

УДК 621.319.4

ОЦЕНКА РЕСУРСА ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ  
ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИСПЫТАНИЙ НА ПЕРЕМЕННОМ НАПРЯЖЕНИИ

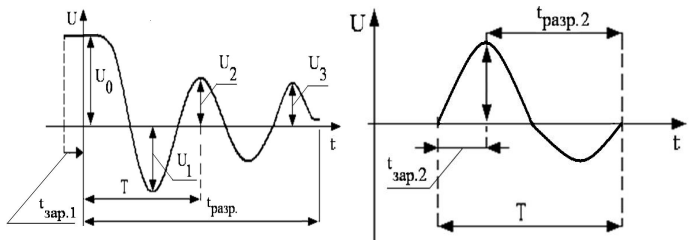
С.М.Бутко<sup>1</sup>, В.В.Рудаков<sup>2</sup>, докт.техн.наук, Е.Е.Сергеева<sup>3</sup>, С.В.Рудаков<sup>4</sup>, канд.техн.наук,  
<sup>1-3</sup> – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»,  
ул. Фрунзе, 21, Харьков, 61002, Украина,  
<sup>4</sup> – Национальный университет гражданской защиты Украины,  
ул. Чернышевского, 94, Харьков, 61023, Украина.

Представлена методика расчета ресурса высоковольтных импульсных конденсаторов с пленочным диэлектриком по результатам испытаний секций конденсаторов на переменном напряжении. Предложена корректирующая зависимость перерасчета ресурса. Библ. 3, рис. 1.

**Ключевые слова:** высоковольтные испытания, импульсный конденсатор, ресурс.

При проведении испытаний высоковольтных импульсных конденсаторов на длительную электрическую прочность актуальной задачей является получение достоверной информации при меньших затратах времени на проведение испытаний, упрощение испытательной схемы и контроля напряжения на объекте испытаний. Использование в конденсаторах пленочных диэлектриков с малым тангенсом угла диэлектрических потерь (менее 0,003) позволяет увеличить частоту следования импульсов. Одним из возможных путей решения этой задачи является испытание на переменном напряжении 50 Гц при близких к рабочим напряженностям электрического поля и определение корректирующей зависимости ресурса импульсного конденсатора по ресурсу изоляции на переменном напряжении.

Изменяющееся по гармоническому закону переменное напряжение на конденсаторе можно представить как последовательное чередование колебательных элементарных импульсов. При этом время заряда конденсатора соответствует четверти, а время разряда –  $\frac{3}{4}$  периода колебаний. Аналогичным образом можно представить форму напряжения конденсатора, работающего в импульсном режиме (рисунок). Если при переменном напряжении амплитуда чередующихся импульсов напряжения остается неизменной и равной  $U_0$ , то в случае импульсного колебательного режима каждая последующая составляющая часть импульса из положительной и отрицательной полуволн, представляющая элементарный импульс, имеет меньшие значения амплитуды напряжения за счет затухания. Причем частота следования 1-го элементарного импульса соответствует частоте следования



полных импульсов напряжения  $f_2$  (при времени заряда  $t_{зар1}$ ), а частота следования последующих элементарных импульсов совпадает с частотой разряда  $F_2$  (при времени заряда  $t_{зар2}$ ). При расчетах ресурса  $M$  использована известная формула «жизни» для конденсаторной изоляции [1,2,3]

$$M \sim E_{\Delta}^{-n} f^b F^{-q}, \quad (1)$$

где  $E_{\Delta}$  – размах напряженности при одном элементарном импульсе,  $E_{\Delta} = E_i(1 + \sqrt{\Delta})$ ;  $E_1 = E_0 = U_0/d_{из}$ ,  $d_{из}$  – толщина диэлектрика между обкладками;  $\Delta$  – декремент колебаний;  $n=5 \div 16$ ,  $b=0,055 \div 0,21$  (для пленочной, комбинированной и бумажной изоляции),  $q=(0,237 \div 0,482)$  [2].

При одинаковой природе разрушения диэлектрика число элементарных импульсов на переменном напряжении должно быть равно числу элементарных импульсов напряжения с учетом перерасчета к одинаковому размаху напряжения. Пусть  $M_1$  – ресурс, выраженный в количествах элементарных чередующихся импульсов переменного напряжения, полученный при испытании, а  $M_{2p}$  – расчетный ресурс циклов заряд-разряд импульсного конденсатора и  $M_{2p}^*$  – расчетный ресурс эквивалентных элементарных импульсов.

Поскольку на изоляцию, испытываемую в импульсном режиме, воздействуют не только первый элементарный цикл разрядного напряжения, но и последующие с уменьшающейся амплитудой, то суммарный вклад по числу элементарных  $M_{2p}^*$  импульсов, приведенных к размаху напряженности  $E_{\Delta 0} = 2E_{01}$ , с учетом частоты следования импульсов и частоты разряда, как следует из формулы (1), составит

$$M_{2p}^* = M_{2p} \left( \frac{E_{02}}{2E_{01}} \right)^n \left[ \left( \frac{f_1}{f_2} \right)^b \left( \frac{F_2}{F_1} \right)^q \left( 1 + \frac{1}{\sqrt{\Delta}} \right)^n + \left( \frac{f_1}{F_2} \right)^{b-q} \sum_{i=1}^m \left( \frac{1}{\Delta_i} + \frac{1}{\Delta_i + 0,5} \right)^n \right], \quad (2)$$

где индексы “1” и “2” относятся соответственно к режимам на переменном и импульсном напряжениях.

В формуле (2) учтено, что частота следования первого элементарного импульса соответствует частоте следования полных импульсов, а частота следования последующих затухающих элементарных импульсов

соответствует частоте разряда. Примем в первом приближении значение  $n=6$  [3], и  $b=0,14$ ,  $q=0,319$  (средние значения коэффициентов при пропитке трансформаторным маслом [2]). При равенстве  $M_1=M_{2p}^*$  ресурс импульсного конденсатора будет равен  $M_{2p}$ . Проверка указанного подхода проведена на образцах секций импульсных конденсаторов с трехслойным лавсановым диэлектриком (толщина пленки ПЭТ 15 мкм), пропитанных трансформаторным маслом Т-1500. Измерены тангенс угла диэлектрических потерь  $tg\delta$  с помощью ИПИ-10 [1] с одновременным определением ресурса на переменном напряжении при разных уровнях напряженности электрического поля. Уровень 110 кВ/мм соответствует интенсивности роста  $tg\delta$ . Значения ресурса  $M_1$ , приведенные к уровню напряженности  $E_{01}=95$  кВ/мм, на каждом 20-минутном интервале нахождения под напряжением промчастоты составили: при  $E_{01}=64$  кВ/мм – 5267, 78 кВ/мм – 20093, 95 кВ/мм – 60000, 110 кВ/мм – 176513, 125 кВ/мм – 67424, всего – 309225 элементарных импульсов.

Расчетные значения ресурса (в элементарных импульсах), отнесенные к напряженности 95 кВ/мм, по формуле (2) по результатам испытаний 2-х других секций в импульсном режиме составили  $3,17 \cdot 10^5$  и  $4,1 \cdot 10^5$  соответственно. Наблюдается достаточно хорошая корреляция с числом элементарных импульсов  $M_1=3,09 \cdot 10^5$ .

**Выводы.** Возможно оценивать ресурс импульсных конденсаторов по результатам испытаний на переменном напряжении при применении коррелирующей зависимости (2).

1. Бутко С.М., Кравченко В.П., Рудаков В.В., Свиридок С.Н. Электрическая прочность конденсаторной изоляции с повышенным содержанием полипропиленовой пленки // Вестник НТУ «ХПИ». – 2011. – №16. – С. 35–39.

2. Гребенников И.Ю., Гунько В.И., Дмитришин А.Я. и др. Исследование зависимости ресурса высоковольтных импульсных конденсаторов с пленочным диэлектриком от режимов эксплуатации // Электротехника. – 2006. – №6. – С. 38–41.

3. Кучинский Г.С. Высоковольтные импульсные конденсаторы. – Ленинград: Энергия, 1973. – 174 с.

УДК 621.319.4

#### ОЦІНКА РЕСУРСУ ВИСОКОВОЛЬТНИХ КОНДЕНСАТОРІВ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ВИПРОБУВАНЬ НА ЗМІННІЙ НАПРУЗІ

С.М.Бутко<sup>1</sup>, В.В.Рудаков<sup>2</sup>, докт.техн.наук, Е.Е.Сергєєва<sup>3</sup>, С.В.Рудаков<sup>4</sup>, канд.техн.наук,

<sup>1-3</sup> – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,

вул. Фрунзе, 21, Харків, 61002, Україна,

<sup>4</sup> – Національний університет цивільного захисту України,

вул. Чернишевського 94, Харків, 61023, Україна.

*Представлено методику розрахунку ресурсу високовольтних імпульсних конденсаторів з плівковим діелектриком випробувань секцій конденсаторів на змінній напрузі. Запропоновано залежність перерахунку ресурсу, що корек-тне. Бібл. 3, рис. 1.*

**Ключові слова:** високовольтні випробування, імпульсний конденсатор, ресурс.

#### ESTIMATION OF LIFE TIME OF HIGH-VOLTAGE CAPACITORS ON RESULTS OF AC VOLTAGE TESTS

S.M.Butko<sup>1</sup>, V.V.Rudakov<sup>2</sup>, E.E.Sergeeva<sup>3</sup>, S.V.Rudakov<sup>4</sup>,

<sup>1-3</sup> – National technical university «Kharkiv polytechnical institute»,

Frunze str., 21, Kharkiv, 61002, Ukraine,

<sup>4</sup> – National university of civil defence of Ukraine,

Chernyshevskogo str., 94, Kharkiv, 61023, Ukraine.

*The method of calculation of life time of high-voltage impuls capacitors with a film dielectric on results the tests of sections of capacitors on AC voltage is presented. Correcting dependence of re-calculation of life time is offered. References 3, figure 1.*

**Keywords:** high-voltage tests, impulsive capacitor, life time.

1. Butko S.M., Kravchenko V.P., Rudakov V.V., Sviridok S.N. Electric durability of capacitor insulation with enhanceable maintenance of polypropylene film // Vestnik NTU «KhPI». – 2011. – №16. – Pp. 35–39. (Rus)

2. Grebennikov I.Yu., Gunko V.I., Dmitrishin A.Ya. and other. Research of dependence of life time of high-voltage impulsive capacitors with a film dielectric from the modes of exploitation // Elektrotehnika. – 2006. – №6. – Pp. 38–41. (Rus)

3. Kuchinskii G.S. The High-voltage impulsive capacitors. – Leningrad: Energiia, 1973. – 174 p. (Rus)

Надійшла 04.01.2012

Received 04.01.2012