

Сейфуллин окулары – 18(2): «XXI ғасыр ғылымы – трансформация дәуірі» халықаралық ғылыми -практикалық конференция материалдары = Материалы международной научно-практической конференции «Сейфуллинские чтения – 18(2): «Наука XXI века - эпоха трансформации» - 2022 .- Т.І, Ч.IV. – С.227-229

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ РАЗРЯДНОЙ ЦЕПИ МОБИЛЬНОГО ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ГЕНЕРАТОРА ИМПУЛЬСНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

Н.С. Кузнецова, доцент, к.ф.-м.н.
Томский политехнический университет, г. Томск

Одной из основных характеристик материала, определяющих параметры источника высокого напряжения (амплитуда и энергия импульса), является его электрическая прочность. Согласно литературным источникам экспериментально установлено, что электрическая прочность горных пород и искусственных материалов незначительно коррелирует с их механической прочностью. Бетоны, в том числе входящие в состав железобетонных изделий по прочности можно отнести к (6–15) категории прочности, т.е. пробивное напряжение бетонов должно быть меньше, чем у крепких горных пород.

Разрушение железобетонных изделий осуществляется в воде, поэтому для эффективного инициирования искрового канала в толще бетона необходимы высоковольтные импульсы с длительностью фронта порядка 10^{-7} с (крутизна импульса 1000-2000 кВ/мкс). Следовательно, источник высокого напряжения должен позволять регулировать амплитуду импульса в широких пределах, обеспечивать возможность изменения длительности фронта импульса и времени выделения энергии в контуре. Этим требованием отвечают генераторы, работающие по схеме Маркса. Известные экспериментальные исследования выполнялись с использованием таких генераторов, которые отличались конструктивным исполнением и элементной базой.

Работа высоковольтного генератора импульсных напряжений моделируется на основе эквивалентной схемы, содержащей генерирующий конденсатор емкостью C , сопротивление r_z , индуктивность L и нагрузку с сопротивлением $R_{ch}(t)$ (рисунок 1). В электроразрядных технологиях чаще всего используются емкостные импульсные генераторы. Другие виды источников энергии могут быть приведены к аналогичной схеме замещения. При замыкании ключа S_w в диэлектрике формируется разрядный канал радиусом r_{ch0} , в плазме которого и в активном сопротивлении r_z (сопротивление коммутатора S_w и проводов разрядного контура) из конденсатора C выделяется запасенная в нем энергия $W_g = \frac{CU_0^2}{2}$. Индуктивность L состоит из индуктивности конденсатора C , соединительных проводов и разрядного канала длиной l_{ch} . Канал разряда с сопротивлением

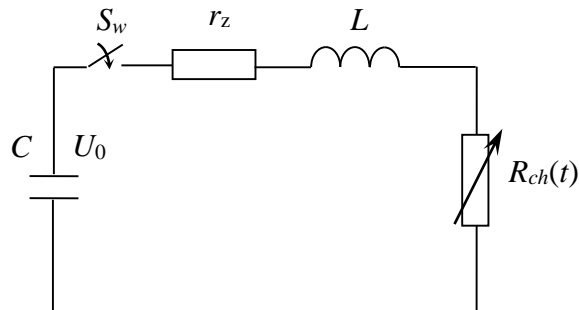
$R_{ch}(t)$ моделируется расширяющимся цилиндром радиусом $r_{ch}(t)$ и длиной l_{ch} . После замыкания ключа S_w сумма напряжений на элементах цепи равна нулю:

$$U_c(t) + U_{r_z}(t) + U_L(t) + U_{R_{ch}}(t) = 0, \quad (1)$$

где $U_c(t)$ – напряжение на емкости C ; $U_{r_z}(t) = i(t)r_z$ – напряжение на сопротивлении r_z ; $U_L(t) = L \frac{di(t)}{dt}$ – напряжение на индуктивности; $U_{R_{ch}}(t) = i(t)R_{ch}(t)$ – падение напряжения на разрядном промежутке; $i = -C dt \frac{dU_c}{dt}$ – ток, протекающий через генерирующий конденсатор C . Или после подстановки значений падения напряжения в (1), получим уравнения Кирхгофа для разрядной цепи:

$$L \frac{dI}{dt} + (R_{ch} + r_z) \cdot i(t) + \frac{1}{C} \int i dt = U_0, \quad (2)$$

с начальными условиями для силы тока $i(0)=0$ и напряжения $U(0)=U_0$, где U_0 – начальное напряжение.



C – емкость генератора, U_0 – зарядное напряжение, S_w – ключ, L – индуктивность, r_z – омическое сопротивление цепи
Рисунок 1 – Схема замещения высоковольтного генератора импульсных напряжений и нагрузки (разрядного канала)

Изменение сопротивления разрядного канала определяется через интеграл действия тока по соотношению Ромпе-Вайцеля [1]:

$$R_{ch}(t) = \frac{Al_{ch}}{\sqrt{\int_0^t i^2(t) dt}}, \quad (3)$$

В [2] приведены результаты систематических измерений сопротивлений $R_{ch}(i, t)$, полученные для пяти твердых диэлектриков (монокристалл KCl , органическое стекло, песчаник, гранит и кварцит). Анализ $A=f(\lambda)$ показал, что с погрешностью не более (10–15) % относительно опыта, максимальная мощность, развиваемая в канале, и энергия, выделившаяся за время первой осцилляции тока, могут быть рассчитаны при $A=const$. Зависимость $A=f(\lambda)$ (рисунок 2 [2]), где $\lambda = \rho \cdot c_0$ – акустическая жесткость материала, ρ – плотность материала, c_0 – скорость звука в нем позволяет определить искровую постоянную для некоторых горных

пород.

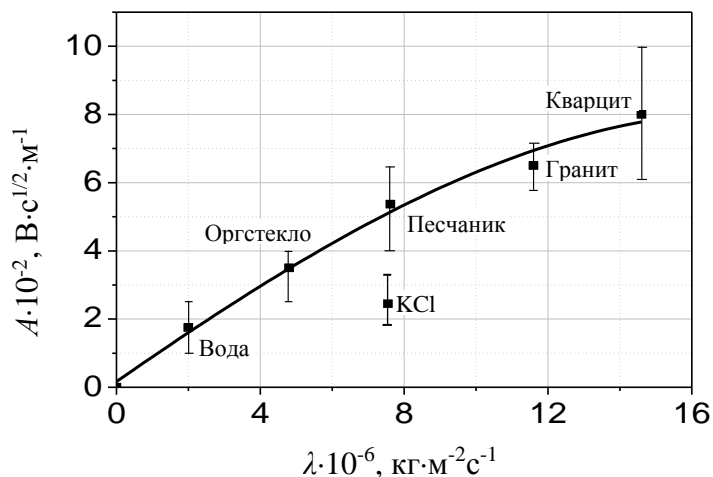


Рисунок 2 – Зависимость искровой постоянной A от акустической жесткости среды λ .

В большей части временного интервала протекания тока величина A изменяется квазистационарно. Это дает основание использовать постоянное значение, равное $A_{\text{ср}}$. В таблице 1 приведены средние значения $A_{\text{ср}}$ для некоторых пород и бетона.

Таблица 1 – Значения коэффициента $A_{\text{ср}}$, $\text{В}\cdot\text{с}^{1/2}\cdot\text{м}^{-1}$

Материал	Песчаник	Гранит	Микрокварцит	Бетон
$A_{\text{ср}}$	500	611	870	210

Таким образом, разработанная модель основана на уравнениях Кирхгофа для разрядной цепи и уравнении Ромпе-Вайцеля для расчета изменения сопротивления разрядного канала. Работа генератора определяется емкостью, активным сопротивлением цепи, индуктивностью, начальным напряжением, до которого заряжена емкость генератора. Значения емкости и напряжения определяют запасенную емкостным накопителем энергию. На канальной стадии емкость и индуктивность определяют осциллирующий характер колебаний в цепи генератора.

Исследования проведены в Казахском агротехническом университете им. С. Сейфуллина при финансировании Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант AP09058149. Исследование электроразрядного разрушения железобетонных изделий и твердых отходов для разработки мобильного комплекса их переработки и утилизации).

Список использованной литературы

1 Bluhm, H. Pulsed Power Systems. Principles and Applications. Heidelberg : Springer, 2006. – 326 p.

2 Зиновьев Н.Т., Семкин Б.В. Исследование сопротивления канала пробоя твердых диэлектриков: Сб. Техника высоких напряжений и

электрическая прочность изоляции. [Текст] / – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 1978. – С. 23–29.