

ФОРМИРОВАНИЕ ИМПУЛЬСОВ ТОКА СОПРОВОЖДАЮЩИХ ГРОВОУЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

А.А. Петков

Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт "Молния"
Национального технического университета "Харьковский политехнический институт"
Украина, ул. Шевченко 47, г. Харьков – 13, 61013
тел./факс: (057) 707-62-80
E-mail: alexp@kpi.kharkov.ua

Д.Г. Колиушко

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»
Украина, ул. Фрунзе, 21, г. Харьков – 2, 61002
Тел. (057) 707-62-80, E-mail: den@kpi.kharkov.ua.

Annotation – In work the problem of simulators discharge circuits synthesis, for formation of the current pulses concerned with storm activity by the analytical task of the current pulse form is considered. It is shown, that approximation of experimental dependences of a current pulse should be made in view of the accepted formation circuit.

Key words – current pulse, storm activity, forming units, discharge circuit.

Постановка проблемы. Грозовая деятельность является одним из основных источников импульсных воздействий, дестабилизирующих работу электроэнергетического оборудования и приводящих к значительным материальным затратам, связанным с восстановлением нормального режима функционирования электроэнергетических систем. Этим обусловлено особое внимание, уделяемое испытаниям электроэнергетического оборудования на стойкость к воздействию факторам грозовой деятельности, основным из которых является импульс тока молнии.

С точки зрения надежности и безопасной эксплуатации электроэнергетического оборудования все импульсы тока (ИТ), связанные с грозовой деятельностью можно разделить на три основные группы, формирующиеся под воздействием различных факторов [1]:

1. ИТ, протекающие в канале молнии при разрядах типа облако-облако и облако-земля.

2. ИТ, протекающие по токопроводящим частям электроэнергетического оборудования при непосредственном поражении разрядом молнии его или гальванически связанного с ним другого электроэнергетического оборудования.

3. Наведенные ИТ в токопроводящих частях электроэнергетического оборудования, вызванные протеканием в непосредственной близости от них токов первых двух групп.

Параметры ИТ первой группы формируются под влиянием геоэлектromагнитной обстановки в месте грозовой деятельности. Второй – определяются комплексным сопротивлением цепи протекания тока. Параметры третьей группы ИТ определяются как геометрическими характеристиками, так и комплексным сопротивлением цепи протекания тока. ИТ каждой из групп имеют сложную, отличную от токов других групп форму [1, 2], что, в свою очередь, диктует необходимость различных подходов при проектировании испытательных устройств.

Анализ публикаций. Для испытания электроэнергетического оборудования на воздействие указанных ИТ чаще всего применяют имитаторы на базе емкостных накопителей энергии (ЕНЭ) [3, 4]. Непосредственное использование разряда ЕНЭ не позволяет получить всю гамму ИТ сложной формы, поэтому для описания грозовой деятельности применяются упрощенные импульсы, которые чаще всего математически описываются суммой двух экспонент [1]. Выбор параметров разрядной цепи имитаторов при аналитической форме задания ИТ рассмотрен в [5]. Метод аппроксимации экспериментальных данных измерения импульсов тока двухэкспоненциальной зависимостью – в [6]. Однако неучет особенностей формы ИТ может привести к неадекватной реакции испытуемого оборудования в реальной ситуации при грозовой деятельности. В связи с этим возникает задача синтеза разрядных цепей имитаторов с целью формирования ИТ сложной формы. Данная задача, несмотря на имеющиеся публикации (например [7]), не имеет обобщенного решения, что в первую очередь связано с неопределенностью требований к аналитическому описанию формы ИТ.

Целью данной работы является разработка методики аппроксимации сложных импульсов тока экспоненциальными полиномами специального вида, позволяющих синтезировать разрядную цепь имитатора тока молнии.

Материалы и результаты исследования. Аналитическое описание ИТ молнии с точки зрения возможности и удобства анализа, должно удовлетворять следующим требованиям [1]:

1. Достаточно близко описывать реальную форму ИТ.

2. Быть дважды дифференцируемой во всей области существования.

3. В момент $t = 0$ обращаться в нуль, не иметь скачков и разрывов.

4. Первая производная в момент $t = 0$ должна обращаться в нуль;

5. Иметь относительно простые преобразования Фурье и Лапласа.
Учитывая, что ИТ ограничен во времени, для полноты математического описания перечисленные требования необходимо дополнить следующим, отражающим затухание ИТ:

$$i(t)|_{t=\infty} = 0. \tag{1}$$

В общем случае требованиям 1, 2, 3, 5 и (1) удовлетворяет экспоненциальный полином вида

$$i(t) = \sum_{j=1}^m \alpha_j \cdot e^{-\beta_j t} \Leftrightarrow \sum_{k=0}^{m-2} p^k \cdot A_k / \sum_{k=0}^m p^k \cdot B_k, \tag{2}$$

где $\sum_{j=1}^m \alpha_j = 0$; $\beta_j > 0$, $j = 1 \dots m$; $m \geq 2$;

A_k, B_k – коэффициенты операторного изображения ИТ (формулы для их вычисления приведены в [7]).

Формирование ИТ в виде (2) может быть осуществлено различными способами. В [7] показано, что подобный ИТ может быть сформирован при введении в разрядную цепь имитатора формирующего двухполюсника (ФД), включенного последовательно с нагрузкой (см. рис.1.) и приведены условия, при которых формирование ИТ в случае $m = 3$, может быть всегда обеспечено выбором зарядного напряжения имитатора. Этим условиям удовлетворяет аналитическое описание ИТ разряда молнии, приведенное в [1],

$$i(t) = 2 \cdot 10^4 \cdot e^{-5 \cdot 10^4 t} - 2,5 \cdot 10^4 \cdot e^{-5 \cdot 10^5 t} + 5 \cdot 10^3 \cdot e^{-7 \cdot 10^2 t}, \tag{3}$$

где $i(t)$ – в А, t – в сек.

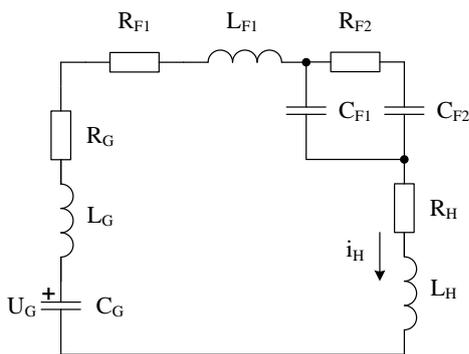


Рис. 1. Эквивалентная схема разрядной цепи имитатора для формирования в нагрузке ИТ вида (2) при $m=3$.

U_G, R_G, L_G, C_G – напряжение, активное сопротивление, индуктивность и емкость ЕНЭ; R_H, L_H – активное сопротивление и индуктивность нагрузки; $R_{F1}, R_{F2}, L_{F1}, C_{F1}, C_{F2}$ – формирующие элементы; i_H – ток, протекающий в нагрузке.

В качестве примера можно показать, что ИТ (3) может быть сформирован в последовательной активно-индуктивной нагрузке $R_H = 2$ Ом, $L_H = 1 \cdot 10^{-6}$ Гн при следующих параметрах имитатора $U_G = 8 \cdot 10^4$ В, $R_G = 1$ Ом, $L_G = 5 \cdot 10^{-6}$ Гн и параметрах формирующих элементов (см. рис. 1): $C_G = 1,5 \cdot 10^{-2}$ Ф, $R_{F1} = 0,753$ Ом, $R_{F2} = 12,7$ Ом, $L_{F1} = 9,59 \cdot 10^{-7}$ Гн, $C_{F1} = 7,48 \cdot 10^{-6}$ Ф, $C_{F2} = 8,68 \cdot 10^{-5}$ Ф.

Физическая реализация элементов с такими параметрами не представляет технических трудностей [3, 4].

Анализ показывает, что в схеме, приведенной на рис. 1 при $m = 3$, не представляется возможным сформировать ток в нагрузке, удовлетворяющий требованию 4 – равенство первой производной нулю в начальный момент времени. Такой ИТ является частным случаем (2) и его операторное изображение по Лапласу имеет вид

$$i(t) = \alpha_1 \cdot e^{\beta_1 t} + \alpha_2 \cdot e^{\beta_2 t} + \alpha_3 \cdot e^{\beta_3 t} \Leftrightarrow \frac{A_0}{p^3 + B_2 p^2 + B_1 p + B_0}, \tag{4}$$

где $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 0$;
 $\alpha_1 \cdot \beta_1 + \alpha_2 \cdot \beta_2 + \alpha_3 \cdot \beta_3 = 0$;
 $A_0 = \alpha_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 + \alpha_2 \cdot \beta_1 \cdot \beta_3 + \alpha_3 \cdot \beta_1 \cdot \beta_2$;
 $B_2 = \beta_1 + \beta_2 + \beta_3$;
 $B_1 = \beta_1 \cdot \beta_2 + \beta_1 \cdot \beta_3 + \beta_2 \cdot \beta_3$;
 $B_0 = \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3$.

Импульс (4) может быть сформирован в активной нагрузке с помощью ЕНЭ и ряда формирующих элементов. Эквивалентная схема разрядной цепи для этого случая приведена на рис. 2.

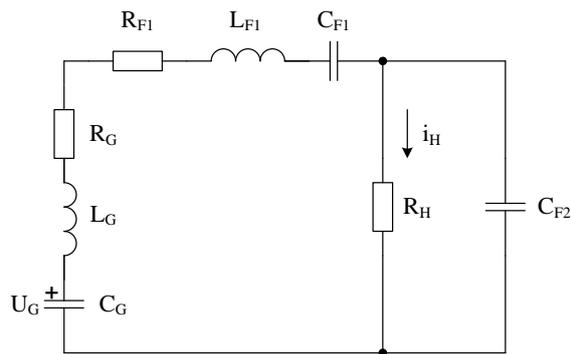


Рис. 2. Эквивалентная схема формирования ИТ вида (4).

Операторное изображение ИТ в нагрузке R_H имеет вид

$$i_H(p) = \frac{V_0}{W_3 p^3 + W_2 p^2 + W_1 p + W_0}, \tag{5}$$