

МОДЕЛЮВАННЯ ЧАСТКОВИХ РОЗРЯДІВ ПРИ ВПЛИВІ ГРОЗОВИХ ТА КОМУТАЦІЙНИХ ІМПУЛЬСІВ НАПРУГИ

Троценко Є.О., к.т.н., доц., Бржезицький В.О., д.т.н., проф., Проценко О.Р., к.т.н., доц., Малафійчук Л.В., студентка, Олексієнко В.П., студент
КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра теоретичної електротехніки

Вступ. Часткові розряди в ізоляції електрообладнання високої напруги поступово приводять до погіршення властивостей ізоляції, її фізичного руйнування і, в кінцевому результаті, до електричного пробою. Часткові розряди можуть виникати при різних формах прикладеної напруги. Раніше вважали, що при впливі імпульсної напруги утворюється один-два часткових розряди [1]. В роботах, що з'явилися згодом [2-5] показано, що при впливі імпульсів напруги в зразках ізоляції виникає велика кількість часткових розрядів. З огляду на негативний вплив часткових розрядів на електричну ізоляцію, дослідження часткових розрядів при різних імпульсах напруги є актуальною задачею.

Мета роботи. Схемотехнічне моделювання часткових розрядів, що виникають при дії грозових та комутаційних імпульсів напруги за допомогою демонстраційної версії Micro-Cap Evaluation/Student Version [6].

Матеріали і результати досліджень. Основна схема дослідження зображена на рис. 1.

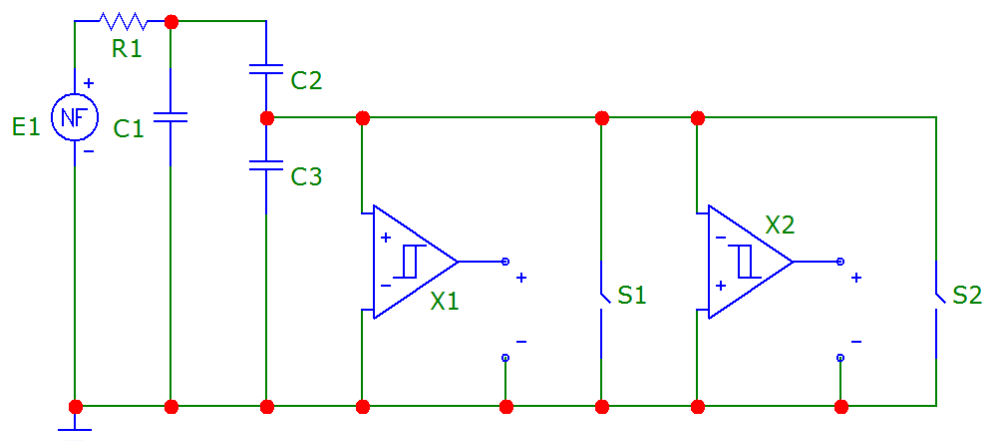


Рисунок 1 – Схема для моделювання часткових розрядів у діелектрику з газовим включенням [5]

Трьох-ємнісна схема заміщення діелектрика з газовим включенням, зображена на рис. 1 відповідає традиційному підходу до вивчення часткових розрядів, що був запропонований в [7]. Така схема добре зарекомендувала себе при моделюванні часткових розрядів при різних формах прикладеної напруги [3, 5, 8]. Методика моделювання часткових розрядів згідно із синтаксисом Micro-Cap Evaluation/Student Version [6] детально висвітлена в публікаціях

[5, 8, 9] і тому в даній роботі не наводиться. Наведемо лише призначення основних елементів.

На рис. 1 E_1 – функціональне джерело напруги; R_1 – внутрішній опір джерела напруги; C_1 – ємність діелектрика, без ділянки з газовим включенням; C_2 – ємність ділянки діелектрика, яка включена послідовно з газовим включенням; C_3 – ємність газового включення. Інші елементи (компаратори напруги X_1, X_2 , ключі S_1, S_2) представляють собою спеціальний розрядник, що моделює пробій газового включення.

В даній роботі було проведено дослідження інтенсивності часткових розрядів в діелектрику при впливі імпульсів напруги формою 1,2/50 мкс (грозовий імпульс) та 250/2500 мкс (комутаційний імпульс). Результати, отримані при різних амплітудах імпульсів, наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати моделювання часткових розрядів при впливі грозових та комутаційних імпульсів напруги

Амплітуда імпульсу, кВ	Кількість часткових розрядів			
	Фронт імпульсу		Спад імпульсу	
	Грозовий імпульс	Комутаційний імпульс	Грозовий імпульс	Комутаційний імпульс
2,0	0	0	0	0
4,0	1	1	0	0
6,0	2	2	0	0
8,0	3	3	1	1
10,0	5	5	3	3
12,0	6	6	4	4
14,0	7	7	5	5
16,0	8	8	6	6
18,0	10	10	8	8
20,0	11	11	9	9
22,0	12	12	10	10
24,0	13	13	11	11
26,0	15	15	13	13
28,0	16	16	14	14
30,0	17	17	15	15

Для моделювання грозових імпульсів напруги формою 1,2/50 мкс було використано вираз (1), а для опису комутаційних імпульсів напруги формою 250/2500 мкс, відповідно, вираз (2).

$$E_1(t) = 1,033 \cdot U_m \cdot (e^{-1,410^4 \cdot t} - e^{-2,70810^6 \cdot t}). \quad (1)$$

$$E_1(t) = 1,112 \cdot U_m \cdot (e^{-280t} - e^{-13000t}). \quad (2)$$

В формулах (1) і (2) U_m – амплітуда імпульсів, В.

Віртуальні осцилограми, що відповідають останньому рядку з табл. 1 (амплітуда 30,0 кВ) наведено на рис. 2-5. При цьому на рис. 2-5 синім кольором показано прикладені імпульси напруги, а червоним кольором – часткові розряди. Окремо на рис. 3 і рис. 5 показані часткові розряди, що виникають на фронті прикладених імпульсів.

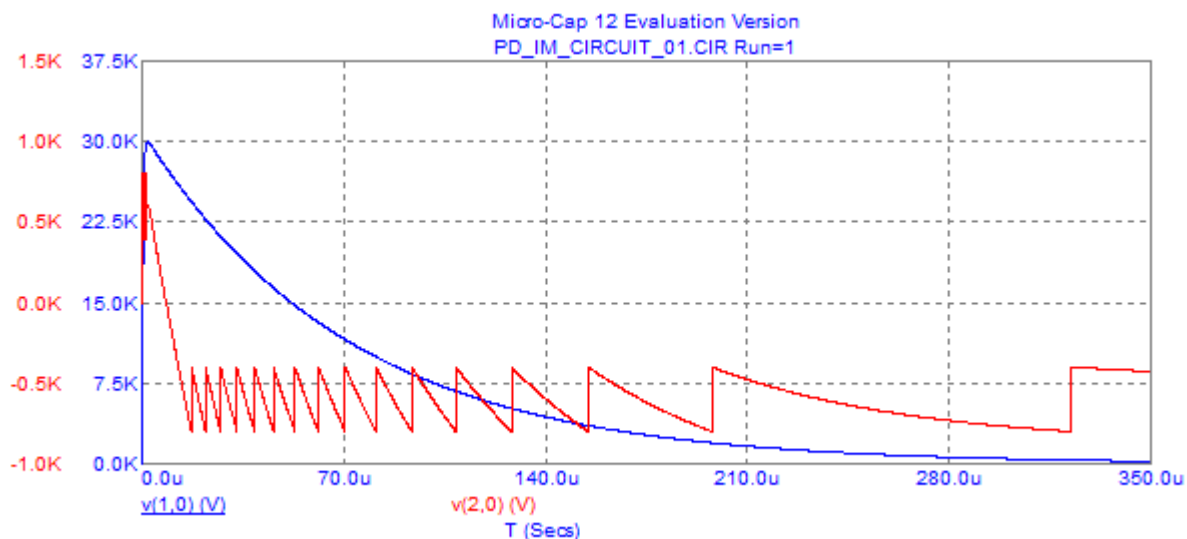


Рисунок 2 – Часткові розряди при впливі грозового імпульсу напруги формою 1,2/50 мкс

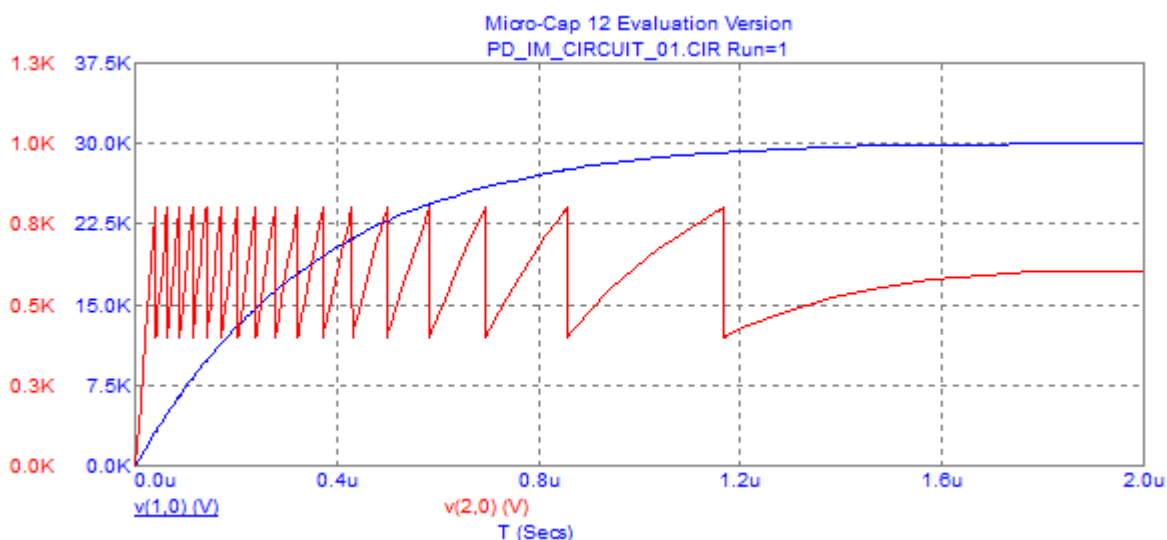


Рисунок 3 – Часткові розряди при впливі грозового імпульсу напруги формою 1,2/50 мкс (збільшено область фронту імпульсу)

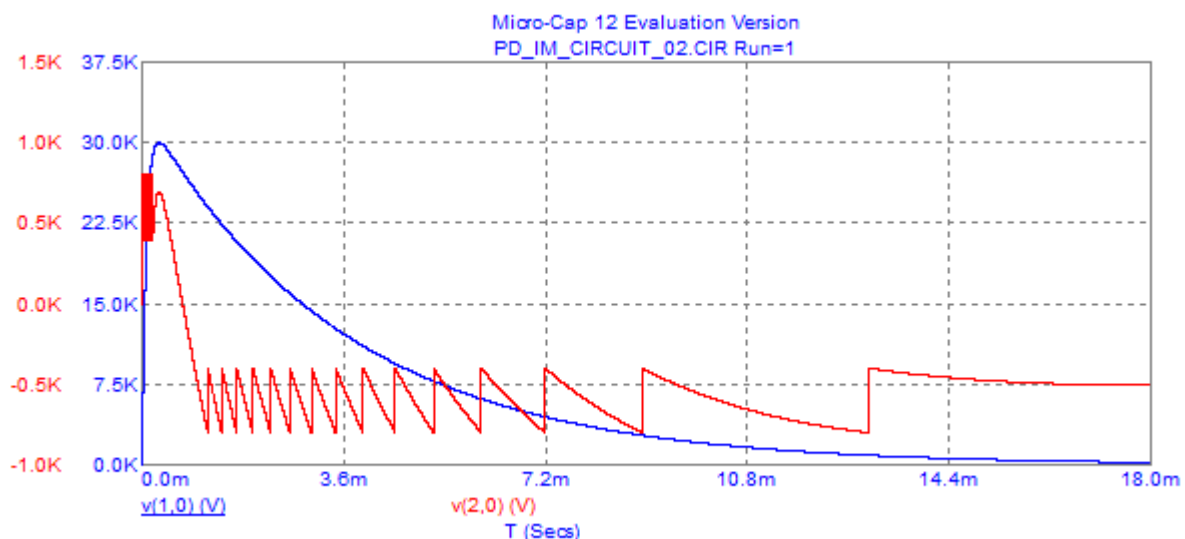


Рисунок 4 – Часткові розряди при впливі комутаційного імпульсу напруги формою 250/2500 мкс

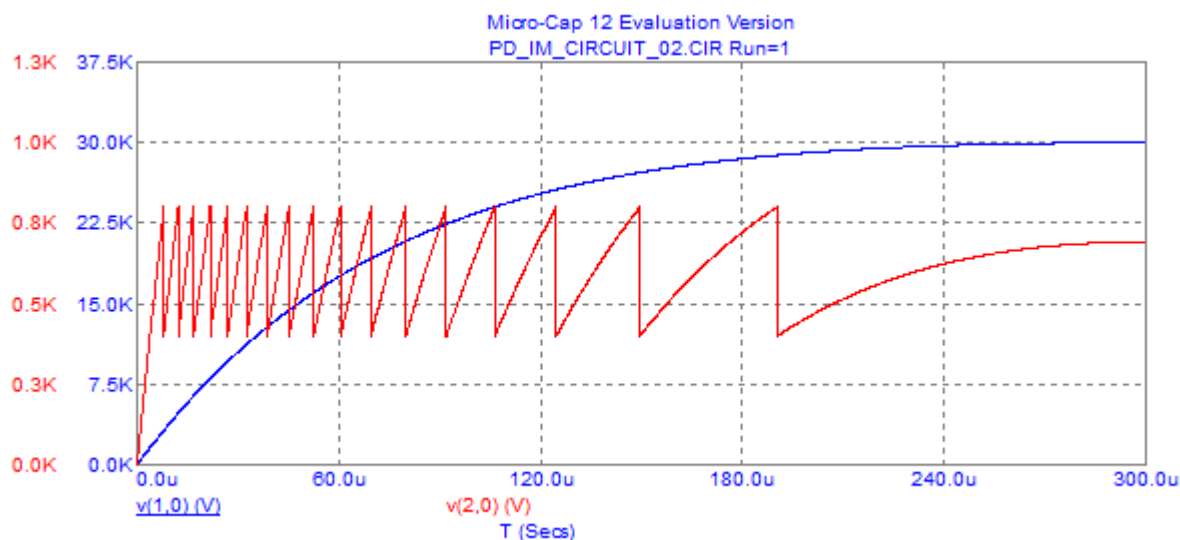


Рисунок 5 – Часткові розряди при впливі комутаційного імпульсу напруги формою 250/2500 мкс (збільшено область фронту імпульсу)

Таким чином, на моделі отримані результати, в яких показано, що за наявності дефекту ізоляції (газове включення) при впливі імпульсів напруги в зразках ізоляції виникають часткові розряди, як в області фронту, так і спаду імпульсу, що аналогічно роботам [2, 3]. Як і при впливі напруги іншої форми, при збільшенні амплітуди прикладеної імпульсної напруги інтенсивність часткових розрядів зростає (табл. 1).

На даний час, випробування з вимірюванням часткових розрядів прикладанням напруги змінного струму є одним з основних методів діагностики та неруйнівних випробувань. Результати, отримані в даній роботі, показують, що розвиток засобів та методик вимірювання характеристик

часткових розрядів при імпульсній напрузі також може бути перспективним для діагностування стану ізоляції електрообладнання високої напруги.

Висновки: В роботі наведені результати схемотехнічного моделювання часткових розрядів, що виникають при дії грозових та комутаційних імпульсів напруги в трьох-ємнісній схемі заміщення діелектрика з газовим включенням. При моделюванні було використано демонстраційну версію Micro-Cap Evaluation/Student Version [6].

Результати моделювання показують, що при впливі імпульсної напруги, в газовому включенні часткові розряди виникають як на фронті імпульсу, так і на його спаді, причому, в значній кількості. В цілому, результати моделювання представляють собою нову якісну оцінку явища часткових розрядів у діелектрику при впливі імпульсної напруги. Для його кількісної оцінки повинні бути розвинуті засоби та методики вимірювання характеристик часткових розрядів при імпульсній напрузі.

Результати, отримані в даній роботі, можуть бути використані в подальшому, як в науково-дослідній роботі кафедри теоретичної електротехніки, так і у розвитку комп'ютерного практикуму з дисципліни "Діагностика стану електротехнічного обладнання" та "Перенапруги та їх обмеження в електричних мережах".

Перелік посилань

1. Вдовико В. П. Частичные разряды в диагностировании высоковольтного оборудования. Новосибирск: Наука, 2007. 155 с.
2. Li Y., Mu H.-B., Deng J.-B., Zhang G.-J., Wang S.-H. Partial discharge characteristics of oil/polypropylene film with a needle-plate electrode excited by impulse voltages // 2013 Annual report conference on electrical insulation and dielectric phenomena. 2013. pp. 1225-1228.
3. Deng J., Wang M., Zhou Y., Zhou Z., Zhang Y., Zhang L., Liu X. Partial discharge characteristics of uniform gap in oil-impregnated paper insulation under switching impulse voltage // IEEE Transactions on dielectrics and electrical insulation. 2016. Vol. 23, No. 6. pp. 3584-3592.
4. Do T. M., Lesaint O., Auge J.-L. Streamers and partial discharge mechanisms in silicone gel under impulse and AC voltages // IEEE Transactions on dielectrics and electrical insulation. 2008. Vol. 15, No. 6, pp. 1526-1534.
5. Trotsenko Y., Brzhezitsky V., Protsenko O., Chumack V., Haran Y. Simulation of partial discharges under influence of impulse voltage // Technology audit and production reserves. 2018. Vol. 1, No. 1 (39). pp. 36-41.
6. <http://www.spectrum-soft.com/download.shtm>.
7. Gemant A., Philippoff W. Die funkenstrecke mit vorkondensator // Zeitschrift für technische physik. 1932. Vol. 13, No. 9, pp. 425-430.
8. Trotsenko Y., Brzhezitsky V., Protsenko O., Chumack V., Haran Y. Effect of voltage harmonics on pulse repetition rate of partial discharges // Technology audit and production reserves. 2018. Vol. 2, No. 1 (40). pp. 37-44.
9. Trotsenko Y., Brzhezitsky V., Protsenko O., Chumack V., Haran Y. Experimental study and modeling of partial discharge detection system // Technology audit and production reserves. 2018. Vol. 4, No. 1 (42). pp. 17-22.