. Г., Ізотов В. Ю., Миронова А. А., Козачков С. Г., Данилін В. В., Підмогильний С. М.; заявник та патентовласник Товариство з обмеженою відповідальністю «Юнк – бюро»; заявл. 17.11.1999; опубл. 17.03.2003, Бюл. № 3. 6. Пат. 88174 Україна, МПК Н 01 G 2/00, Н 01 G 4/008. Спосіб отримання нанопористого вуглецю для електродів суперконденсаторів / Аврамов І. І., Остафійчук Б. К., Миронюк І. Ф., Вишиванюк М. В., Будзуляк І. М., Мерена Р. І.; заявник та патентовласник закрите акціонерне товариство «Інститут інноваційних технологій в енергетиці та енергозбереженні». – № а 2007 02460; заявл. 06.03.2007; опубл. 25.09.2009, Бюл № 18. 7. Arora P. Battery separators / P. Arora, Z. Zhang // Chem. Rev. – 2004. – № 104.– P. 4419 – 4462. 8. Ломов С. Г. К вопросу о возможности усовершенствования ионообменных элементов конструкций молекулярных конденсаторов с двойным электрическим слоем / С. Г. Ломов, А. А. Степаненко // Вестник Национального технического университета "Харьковский политехнический институт". – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2010. – №16. – С. 55 – 59.