

УДК 621.313

А. А. Петков

## Особенности формирования испытательного импульса тока при его идентификации набором контролируемых параметров и интегралом действия

*Рассмотрен вопрос формирования испытательных импульсов тока, заданных амплитудно-временными параметрами и интегралом действия. Предложен метод выбора элементов генератора при нечетком определении контролируемых параметров формируемого импульса тока.*

### Введение

Процесс совершенствования электротехнического, электронного и микропроцессорного оборудования обязательно включает аспект повышения его устойчивости к воздействиям различных электромагнитных факторов, сопровождающих все жизненные циклы оборудования. Одним из наиболее значимых факторов этого класса является разряд молнии. Особая важность проверки устойчивости авиационного оборудования на прямое поражение молнией нашла отражение в разработке ряда международных и национальных нормативных документов, например [1, 2].

Особенностью воздействия разрядов молнии является то, что имеющие при этом место процессы (электромагнитные, электротермические и электродинамические), наряду с амплитудно-временными параметрами (АВП) импульса тока, определяются такой его характеристикой, как интеграл действия [2, 3]. Это влечет за собой ряд проблем при разработке и создании генераторов импульсов тока (ГИТ), моделирующих ток прямого поражения разрядом молнии. Одной из задач, возникающих на стадии проектирования ГИТ, является выбор параметров разрядной цепи, позволяющей формировать импульс тока при его идентификации АВП и интегралом действия.

Выбор элементов традиционной схемы ГИТ для формирования импульса тока, заданного только на-

ляется то, что имеющие при этом место процессы (электромагнитные, электротермические и электродинамические), наряду с амплитудно-временными параметрами (АВП) импульса тока, определяются такой его характеристикой, как интеграл действия [2, 3]. Это влечет за собой ряд проблем при разработке и создании генераторов импульсов тока (ГИТ), моделирующих ток прямого поражения разрядом молнии. Одной из задач, возникающих на стадии проектирования ГИТ, является выбор параметров разрядной цепи, позволяющей формировать импульс тока при его идентификации АВП и интегралом действия.

© А. А. Петков 2009 г.

бором контролируемых АВП, осуществляется с использованием метода безразмерных характеристик, который изначально был применен при расчетах генераторов импульсов напряжения [4] и модифицирован для расчетов ГИТ при известной емкости и одному из наборов контролируемых АВП [5]. Дальнейшее развитие метод получил в работах [6, 7].

В настоящее время в литературе освещены также вопросы анализа параметров генерируемых импульсов тока, в том числе расчета интеграла действия [3, 8]. Выбор параметров ГИТ для одного из вариантов соотношения контролируемых параметров и интеграла действия рассмотрен в [9].

Однако при проектировании ГИТ имеется ряд практических проблем, решение которых не нашли отражение в известных источниках. К ним, в первую очередь, следует отнести учет нечеткого задания контролируемых АВП, которое имеет место при наличии широких допусков на значения АВП [2], и необходимости получить импульс тока с минимально возможным временем нарастания или максимально возможным временем спада значений в пределах допусков. В первом случае, наряду с термическим воздействием, может быть исследовано влияние наведенных на объекте напряжений и токов с предельными значениями. Во втором – реакция объекта на возникающие электродинамические усилия.

Второй проблемой является отсутствие общего метода определения параметров ГИТ при идентификации импульса тока контролируемых АВП и интегралом действия.

Целью настоящей статьи является разработка метода выбора параметров разрядной цепи генератора импульсов тока в условиях нечеткого задания амплитудно-временных параметров импульса тока и его интеграла действия.

### Материалы и методика исследования

Для традиционного исполнения ГИТ, разрядная цепь которого представима последовательным  $RLC$  контуром, рассмотрим ряд соотношений, связывающих контролируемые АВП параметры и интеграл действия униполярного апериодического импульса тока, с коэффициентами следующего выражения, определяющего изменение значений тока во времени:

$$i(t) = I_{nr} (e^{-\beta_1 t} - e^{-\beta_2 t}), \quad (1)$$

где  $i(t)$  – значение тока в момент  $t$ ; нормирующий множитель  $-I_{nr} > 0$ ; постоянные экспонент, характеризующие соответственно нарастание и спад значений импульса тока, связаны соотношением  $\beta_2 > \beta_1 > 0$ .

Для дальнейшего анализа преобразуем (1) к виду

$$i(t) = I_{nr} e^{-\beta_1 t} [1 - e^{-\beta_1 (\beta_2/\beta_1) t}], \quad (2)$$

где диапазон возможного изменения отношения постоянных экспонент определяется соотношением  $1 < \beta_2/\beta_1 < \infty$ .

Приравняв производную по времени выражения (1) нулю, определим время достижения импуль-

сом тока максимального значения

$$t_{\max} = \frac{\ln(\beta_2/\beta_1)}{\beta_1(\beta_2/\beta_1 - 1)}. \quad (3)$$

Подставляя (3) в (2), находим максимальное значение импульса тока в виде

$$i_{\max} = I_{nr} \exp(-A) [1 - (\beta_2/\beta_1)^{-1}], \quad (4)$$

где  $A = \frac{\ln(\beta_2/\beta_1)}{\beta_2/\beta_1 - 1}$ .

Как видно из (4), максимальное значение импульса тока не зависит от конкретных значений постоянных экспонент, а зависит только от их отношения.

Выражение для полного интеграла действия получим, интегрируя квадрат выражения (1) в интервале времени от 0 до  $\infty$ .

$$J = \int_0^{\infty} i(t)^2 dt = I_{nr}^2 \frac{1}{\beta_1} \left[ \frac{1}{2} - \frac{2}{1 + \beta_2/\beta_1} + \frac{1}{2(\beta_2/\beta_1)} \right]. \quad (5)$$

Как видно из (5), полный интеграл действия зависит от меньшей постоянной  $\beta_1$ , характеризующей спад значений импульса тока и отношения постоянных экспонент.

Можно показать, что для вычисления временных контролируемых параметров импульса тока имеют место следующие соотношения.

Для времени нарастания импульса тока от значения  $0,1i_{\max}$  до  $0,9i_{\max}$

$$T_{H(0,1;0,9)} = \frac{\ln 9}{\beta_2 B}, \quad (6)$$

где  $B = 1 + 2,87(\beta_2/\beta_1)^{-0,67}$ .

При  $\beta_2/\beta_1 \geq 1,01$  относительная погрешность вычисления по (6)  $\delta < 2\%$ .

Для времени достижения на спаде значения импульса тока на уровне  $0,01i_{\max}$

$$T_{C0,01} = -\frac{\ln 0,01}{\beta_1} D, \quad (7)$$

где  $D = 1 + 0,59(\beta_2/\beta_1)^{-0,86}$ .

При  $\beta_2/\beta_1 \geq 1,01$  относительная погрешность вычисления по (7)  $\delta < 5\%$ , при  $\beta_2/\beta_1 \geq 2$  относительная погрешность вычисления  $\delta < 2\%$ .

Соотношения (6) и (7) получены расчетно-аналитическим путем, исходя из предельных значений выражения (1) при  $\beta_2 = \infty$  и  $\beta_1 = 0$ , с дальнейшим учетом реального отношения  $\beta_2/\beta_1$  посредством введения выражений для  $B$  и  $D$ , полученных аппроксимацией расчетных данных. Как видно из (6) и (7), вре-

мя нарастания определяется большей постоянной  $\beta_2$  и отношением постоянных экспонент, а время спада – меньшей постоянной  $\beta_1$  и отношением постоянных экспонент.

Отметим, что как показано в [9], интеграл действия тока, вычисленный за промежуток времени от 0 до  $T_{C0,01}$  для импульса вида (1), с большой точностью может быть принят равным полному интегралу действия, определяемому по (5), а именно,  $J(T_{C0,01}) = J(\infty) = J$ . Это позволяет в дальнейшем оперировать выражением (5).

Анализ (4), (5) и (7) показывает, что можно установить непосредственную связь между интегралом действия  $J$ , максимальным значением тока  $i_{max}$  и временем спада  $T_{C0,01}$ . Для этого в (7) подставим величину  $\beta_1$ , определенную из (5), и далее, величину  $I_{nr}$ , определенную из (4). В результате после преобразования получим зависимость, связывающую время достижения на спаде импульса значения  $0,01i_{max}$ , интеграл действия, максимальное значения тока в импульсе и отношение постоянных  $\beta_2/\beta_1$

$$T_{C0,01} = -J \frac{\ln 0,01}{i_{max}^2} \exp(-2A)ND, \quad (8)$$

где  $N = 2 + \frac{2}{\beta_2/\beta_1}$ .

Разделив почленно выражение (7) на (6), получим

$$\frac{T_{C0,01}}{T_{H(0,1;0,9)}} = -\frac{\ln 0,01}{\ln 9} \frac{\beta_2}{\beta_1} DB. \quad (9)$$

Далее, подставим выражение (8) в (9) и после преобразования получим зависимость, связывающую время нарастания импульса тока от значения  $0,1i_{max}$  до  $0,9i_{max}$ , интеграл действия, максимальное значение тока в импульсе и отношение постоянных  $\beta_2/\beta_1$

$$T_{H(0,1;0,9)} = J \frac{\ln 9 \exp(-2A)N}{i_{max}^2 B(\beta_2/\beta_1)}. \quad (10)$$

Применяя к выражениям (6) и (8) предельные переходы, получим соотношения, приведенные в табл. 1, которые позволяют определять границы изменения временных параметров импульса тока при заданных значениях интеграла действия  $J$  и максимального значения тока  $i_{max}$ .

На рис. 1 и рис. 2 показаны зависимости временных параметров, вычисленных по выражениям (8) и (10) для А-составляющей импульса тока молнии с учетом предельных допусков на значение интеграла действия и максимального значения тока [2].

Из приведенных графиков видно, что они имеют монотонный характер, а также то, что при заданном

Таблица 1

Обозначение	Значение отношения постоянных экспонент	
	$\beta_2/\beta_1 \rightarrow 1$	$\beta_2/\beta_1 \rightarrow \infty$
$\lim T_{H(0,1;0,9)}$	$0,307 \frac{J}{i_{max}^2}$	$\lim_{\beta_2 \rightarrow \infty} \frac{2,2}{\beta_2} = 0$
$\lim T_{C0,01}$	$3,85 \frac{J}{i_{max}^2}$	$9,21 \frac{J}{i_{max}^2}$

диапазоне изменения  $i_{max}$  и  $J$  существует только ограниченный интервал соотношений  $T_{H(0,1;0,9)}$  и  $T_{C0,01}$ .

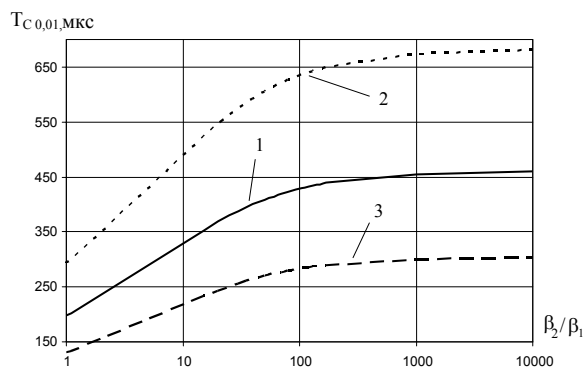


Рис. 1. Изменение времени нарастания импульса тока:

- $J = 2 \cdot 10^6 A^2 \cdot c, i_{max} = 2 \cdot 10^5 A;$
- $J = 2,4 \cdot 10^6 A^2 \cdot c, i_{max} = 1,8 \cdot 10^5 A;$
- $J = 1,6 \cdot 10^6 A^2 \cdot c, i_{max} = 2,2 \cdot 10^5 A$

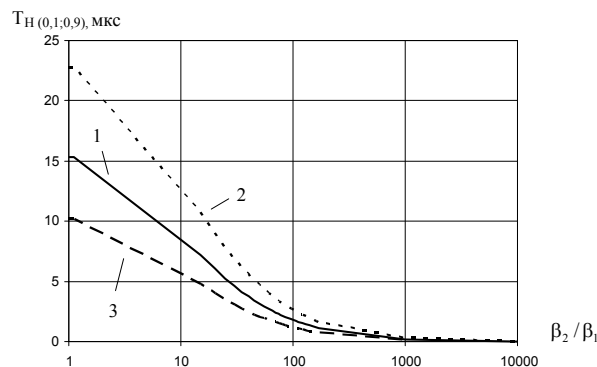


Рис. 2. Изменение времени спада импульса тока:

- $J = 2 \cdot 10^6 A^2 \cdot c, i_{max} = 2 \cdot 10^5 A;$
- $J = 2,4 \cdot 10^6 A^2 \cdot c, i_{max} = 1,8 \cdot 10^5 A;$
- $J = 1,6 \cdot 10^6 A^2 \cdot c, i_{max} = 2,2 \cdot 10^5 A$

Используем полученные выше выражения для решения задачи выбора параметров ГИТ.

**Теоретическое обоснование и анализ полученных результатов**

**Постановка задачи.** Пусть для аperiodического импульса тока заданы границы диапазонов допустимого изменения интеграла действия и максимального значения тока в виде

$$J_H \leq J \leq J_B, \tag{11}$$

$$i_H \leq i_{\max} \leq i_B, \tag{12}$$

где индекс «H» означает нижнюю границу, «B» – верхнюю.

Требуется найти такое отношение  $\beta_2/\beta_1$ , для которого наряду с (11) и (12) одновременно выполняются следующие условия для диапазонов допустимого изменения временных параметров импульса тока:

$$T_{HH} \leq T_{H(0,1;0,9)} \leq T_{HB}, \tag{13}$$

$$T_{CH} \leq T_{C0,01} \leq T_{CB}. \tag{14}$$

где  $T_{HH}$ ,  $T_{HB}$  – соответственно нижняя и верхняя границы допустимого диапазона изменения времени нарастания;  $T_{CH}$ ,  $T_{CB}$  – соответственно нижняя и верхняя границы допустимого диапазона изменения времени спада.

Используя соотношения, приведенные в табл. 1, определим предельные значения временных параметров импульса тока, который может быть сформирован при заданных значениях интеграла действия и максимального значения тока

$$T_{HH}^* = 0 < T_{H(0,1;0,9)} < T_{HB}^* = 0,307 \frac{J_B}{i_H^2}, \tag{15}$$

$$T_{CH}^* = 3,85 \frac{J_H}{i_B^2} < T_{C0,01} < T_{CB}^* = 9,21 \frac{J_B}{i_H^2}, \tag{16}$$

где величины со звездочкой означают осуществимые границы интервалов временных параметров импульса тока, определенные из соотношений табл. 1 с использованием (11) и (12).

Возможные варианты взаимного расположения заданных и осуществимых временных интервалов, определенных соответственно по (13), (14) и (15), (16), показаны на рис. 3 и рис. 4.

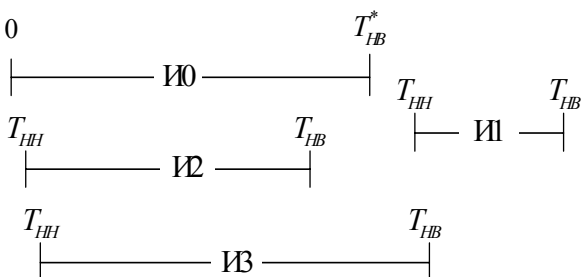


Рис. 3. Варианты взаимного расположения интервалов для времени нарастания

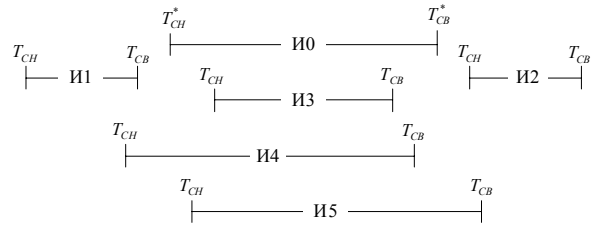


Рис. 4. Варианты взаимного расположения интервалов для времени спада

В случае, если для интервалов времени нарастания  $T_{H(0,1;0,9)}$  имеет место взаиморасположение IO-I1, показанное на рис. 3 ( $T_{HB}^* < T_{HH}$ ), то импульс тока с заданным временем нарастания при выполнении условий для  $i_{\max}$  и  $J$  не может быть сформирован в традиционной схеме ГИТ. Для остальных вариантов взаиморасположения интервалов границы расчетного интервала имеют вид

$$T_{HHP} = T_{HH}, \tag{17}$$

$$T_{HBP} = \text{MIN}(T_{HB}, T_{HB}^*), \tag{18}$$

где  $\text{MIN}(\cdot)$  – функция, определяющая наименьшее значение аргументов.

Аналогично, в случае если для интервалов времени спада значений  $T_{C0,01}$  имеет место взаиморасположение IO-I1 и IO-I2, показанное на рис. 4 ( $T_{CB} < T_{CH}^*$ ,  $T_{CB}^* < T_{CH}$ ), то импульс тока с заданным временем спада при выполнении условий для  $i_{\max}$  и  $J$  не может быть сформирован в традиционной схеме ГИТ. Для остальных вариантов взаиморасположения интервалов границы расчетного интервала имеют вид

$$T_{CBP} = \text{MIN}(T_{CB}, T_{CB}^*), \tag{19}$$

$$T_{CHP} = \text{MAX}(T_{CH}, T_{CH}^*), \tag{20}$$

где  $\text{MAX}(\cdot)$  – функция, определяющая наибольшее значение аргументов.

Проведенная процедура позволяет определить возможность отдельного выполнения условий для временных параметров (13) и (14). В результате проводимых преобразований границ интервалов мы получаем расчетные интервалы изменения временных параметров тока, в которых может иметь решение задача одновременного удовлетворения требований к временным параметрам. Определим условия одновременного выполнения этих требований.

Используя (8) и (10), найдем отношения  $\beta_2/\beta_1$ , соответствующие найденным границам расчетных интервалов из решения следующих уравнений:

– отношение, соответствующее верхней границе расчетного интервала времени спада –  $(\beta_2/\beta_1)_{CB}$  из

$$T_{CBP} = -J_B \frac{\ln 0,01}{i_B^2} \exp(-2A)ND, \quad (21)$$

– отношение, соответствующее нижней границе расчетного интервала времени спада –  $(\beta_2/\beta_1)_{CH}$  из

$$T_{CHP} = -J_H \frac{\ln 0,01}{i_B^2} \exp(-2A)ND, \quad (22)$$

– отношение, соответствующее верхней границе расчетного интервала времени нарастания –  $(\beta_2/\beta_1)_{HH}$  из

$$T_{HBP} = J_B \frac{\ln 9 \exp(-2A)N}{i_H^2 B(\beta_2/\beta_1)}, \quad (23)$$

– отношение, соответствующее нижней границе расчетного интервала времени нарастания –  $(\beta_2/\beta_1)_{HB}$  из

$$T_{HHP} = J_H \frac{\ln 9 \exp(-2A)N}{i_B^2 B(\beta_2/\beta_1)}. \quad (24)$$

Учитывая монотонный характер изменения временных параметров от  $\beta_2/\beta_1$  (см. рис. 1 и рис. 2), каждое из приведенных уравнений имеет лишь одно решение, которое находится известными способами решения нелинейных уравнений, например [10].

Сопоставим интервалы изменения  $\beta_2/\beta_1$  для времени нарастания и времени спада. Возможные варианты их взаиморасположения показаны на рис. 5.

В случае, если для интервалов  $\beta_2/\beta_1$  имеет место взаиморасположение И0-И1 и И0-И2  $[(\beta_2/\beta_1)_{HH} > (\beta_2/\beta_1)_{CB}, (\beta_2/\beta_1)_{HB} < (\beta_2/\beta_1)_{CH}]$ , то

импульс тока с заданным временем спада при выполнении условий для  $i_{\max}$  и  $J$  не может быть сформирован в традиционной схеме ГИТ. Для остальных вариантов взаиморасположения расчетных границ отношения имеют вид

$$(\beta_2/\beta_1)_{PH} = \text{MAX} [(\beta_2/\beta_1)_{HH}, (\beta_2/\beta_1)_{CH}], \quad (25)$$

$$(\beta_2/\beta_1)_{PB} = \text{MIN} [(\beta_2/\beta_1)_{HB}, (\beta_2/\beta_1)_{CB}]. \quad (26)$$

В расчетном интервале изменения отношения  $[(\beta_2/\beta_1)_{PH}, (\beta_2/\beta_1)_{PB}]$  одновременно удовлетворяются все требования, предъявляемые к импульсу тока. При известном отношении  $\beta_2/\beta_1$  значения  $\beta_1$  и  $\beta_2$  можно найти из (6) и (7), а величину нормирующего множителя  $I_{nr}$  – из (4).

Применение изложенных выше материалов покажем на следующем примере.

Требования, предъявляемые к А-компоненте импульса тока, имитирующего прямое воздействие молнии, согласно [2] имеют вид: максимальное значение тока –  $i_{\max} = 200 \pm 20$  кА, интеграл действия –  $J = 2 \cdot 10^6 \pm 4 \cdot 10^5 \text{ A}^2 \cdot \text{с}$ , время достижения на спаде значения импульса тока на уровне  $0,01 i_{\max} - T_{C0,01} \leq 500$  мкс, время нарастания импульса тока от значения  $0,1 i_{\max}$  до  $0,9 i_{\max} - T_{H(0,1;0,9)} < 50$  мкс. Тогда заданными границами диапазона допустимого изменения интеграла действия и максимального значения тока следует считать  $J_H = 1,6 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{с}$ ,  $J_B = 2,4 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{с}$ ,  $i_H = 1,8 \cdot 10^5 \text{ A}$ ,  $i_B = 2,2 \cdot 10^5 \text{ A}$ .

Границы диапазонов допустимого изменения временных параметров импульса тока представим исходя из требований к А-компоненте в следующем виде (для

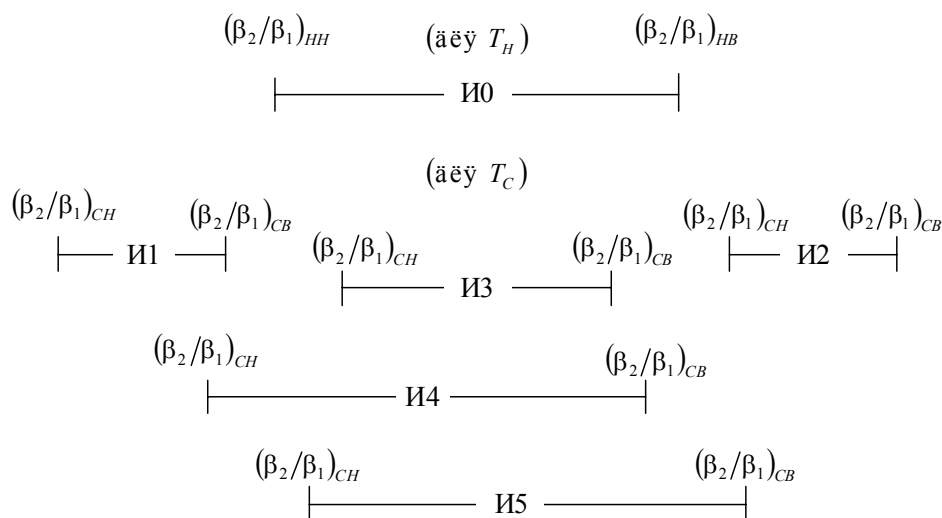


Рис. 5. Варианты взаимного расположения интервалов для  $\beta_2/\beta_1$

определенности нижнюю границу времени нарастания примем меньшей на два порядка верхней, а нижнюю границу времени спада равной верхней границе времени нарастания):  $T_{HH} = 5 \cdot 10^{-7}$  с,  $T_{HB} = 5 \cdot 10^{-5}$  с,  $T_{CH} = 5 \cdot 10^{-5}$  с,  $T_{CB} = 5 \cdot 10^{-4}$  с.

Используя соотношения, приведенные в табл. 1, определим осуществимые границы интервалов временных параметров импульса тока.

$$T_{HH}^* = 0, T_{HB}^* = 2,27 \cdot 10^{-5} \text{ с}, T_{CH}^* = 1,24 \cdot 10^{-4} \text{ с}, \\ T_{CB}^* = 6,28 \cdot 10^{-4} \text{ с}.$$

Далее, по (17)–(20) определяем границы расчетных интервалов.

$$T_{HHP} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ с}, T_{HBP} = 2,27 \cdot 10^{-5} \text{ с}, \\ T_{CHP} = 1,27 \cdot 10^{-4} \text{ с}, T_{CBP} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ с}.$$

Найдем отношения  $\beta_2/\beta_1$ , соответствующие найденным границам расчетных интервалов из решения уравнений (21)–(24).

$$(\beta_2/\beta_1)_{CB} = 11,58; (\beta_2/\beta_1)_{CH} = 0,85; (\beta_2/\beta_1)_{HB} = 261,4, \\ (\beta_2/\beta_1)_{HH} = 1,104.$$

Расчетные границы отношения определим по соотношениям (25) и (26).

$$(\beta_2/\beta_1)_{PH} = 1,104; (\beta_2/\beta_1)_{PB} = 11,58.$$

Для данного интервала области возможных сочетаний АВП и интеграла действия могут быть определены по рис. 1 и рис. 2 исходя из отношения  $\beta_2/\beta_1$ . Выбор конкретных значений АВП параметров импульса тока и параметров его аналитического описания определяется целью проводимых испытаний.

Поставим задачу сформировать импульс тока с минимальным значением времени нарастания. Учитывая ниспадающую зависимость времени нарастания от отношения  $\beta_2/\beta_1$  (см. рис. 2) и соотношение (10), можно утверждать, что минимальное значение времени нарастания будет иметь место при  $\beta_2/\beta_1 = 11,58$ ;  $J = 1,6 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \cdot \text{с}$ ;  $i_B = 2,2 \cdot 10^5 \text{ А}$  и составляет  $T_{H(0,1;0,9)\min} = 5,51 \cdot 10^{-6}$  с. Из (6) находим  $\beta_2 = 2,56 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}$ , затем  $\beta_1 = 2,21 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$  и далее из (4)  $I_{nr} = 3,03 \cdot 10^5 \text{ А}$ . При этом длительность спада, определенная по (7), составляет  $T_{C0,01} = 2,23 \cdot 10^{-4}$  с.

Поставим задачу сформировать импульс тока с максимальным значением времени спада. Учитывая возрастающий характер зависимости времени спада от отношения  $\beta_2/\beta_1$  (см. рис. 1) и соотношение (8), можно утверждать, что максимальное значение времени спада будет иметь место при  $\beta_2/\beta_1 = 11,58$ ;  $J = 2,4 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \cdot \text{с}$ ;  $i_B = 1,8 \cdot 10^5 \text{ А}$  и составляет

$T_{C0,01\min} = 5 \cdot 10^{-4}$  с. Из (7) находим  $\beta_1 = 9,87 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$ , затем  $\beta_2 = 1,14 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}$  и, далее, из (4)  $I_{nr} = 2,48 \cdot 10^5 \text{ А}$ . При этом длительность нарастания, определенная по (6), составляет  $T_{H(0,1;0,9)} = 1,23 \cdot 10^{-5}$  с.

Таким образом, в результате расчетов получены параметры аналитического описания импульса тока, имеющего заданные АВП и интеграл действия. Дальнейший выбор эквивалентных параметров разрядной цепи ГИТ традиционного исполнения при известных параметрах аналитического описания импульса тока не представляет сложности и может быть произведен с использованием методик, изложенных в [7, 11].

## Выводы

1. Получены соотношения, связывающие временные контролируемые параметры аperiodического импульса тока с параметрами его аналитического описания, а также максимальным значением тока и полным интегралом действия.

2. Выведены соотношения, определяющие границы изменения временных параметров в зависимости от интеграла действия и максимального значения тока импульса.

3. Предложен метод выбора параметров разрядной цепи традиционной схемы генератора при идентификации аperiodического импульса тока контролируемыми амплитудно-временными параметрами и интегралом действия в условиях их нечеткого задания.

4. Определены предельные значения временных параметров А-составляющей импульса тока молнии, которые могут быть получены при использовании генератора импульсов тока традиционного исполнения.

## Перечень ссылок

1. Electromagnetic environmental effects requirements for systems: MIL-STD-464A. Department of defense interface standard USA. – AMSC F7489, Area EMCS. – [Doing from 2002-12-19]. – 2002. – 121 P.
2. Условия эксплуатации и окружающей среды для бортового авиационного оборудования. Требования, нормы и методы испытаний. Раздел 23.0. Прямое воздействие молнии: КТР-ВВФ (DO-160D/ED-14D). – М.: Издательство стандартов – С. 258–273 – (Квалификационные требования России).
3. Кужекин И. П. Испытательные установки и измерения на высоком напряжении / И. П. Кужекин. – М.: Энергия, 1980. – 136 с.
4. Vondenbuch A. Beitrag zur Berechnung von StoЯschaltungen mit zwei Energiespeichern / A. Vondenbuch // Elektrotechnische Zeitschrift (ETZ). – 1959. – Ausgabe A. Bd. 80. Heft 18. – S. 617–622.
5. Ашнер А. М. Получение и измерение импульсных высоких напряжений: Пер. с нем. / А. М. Ашнер. – М.: Энергия, 1979. – 120 с.
6. Петков А. А. Расчет параметров разрядной цепи высоковольтных импульсных испытательных уст-

- роЙств, формуючих імпульси аперіодическої форми / А. А. Петков // Електротехніка і електроенергетика. – 2005. – №1. – С. 65–69.
7. Кравченко В. И. Параметрический синтез высоковольтного импульсного испытательного устройства с емкостным накопителем энергии / В. И. Кравченко, А. А. Петков // Электротехника и электромеханика. – 2007. – №6. – С. 70–75.
  8. Баранов М. И. Сравнение двух моделей для электротепловых расчетов цилиндрических проводников при воздействии на них больших импульсных токов / М. И. Баранов // Техническая электродинамика. – 1999. – №3. – С. 14–19.
  9. Кривущенко В. В. Расчеты высоковольтного испытательного устройства для имитации токов, заданных интегралом действия / В. В. Кривущенко, А. А. Петков // Вестник НТУ «ХПИ». Техника и электрофизика высоких напряжений. – Харьков: НТУ «ХПИ». – №21. – 2008. – С. 116–123.
  10. Краскевич В. Е. Численные методы в инженерных исследованиях / Краскевич В. Е., Зеленский К. Х., Гречко В. И. – К. : Вища шк., 1986. – 263 с.
  11. Петков А. А. Выбор параметров разрядной цепи генератора импульсов тока при разряде на последовательную активно-индуктивную нагрузку / А. А. Петков // Электротехника. – 1990. – №10. – С. 35–36.

Поступила в редакцию 16.03.09 г.

*Розглянуто питання формування випробувальних імпульсів струму, заданих амплітудно-часовими параметрами та інтегралом дії. Запропоновано метод вибору елементів генератора при нечіткому визначенні контрольованих параметрів формованого імпульсу струму.*

*The question of test current pulse formation, given by amplitude-time parameters and action integral is considered. The method of generator elements choice at indistinct definition of controllable parameters of formed current pulse is offered.*