

## ПОВЫШЕНИЕ РАБОЧЕЙ ЧАСТОТЫ БУМАЖНО-ФОЛЬГОВЫХ КОНДЕНСАТОРОВ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ ДВУХ ОХЛАЖДАЕМЫХ ВОДОЙ ЗМЕЕВИКОВ

Л.А. Варданян

*Национальный политехнический университет Армении*

Создание мощных тиристорных преобразователей с малыми временами восстановления свойств позволяет увеличить частоту коммутации преобразователя, в том числе бумажно-фольговых электротермических конденсаторов, до 20 кГц. Это возможно осуществить за счет применения двух змеевиков, охлаждаемых водой.

Известны конденсаторы с водяным охлаждением, в которых собирательные шины всех обкладок одной полярности выведены через выводной изолятор, а шины другой полярности тоже выведены через выводной изолятор, но установленный на крышке конденсатора. Недостатком таких конденсаторов является то, что выход первого змеевика служит входом второго змеевика. Следовательно, допускается перегрев воды до 5...10 °С.

С целью устранения этого недостатка на крышке конденсатора установлены два дополнительных изолятора, служащие выходами двух змеевиков. Змеевики снаружи конденсатора соединяются параллельно по воде. Для расчета электротермических конденсаторов с бумажно-фольговыми обкладками при известных напряжении, частоте, емкости и поверхности охлаждения необходимо определить коэффициент теплоотдачи  $\alpha_T$ .

Целью эксперимента является определение коэффициента теплоотдачи  $\alpha_T$  при наличии двух охлаждающих змеевиков. Созданы макетные образцы конденсаторного типа, охлаждаемые водой. Для сравнительного анализа были созданы нагревательные элементы, имитирующие потери в бумаге с односторонней и двусторонней намотками. На входе и выходе змеевиков измерялись температуры с помощью ртутных термометров с ценой деления 0,1 °С. Температуры контролировались инфракрасным термометром китайского производства НСЮЕТ НТ-830, результаты которых отличались на 0,1...0,2 °С.

Выявлено, что максимальная погрешность определения коэффициента теплоотдачи  $\alpha_T$  составляет 0,8...1%. Анализ результатов эксперимента показывает, что при наличии двух охлаждающих змеевиков можно увеличить частоту электротермических конденсаторов до 20 кГц за счет соответствующего уменьшения активной ширины конденсатора на 10 мм.

**Ключевые слова:** частота, обкладка, диэлектрик, змеевик, водяное охлаждение, выступающая фольга, срок службы.

**Введение.** Известны электротермические конденсаторы с бумажным диэлектриком и фольговыми обкладками, работающими при различных частотах (0,5...30 кГц), обладающие такими особенностями, как: большая емкость, низкие диэлектрические потери, небольшие размеры, низкая нагреваемость, длительный срок эксплуатации, безопасность и надежность при эксплуатации. Корпус конденсатора изготовлен из нержавеющей стали.

Индукционный нагрев связан с большим потреблением индуктивного тока, что обуславливает очень низкий коэффициент мощности установок (0,01...0,1). Для повышения коэффициента мощности индукционных электротермических установок применяют электротермические конденсаторы.

Существующие бумажно-фольговые (электротермические) конденсаторы с водяным охлаждением рассчитаны на частоту до 10 кГц. Для более интенсивного охлаждения конденсаторов требуется охлаждение второй обкладки с помощью второго змеевика.

Для бумажно-фольговых конденсаторов тепловой режим является определяющим фактором. По этой причине необходимо более детальное исследование всех влияющих факторов.

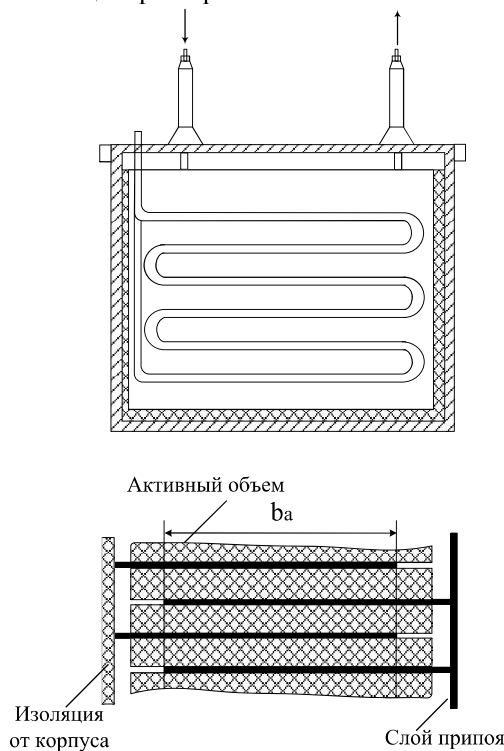


Рис. 1. Охлаждение конденсатора с одним змеевиком

Особенность бумажно-фольговых конденсаторов заключается в том, что все выделяющееся тепло отводится через фольговую обкладку к системе с водяным охлаждением.

В электротермических конденсаторах ввиду значительного тепловыделения в обкладках выбирают толщину 16 мкм вместо обычно применяемых 7...8 мкм.

Основной особенностью бумажно-фольговых конденсаторов, рассчитанных на частоту до 10 кГц, является то, что основные потери и, следовательно,

тепловыделение отводятся через фольгу. Выделяющееся тепло за счет потерь в бумажной изоляции отводится к фольговой обкладке через всю толщину бумаги. Самой нагретой точкой является середина бумажной изоляции, которая может составлять десять и более слоев бумаги [1,2].

Фольговые обкладки, как видно из рис.1, соединены параллельно по отношению к тепловому потоку. В указанной конструкции электротермических конденсаторов охлаждение происходит через выступающую фольговую обкладку, соединенную с охлаждающей системой только с одной торцевой стороны секции.

Тепловой поток в данной конструкции проходит через толщу бумажной изоляции, фольгу, далее через толщу второй бумаги к охлаждающей системе. На рис.1  $b_a$  - активная ширина конденсатора.

Следовательно, возникает необходимость соединения выступающей фольги второго торца секции с охлаждающим змеевиком.

**Постановка задачи.** При изготовлении многосекционных конденсаторов с водяным охлаждением, собираемых из намотанных плоских секций с выступающей фольгой, предлагается припаивать обе обкладки к двум отдельным трубкам (змеевикам), охлаждаемым водой, причем один конец каждой охлаждающей трубки, служащий одновременно собирательной шиной всех обкладок одной полярности, пропускается через выводной изолятор, установленный на крышке конденсатора; второй конец одной трубки соединяется со вторым концом второй трубки с помощью переходной резиновой или иной электроизоляционной трубки [3].

Недостатком известной конструкции конденсатора является то, что из первого змеевика нагретая вода (до 5...10 °С) поступает на вход второго змеевика через резиновую или иную электроизоляционную трубку внутри конденсатора. Это снижает допустимую реактивную мощность или рабочую частоту конденсатора [4,5].

Для более интенсивного охлаждения конденсатора предлагается осуществлять теплоотвод с торцов секций с помощью двух охлаждающих змеевиков, припаиваемых к выступающим обкладкам пакета секции с обоих торцов. Охлаждающие змеевики одновременно служат собирательными выводами конденсатора, а наличие охлаждающей воды позволяет резко увеличить допустимую плотность тока в выводах (рис.2).

Для отвода нагретой воды используют два дополнительных изолятора, установленные на крышке конденсатора.

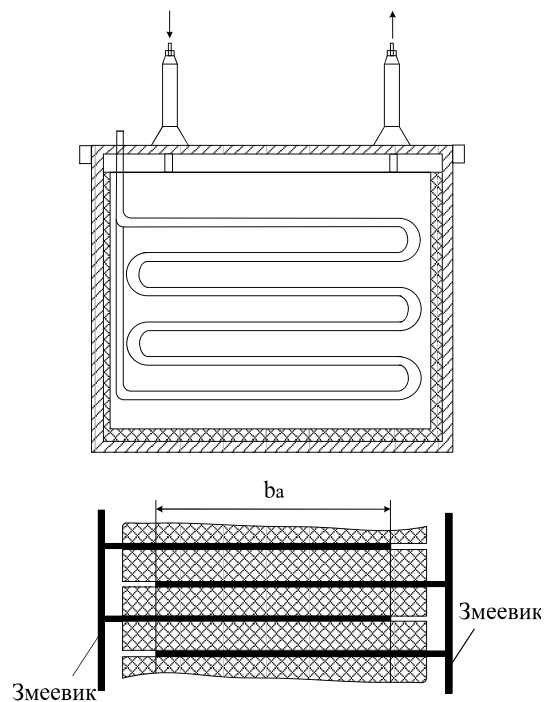


Рис.2. Охлаждение конденсатора с двумя змеевиками

С целью повышения допустимой реактивной мощности или частоты конденсатора устанавливаются два дополнительных изолятора, служащие выходом для нагретой воды, которые поступают на входы, соединенные параллельно вне конденсатора, что позволяет повысить допустимую реактивную мощность или частоту конденсатора.

Наличие второго змеевика позволяет осуществить более интенсивное охлаждение конденсатора, что дает возможность увеличить частоту примерно вдвое.

Установка второго змеевика внутри конденсатора требует увеличения ширины конденсатора примерно на 10...12 мм или за счет уменьшения активной ширины секции конденсатора на 10 мм с соответствующим уменьшением емкости.

Более целесообразно уменьшение активной ширины секции конденсатора, что не влечет изменения существующих корпусов конденсаторов.

**Экспериментальные исследования.** Экспериментальные исследования проводились на физической модели конденсаторного типа, состоящей из обкладок, двух змеевиков, нагревательного элемента, состоящего из нихромовой проволоки диаметром 0,5 мм, намотанной на текстолитовую плоскую основу толщиной 1 мм, двух листов слюды толщиной 0,5 мм, установленных с каждой

стороны нагревательного элемента. Для равномерного распределения мощности нагревательный элемент укладывается в кабельную бумагу толщиной 120 мкм с каждой стороны и располагается между обкладками, к которым припаяны прямолинейные участки двух змеевиков [6].

Сопротивление нагревательного элемента измерялось с помощью моста постоянного тока с погрешностью 0,1%.

К нагревательному элементу подводились напряжения, соответствующие мощностям 100, 200, 300 и 400 Вт. Напряжение измерялось с помощью вольтметра класса 0,5, а ток нагревательного элемента контролировался с помощью амперметра класса 0,5.

Температура на входе и выходе змеевиков измерялась ртутными термометрами со шкалой 0...55 °С и ценой деления шкалы 0,1 °С с погрешностью ±0,4. Температуры контролировались инфракрасным термометром китайского производства НСЮЕТ НТ-830 со шкалой -50...380 °С, результаты которых отличались на 0,1...0,2 °С.

Определялась разность температур на входе и выходе змеевиков при различных скоростях воды и мощностях нагревательного элемента.

Результаты измерений и расчета коэффициента теплоотдачи приведены в табл. 1 и 2, соответственно, с одним и двумя охлаждающими змеевиками.

Таблица 1

*Перегревы макетного образца с одним охлаждающим змеевиком*

$P$ , Вт	$U$ , В	$I$ , А	$t_1$ (вход), °С	$t_2$ (выход), °С	$\Delta t$ , °С	$\alpha_T$ , Вт/м <sup>2</sup> ·град
100	35,9	2,9	31	31,1	0,1	10,61
200	50,79	3,9	31,7	32,1	0,4	5,3

Таблица 2

*Перегревы макетного образца с двумя охлаждающими змеевиками*

$P$ , Вт	$U$ , В	$I$ , А	$t_1$ (вход), °С	$t_2$ (выход), °С	$\Delta t$ , °С	$\alpha_T$ , Вт/м <sup>2</sup> ·град
100	40,25	2,45	29,5	29,5	0	-
200	56,92	3,4	30,3	30,5	0,2	10,6
300	69,71	4,125	31,3	31,7	0,4	7,96
400	80,5	4,8	32,7	33,3	0,6	7,07

Для расчета перегрева конденсатора с водяным охлаждением необходимо определить коэффициент теплоотдачи  $\alpha_T$  экспериментальным путем.

Из сравнения таблиц 1 и 2 видно, что, при прочих равных условиях, перегревы конденсаторов с двумя охлаждающими змеевиками, припаянными к собирательным шинам и выступающими с обоих торцов обкладок пакета секций,

в два раза меньше, чем с одним змеевиком. Следовательно, реактивную мощность можно увеличить в два раза за счет увеличения частоты конденсаторов.

Для электротермических конденсаторов можно поднять частоту до 20 кГц за счет соответствующей корректировки емкости.

### **Выводы**

1. Применительно к бумажно-фольговым (электротермическим) конденсаторам можно увеличить частоту в два раза за счет снижения перепада температур в два раза путем применения двух змеевиков, припаяваемых к выступающим обкладкам пакета секций.

2. Повышение частоты целесообразно осуществить за счет уменьшения активной ширины секций конденсатора на 10 мм.

3. При наличии водяного охлаждения выводов конденсатора можно увеличить допустимую плотность тока в пять и более раз при соответствующей корректировке емкости.

### **Литература**

1. **Гулевич А.И., Киреев А.П.** Производство силовых конденсаторов: Учеб. пособие для подгот. рабочих на производстве. Изд. 3-е, перераб. и доп.- М.: Высш. школа, 1975.- 365 с.
2. **Natarajan R.** Power System Capacitors. - CRC Press, 2005.- 576 p.
3. Патент СССР CS 117752, кл. 21g, 10/02 (H 01g).- Оpubл. 15.03.66.
4. **Ренне В.Т.** Электрические конденсаторы. - Л.: Энергия, 1969.- 592 с.
5. **Deshpande R.P.** Capacitors.- McGraw-Hill Education, 2014.- 342 p.
6. Արտոնագիր №3224A Ջրային հովացումով կոնդենսատոր / **Լ.Ա. Վարդանյան, Մ.Ք. Բաղդասարյան, Պ.Հ. Խաչատրյան, Է.Վ. Կուրդինյան.**- Հրատարակված է 01.10.2018թ.

*Поступила в редакцию 13.08.2018.  
Принята к опубликованию 14.12.2018.*

### **ԹՂԹՅԱ-ՆՐԲԱԹԻԹԵՂԱՅԻՆ ԿՈՆԴԵՆՍԱՏՈՐՆԵՐԻ ԱՇԽԱՏԱՆՔԱՅԻՆ ՀԱՃԱՆՈՒԹՅԱՆ ԲԱՐՁՐԱՑՈՒՄԸ ՋՐՈՎ ՀՈՎԱՑՎՈՂ ԵՐԿՈՒ ԳԱԼՍՐԱԽՈՂՈՎԱԿԻ ԿԻՐԱՌՄԱՆ ՀԱՇՎԻՆ**

#### **Լ.Ա. Վարդանյան**

Կարճաժամկետ հատկությունների վերականգնմամբ հզոր տիրիստորների ստեղծումը թույլ է տալիս մեծացնել կերպափոխիչի կոմուտացիայի հաճախությունը, այդ թվում՝ նաև թղթյա-նրբաթիթեղային էլեկտրաջերմային կոնդենսատորներին՝ մինչև 20 կՀց: Դա հնարավոր է իրագործել ջրով հովացվող երկրորդ գալարախողովակի կիրառմամբ:

Հայտնի են ջրային հովացումով կոնդենսատորներ, որոնցում միևնույն բևեռականությամբ բոլոր շրջադիրների հավաքող դողերը դուրս են բերված ելուստային մեկուսչի միջոցով: Մյուս բևեռականությամբ դողերը նույնպես դուրս են բերված ելուստային մեկուսչի միջոցով, որը, սակայն տեղադրված է կոնդենսատորի կափարիչի վրա: Այսպիսի կոնդենսատորի թերությունն այն է, որ առաջին գալարախողովակի ելքը ծառայում է որպես մուտք երկրորդ գալարախողովակի համար: Հետևաբար՝ թույլատրվում է ջրի 5...10 °C գերտաքացում: Այս թերությունը վերացնելու նպատակով կոնդենսատորի կափարիչի վրա տեղադրվում է երկու լրացուցիչ մեկուսիչ, որոնք ծառայում են որպես ելքեր երկու գալարախողովակի համար: Կոնդենսատորի ներսում գալարախողովակները ջրով միացված են զուգահեռ: Լարման, հաճախության և ունակության հայտնի դեպքերում թղթա-նրբաթիթեղային շրջադիրներով (էլեկտրաջերմային) կոնդենսատորների հաշվարկման համար անհրաժեշտ է որոշել նաև  $\alpha_T$  ջերմատվության գործակցի արժեքը:

Փորձի նպատակն է  $\alpha_T$  ջերմատվության գործակցի որոշումը երկու հովացնող գալարախողովակով: Դրա համար ստեղծվել են ջրով հովացվող կոնդենսատորային տիպի մակետային նմուշներ: Համեմատական վերլուծության համար ստեղծվել են տաքացնող էլեմենտներ, որոնք նմանակում են կորուստները միակողմանի և երկկողմանի փաթաթվածքով թղթում: Գալարախողովակների ելքերի և մուտքերի ջերմաստիճանները չափվել են 0,1 °C ճշտությամբ դասի սնդիկային ջերմաչափների միջոցով, ջերմաստիճանները հսկվել են նաև չինական արտադրության HCJYET HT-830 ինֆրակարմիր ջերմաչափով: Դրանց արդյունքները տարբերվել են 0,1...0,2 °C-ով:

Բացահայտվել է, որ  $\alpha_T$  ջերմատվության գործակցի որոշման առավելագույն սխալանքը կազմում է 0,8...1%: Փորձի արդյունքների վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ երկու հովացնող գալարախողովակի առկայության դեպքում կարելի է էլեկտրաջերմային կոնդենսատորների հաճախությունը բարձրացնել մինչև 20 կՀց, համապատասխան 10 մմ կոնդենսատորի ակտիվ լայնության փոքրացման հաշվին:

**Առանցքային բառեր.** հաճախություն, շրջադիր, դիէլեկտրիկ, գալարախողովակ, ջրային հովացում, ցցված նրբաթիթեղ, ծառայության ժամկետ:

## INCREASING THE OPERATING FREQUENCY OF PAPER-FOIL CAPACITORS BY USING TWO WATER COOLED COILS

L.A. Vardanyan

The creation of powerful thyristors with small times of restoration of properties allows to increase the switching frequency of the converter, including the paper-foil electrothermal capacitors up to 20 kHz. This can be done using two water cooled coils.

Water cooled condensers are known in which the collecting tires of all the plates of one polarity are brought out through the lead-in insulator, and the other polarities are also brought out through the lead-out insulator mounted on the condenser cover. The disadvantage of this capacitor is that the output of the first coil serves as the input of the second coil. Therefore, overheating of water up to 5...10 °C is permissible.

In order to eliminate this drawback, two additional insulators are installed on the cap of the capacitor, which serve as outputs for two coils. The coils outside the condenser are connected in parallel in water. To calculate electrothermal capacitors with paper-foil plates at known voltages, frequencies, capacities and cooling surfaces, it is also necessary to determine the value of the heat transfer coefficient  $\alpha_T$ .

The purpose of the experiment is to determine the heat transfer coefficient  $\alpha_T$  in the presence of two cooling coils. For this purpose, prototypes of condenser-type models cooled with water have been created. For a comparative analysis, heating elements were created, simulating losses in paper with one-sided and two-sided winding. At the inlet and outlet of coils, temperatures were measured using mercury thermometers with a division value of 0,1 °C, and the temperatures were monitored by a China-made HCJYET HT-830 infrared thermometer, the results of which differed by 0,1...0,2 °C.

A comparative analysis shows that the maximum error in determining the heat transfer coefficient  $\alpha_T$  is 0,8...1%. An analysis of the experimental results shows that in the presence of two cooling coils, it is possible to raise the frequency of electrothermal capacitors to 20 *kHz* by a corresponding decrease in the active width of the capacitor by 10 *mm*.

**Keywords:** frequency, lining, dielectric, coil, water cooling, protruding foil, service life.