

В.В. РУДАКОВ, д-р техн. наук, проф. НТУ «ХПИ»,
С.М. БУТКО, инженер НТУ «ХПИ»,
Е.Е. СЕРГЕЕВА, инженер НТУ «ХПИ»,
С.В. РУДАКОВ, канд. техн. наук, доц. НУ ГЗУ, Харьков

МЕТОДИКА УСКОРЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ

Запропоновано методику визначення ресурсу високовольтних імпульсних конденсаторів за результатами випробувань змінною напругою промислової частоти

Предложена методика определения ресурса высоковольтных импульсных конденсаторов за результатами испытаний переменным напряжением промышленной частоты

The method of life time determination of high voltage pulsed capacitors which based on results of AC tests is proposed.

Представлена методика оценки срока службы импульсных высоковольтных конденсаторов с малым тангенсом угла диэлектрических потерь, работающих в режиме длительного (более 0,1с заряда) и быстрого (единицы-десятки мкс) разряда по результатам испытаний на переменном напряжении промчастоты. Использование в конденсаторах пленочных диэлектриков с малым тангенсом угла диэлектрических потерь (менее 0,003) позволяет увеличить частоту следования импульсов при испытаниях в десятки раз без угрозы развития тепловых процессов, влияющих на ресурс. Однако при этом ужесточаются требования к коммутирующей аппаратуре, а также ко всем элементам схемы. Одним из возможных путей решения этой задачи является испытание на переменном напряжении 50 Гц при близких к рабочим напряженностям и оценка перерасчета ресурса на режим импульсных испытаний.

Изменяющееся по гармоническому закону переменное напряжение на конденсаторе можно представить как последовательное чередование элементарных колебательных импульсов. При этом время заряда в элементарном импульсе $t_{зар.э}$ соответствует четверти периода, а время разряда $t_{разр.э}$ $\frac{3}{4}$ периода этих колебаний. Аналогичным образом можно представить форму напряжения конденсатора, работающего в импульсном режиме. В случае импульсного колебательного режима каждая последующая составляющая часть импульса из положительной и отрицательной полуволн имеет меньшие значения амплитуды напряжения за счет затухания. При установлении связи между результатами ресурсных испытаний на переменном и импульсном напряжении приняты следующие допущения: методика применима для режимов, исключающих влияние тепловых процессов, существенно влияющих на ресурс, т.е. для изоляции с малым значением тангенса угла диэлектрических потерь; ресурс M определяется с использованием известной формулы «жизни» для конденсаторной изоляции [1]:

$$M \sim U_{\Delta}^{-n}, \quad (1)$$

где U_{Δ} – размах напряжения в одном элементарном цикле, $U_{\Delta} = U_i(1 + \sqrt{\Delta})$; Δ – декремент колебаний; n – показатель степени, эмпирическое значение которого составляет $5 \div 16$; ресурс при испытании переменным напряжением определяется как число элементарных импульсов за все время испытаний;

ресурс в импульсном режиме определяется как расчетное число элементарных импульсов, определенное по числу и форме ожидаемых физических циклов заряд - колебательный затухающий разряд. Причем частота следования первого элементарного импульса соответствует частоте физических циклов напряжения заряд - колебательный затухающий разряд, а частота следования последующих затухающих элементарных импульсов в одном цикле соответствует частоте разряда. При равенстве числа элементарных импульсов определяется значение напряжения, частоты следования, декремента колебаний и частоты разряда, соответствующие ожидаемому физическому ресурсу импульсного конденсатора. Или при заданных значениях напряжения, частоты следования, декремента колебаний и частоты разряда, определяется фактический ресурс импульсного конденсатора путем сравнения числа расчетных элементарных импульсов с результатами ресурсных испытаний на переменном напряжении. Расчетная зависимость ресурса от напряжения и декремента колебаний определяется формулой (1), а зависимость от частоты заряда и разряда имеет вид степенной зависимости

$$M = b \cdot f^p \cdot F^{-q} \quad (2)$$

где b и q – эмпирические коэффициенты, составляющие для бумажно-масляной и пропитанной пленочной изоляции следующие значения, $b=0,055-0,21$; $q=0,237-0,482$ [2].

Проведены пробные испытания конденсаторной секции, изоляция которой состоит из трех слоев пятнадцати микронной полиэтилентерефталатной пленки ПЭТ-Э, пропитанной трансформаторным маслом Т-1500, на переменном напряжении. Ресурс, выраженный в количестве элементарных импульсов, составил $3,1 \cdot 10^5$ импульсов при амплитудном значении напряженности электрического поля 95 кВ/мм (принято $f=50$ Гц и $F=50$ Гц). Проведены проверочные испытания в импульсном режиме на 2 образцах секций при частоте следования $f=0,8$ Гц и частоте разряда $F=50$ кГц. Декремент колебаний составил 1,7. Режим типичен для установки по определению места повреждения кабеля с использованием разрядов конденсатора. Для сокращения испытаний уровни напряженности электрического поля при заряде в физическом цикле повышались произвольно ступенчато в диапазоне 110 кВ/мм-170 кВ/мм с подачей не менее 700 импульсов на каждой ступени. Расчетные значения ресурса (в элементарных импульсах), отнесенные к напряженности 95 кВ/мм по формуле (1) при типовом значении показателя степени $n = 6$, [2] с учетом усредненных значений коэффициентов $b=0,14$ и $q=0,319$ составили $3,17 \cdot 10^5$ и $4,1 \cdot 10^5$ соответственно. Уровень напряженности до 95 кВ/мм соответствует неизменности тангенса угла диэлектрических потерь, что было проверено на образцах экспериментально прибором ИПИ-10. Это позволяет предположить о подобии физических процессов при переменном и импульсном напряжении при данных уровнях напряженности. Достаточно хорошая корреляция (при статистической наработке большого числа образцов значения минимального и максимального ресурса могут отличаться на порядок) свидетельствует о возможности применения рассмотренного подхода. Необходимо проведение уточняющих экспериментов и исследований, в том числе определение распределения электрического поля в краевых зонах обкладок с учетом проводимости пропитывающей жидкости.

Список литературы: 1. *Кучинский Г.С.* Высоковольтные импульсные конденсаторы. Л.: Энергия, 1973. – 174 с. 2. *Гребенников И.Ю., Гунько В.И., Дмитришин А.А. и др.* Исследование зависимости ресурса высоковольтных импульсных конденсаторов с пленочным диэлектриком от режимов эксплуатации // Электротехника. - 2006. - №6. - С. 38-41.