

АЛГОРИТМ МАШИННОГО РАСЧЕТА ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ИНИЦИИРОВАНИЯ ВЗРЫВАНИЯ ЗАРЯДОВ

Ю.С. Петров, Ю.В. Саханский (СКГМИ)

Разработаны универсальные алгоритмы определения взаимного соответствия между параметрами электровзрывной цепи и прибора взрыва, обеспечивающие безотказность функционирования системы. Применение разработанных алгоритмов позволяет автоматизировать расчеты систем электрического иницирования зарядов взрывчатых веществ, провести необходимый анализ возможных вариантов и выбрать наиболее оптимальный для заданных условий взрыва.

Ключевые слова: электровзрывание, система электрического иницирования на безотказность срабатывания электродетонатора, электровзрывная цепь, взрывной прибор.

Расчет систем электрического иницирования зарядов взрывчатых веществ (систем электровзрывания) сводится к установлению взаимных соответствий между параметрами воздействия на систему и ее реакцией на это воздействие.

Критерием этого соответствия является безотказное срабатывание электродетонаторов (ЭД) системы.

Основной особенностью системы электровзрывания является то, что рабочий режим (режим иницирования) электровзрывной цепи может быть реализован только один раз, так как в этом режиме цепь самоуничтожается. Эта особенность электровзрывных цепей порождает трудности, связанные с ее экспериментальным исследованием. Поэтому моделирование при исследованиях электровзрывных цепей приобретает особую актуальность.

В связи с этим основной задачей является разработка математических моделей системы электровзрывания и ее составляющих, в том числе и разработка алгоритмов расчета параметров в системе, обеспечивающих ее безотказную работу и устойчивость к внешним электромагнитным воздействиям, а также повышение производительности электровзрывания путем применения разработанных алгоритмов в реальных условиях окружающей среды [1].

При расчете системы может возникнуть два типа задач, когда:

1) заданы параметры воздействия (взрывного прибора), и требуется определить параметры подверженной воздействию части системы (электровзрывной цепи);

2) заданы параметры электровзрывной цепи, и требуется определить параметры взрывного прибора.

В обоих случаях в результате воздействия на систему должно произойти срабатывание всех ЭД, что и определяет количественные входные/выходные характеристики системы.

До недавнего времени расчет систем электрического иницирования на безотказность срабатывания ЭД производился без должного привлечения ЭВМ и элементов САПР. Авторами разработан универсальный алгоритм, позволяющий решать оба типа задач с помощью ЭВМ (рис. 1).

При решении задачи первого типа заданными являются параметры воздействия. В случае наиболее распространенного автономного конденсаторного

взрывного прибора этими параметрами будут емкость конденсатора-накопителя C и напряжение на нем U .

Для определения максимально возможного числа одновременно иницируемых ЭД при заданных C и U (задача первого типа) следует в соответствии с требованиями технологии электровзрывания промежуточными значениями параметров электровзрывной цепи и ЭД: топологией цепи (T), числом ЭД (N), коэффициентом передачи по току α и соответствующими паспортными данными ЭД: K_{\max} , K_{\min} — максимальным и минимальным импульсами воспламенения, временем передачи θ [2].

Предварительно максимально допустимое число ЭД можно ориентировочно определить по мощности взрывного прибора и средней удельной мощности одного ЭД.

Первым действием в соответствии с алгоритмом (рис. 1) является определение тока $i_2(0)$ в ЭД, обтекаемым наименьшим током в цепи. Этот ток должен быть не менее нормированного значения i_n . Если это требование не выполняется, то изменяется один из параметров электровзрывной цепи (обычно число ЭД или топология цепи).

После выполнения требования $i_2(0) \geq i_n$ необходимо вычислить ток $i_1(t)$, протекающий через ЭД, обте-

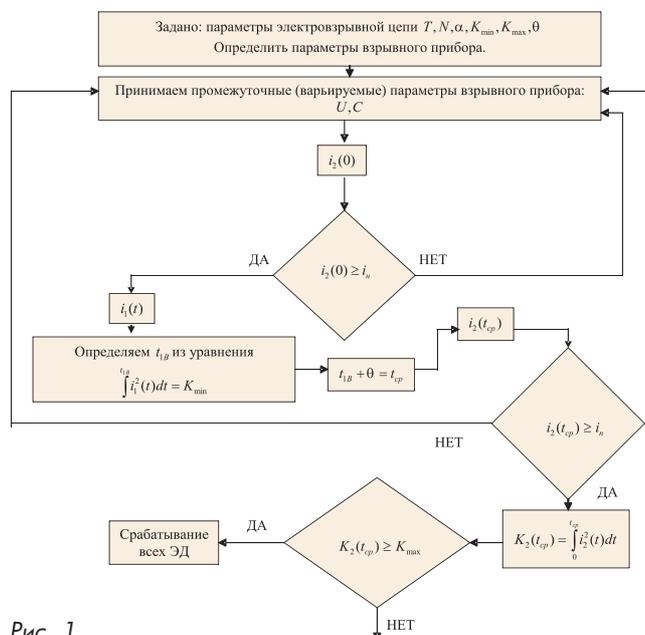


Рис. 1

Уже не одно столетие делаются попытки исправить мир при помощи взрывчатых веществ.

Лешек Кумор

каемый наибольшим током в цепи. Далее определяется время срабатывания наиболее чувствительного ЭД – i_{1B} (в предположении, что он обтекается максимальным током) из уравнения:

$$\int_0^{i_{1B}} i_1^2(t) dt = K_{\min}.$$

Далее вычисляется время срабатывания t_{cp} наиболее чувствительного ЭД:

$$t_{cp} = t_{1\theta} + \theta.$$

Ток в конце промежутка времени t_{cp} также должен быть не менее нормированного. В соответствии с этим требованием сначала вычисляется ток $i_2(t_{cp})$, и далее производится его сравнение с нормированным током i_n . Если выполняется условие $i_2(t_{cp}) \geq i_n$, то переходим к вычислению импульса воспламенения, который получит за время срабатывания t_{cp} ЭД, находящийся в наихудших условиях, то есть обтекаемый наименьшим током:

$$K_2(t_{cp}) = \int_0^{t_{cp}} i_2^2(t_{cp}) dt.$$

Если условие $i_2(t_{cp}) \geq i_n$ не выполняется, необходимо вернуться к началу расчета, изменить один из влияющих параметров, которые можно изменять в соответствии с данной практической задачей, и провести все рассмотренные ранее этапы расчета.

Время срабатывания t_{cp} является временем протекания тока в цепи и временем ее существования. За это время наименее чувствительный ЭД, характеризующийся импульсом тока $K_{2\max}$, должен получить

энергию, достаточную для его срабатывания, что выражается условием: $K_2(t_{cp}) \geq K_{\max}$.

Выполнение этого условия означает срабатывание всех ЭД в цепи, иначе расчет следует начать сначала, изменяя входные параметры.

Решение задач второго типа выполняется по алгоритму, изображенному на рис. 2.

Сравнивая рис. 1 и 2 можно констатировать, что второй алгоритм получается из первого переменной мест верхних прямоугольников. В соответствии с этим варьируемыми величинами при вычислениях по второму алгоритму являются не параметры электровзрывной цепи, а параметры взрывного прибора. В остальном вычислительные действия алгоритмов одинаковы.

Алгоритм первого типа применяется при проектировании электровзрывной цепи, то есть при практических расчетах электровзрывной цепи, а алгоритм второго типа – при проектировании прибора взрыва.

Приведенные алгоритмы являются наиболее общими и универсальными. Они применимы к любым типам взрывных приборов (конденсаторные, индуктивные, сетевые и т.д.) и к любым типам ЭД.

Рассмотрим конкретное применение алгоритма 1 для реальной электровзрывной цепи с параметрами: топология цепи T – последовательное соединение ЭД; коэффициент передачи $\alpha = 0,9$; параметры ЭД нормальной чувствительности $K_{\min} = 0,6 \cdot 10^{-3} \text{ A}^2 \cdot \text{c}$; $K_{\max} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ A}^2 \cdot \text{c}$; время передачи $\theta = 1,2 \text{ мс}$; нормированное значение тока $i_n = 0,7 \text{ А}$. При этом для иницирования данной электровзрывной цепи используется конденсаторный взрывной прибор с параметрами: емкость конденсатора-накопителя $C = 9 \text{ мкФ}$ с рабочим напряжением $U = 600 \text{ В}$ [3]. Результаты расчета данной цепи сведены в табл. 1.

Таблица 1

| N, ед. | $i_2(0)$, А | t_{cp} , с | $i_2(t_{cp})$, А | $K_2(t_{cp})$, А ² ·с | Результат |
|--------|--------------|-----------------------|-------------------|-----------------------------------|--------------|
| 60 | 2,813 | $9,965 \cdot 10^{-4}$ | 1,58 | $2,488 \cdot 10^{-3}$ | Срабатывание |
| 70 | 2,411 | $9,625 \cdot 10^{-4}$ | 1,496 | $2,154 \cdot 10^{-3}$ | |
| 71 | 2,377 | $9,595 \cdot 10^{-4}$ | 1,487 | $2,121 \cdot 10^{-3}$ | |
| 72 | 2,344 | $9,558 \cdot 10^{-4}$ | 1,478 | $2,088 \cdot 10^{-3}$ | |
| 73 | 2,312 | $9,524 \cdot 10^{-4}$ | 1,47 | $2,058 \cdot 10^{-3}$ | |
| 74 | 2,28 | $9,49 \cdot 10^{-4}$ | 1,461 | $2,026 \cdot 10^{-3}$ | |
| 75 | 2,25 | $9,456 \cdot 10^{-4}$ | 1,45 | $1,988 \cdot 10^{-3}$ | |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 100 | 1,688 | $8,604 \cdot 10^{-4}$ | 1,252 | $1,349 \cdot 10^{-3}$ | Отказ |
| 150 | 1,125 | $6,912 \cdot 10^{-4}$ | 0,959 | $6,357 \cdot 10^{-4}$ | |
| 200 | 0,844 | $5,2 \cdot 10^{-4}$ | 0,959 | $3,091 \cdot 10^{-4}$ | |

Таблица 2

| U, В | $i_2(0)$, А | t_{cp} , с | $i_2(t_{cp})$, А | $K_2(t_{cp})$, А ² ·с | Результат |
|------|--------------|-----------------------|-------------------|-----------------------------------|--------------|
| 700 | 1,969 | $9,118 \cdot 10^{-4}$ | 1,434 | $1,875 \cdot 10^{-3}$ | Отказ |
| 710 | 1,997 | $9,16 \cdot 10^{-4}$ | 1,453 | $1,934 \cdot 10^{-3}$ | |
| 720 | 2,025 | $9,202 \cdot 10^{-4}$ | 1,471 | $1,991 \cdot 10^{-3}$ | |
| 730 | 2,053 | $9,242 \cdot 10^{-4}$ | 1,51 | $2,107 \cdot 10^{-3}$ | Срабатывание |
| 740 | 2,082 | $9,281 \cdot 10^{-4}$ | 1,508 | $2,111 \cdot 10^{-3}$ | |
| 750 | 2,11 | $9,319 \cdot 10^{-4}$ | 1,526 | $2,17 \cdot 10^{-3}$ | |

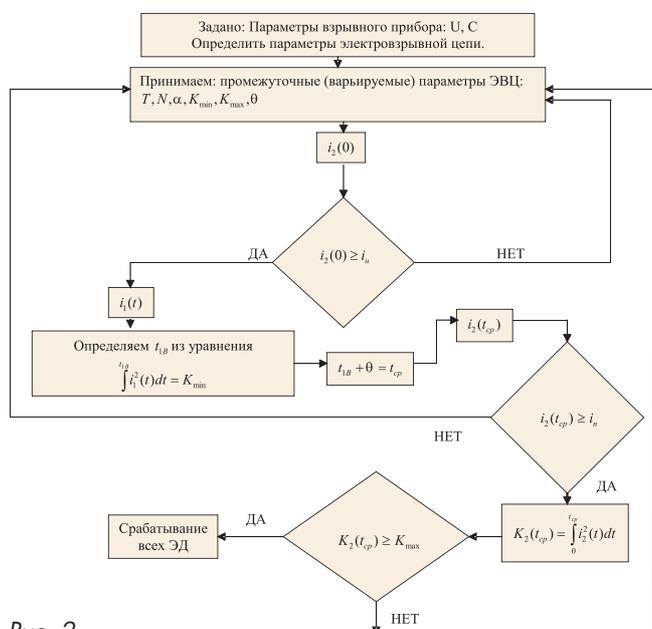


Рис. 2

Расчет по алгоритму 1 показывает, что при заданных входных условиях прибор взрыва может гарантированно инициировать в данной электровзрывной цепи ≤ 74 ЭД. При большем числе ЭД наступает отказ.

Из расчета практического применения алгоритма 2 (табл. 2) видно, что для инициирования электровзрывной цепи заданной конфигурации с определенными параметрами, содержащей 100 ЭД, необходим конденсаторный прибор взрыва емкостью $C = 9$ мкФ при напряжении на его обкладках > 730 В.

Разработанные алгоритмы можно ввести в систему автоматического проектирования горного предприятия, что позволит автоматизировать расчеты систем электрического инициирования зарядов взрывчатых веществ в горной и добывающей промышленности, провести необходимый анализ возможных вариантов и выбрать наиболее оптимальный для заданных условий взрыва.

Результаты работы были использованы при проектировании массовых взрывов на Тырныаузском вольфрамово-молибденовом комбинате при выполнении проектно-конструкторских работ в КБ "Цветметавтоматика" (г. Владикавказ), при расчете параметров взрывов на Садонском свинцово-цинковом комбинате.

Список литературы

1. Лурье А.И. Электрическое взрывание зарядов. М.: Недра, 1973.
2. Граевский М.М. Справочник по электрическому взрыванию зарядов взрывчатых веществ. М.: Изд. "Рандеву-АМ", 2000.
3. Петров Ю.С., Масков Ю.П. Электрические параметры электровзрывных сетей. Деп. в "Информэнерго" №2489-ЭН, 1987.
4. Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р. Алгоритмы: построение и анализ. М.: Изд. МНЦМО, второе изд-е. 2004.

Петров Юрий Сергеевич — д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой "Теоретической электротехники и электрических машин",

Саханский Юрий Владимирович — аспирант

Северо-Кавказского горного металлургического института.

Контактный телефон (8672) 97-30-49. E-mail: 749951@rambler.ru

НОВАЯ КНИГА

Дозорцев В.М. "Компьютерные тренажеры для обучения операторов технологических процессов"

Объем 360 стр., 2009 г. Издательство СИНТЕГ (Москва).

Книга выйдет в свет в начале 2009 г.

В книге с комплексных позиций исследуются компьютерные тренажеры (КТ) для обучения операторов сложных ТП. Обсуждается структура тренажера, состав и функции его компонентов — модели ТП, информационной модели (интерфейса оператора), модели обучения (интерфейса инструктора). Критерием качества указанных компонентов и КТ в целом служит подобие деятельности оператора в компьютерном тренинге и в реальном управлении процессом.

Особое внимание уделяется методике компьютерного тренинга, основанной на предложенной когнитивной модели формирования базовых и комплексных операторских навыков.

Приводятся практические примеры КТ, активно внедряемых на отечественном рынке; детально анализируются факторы влияния компьютерного тренинга на разнообразные аспекты функционирования ТП.

Книга представляет интерес как для потенциальных покупателей и пользователей КТ (лиц, принимающих решения по закупке тренажеров, технологов, специалистов служб АСУТП, техники безопасности и подготовки персонала), так и для исследователей и разработчиков тренажеров и составляющих их технологий (систем моделирования и инжиниринга ТП, пользовательских интерфейсов, средств компьютерного инструктирования).

Заявки на приобретение книги принимаются по тел. (495) 334-87-71.

Выпущен OPC-сервер измерителя показателей качества электроэнергии «Ресурс-ПКЭ»

OPC-сервер предназначен для организации информационного обмена с измерителем показателей качества электроэнергии "Ресурс-ПКЭ", производимого НПП "Энерготехника" (г. Пенза). OPC-сервер обеспечивает чтение большого числа параметров прибора и позволяет получать информацию о таких параметрах качества элек-

троснабжения, как установившееся отклонение напряжения, отклонение частоты, коэффициенты несимметрии напряжений по нулевой и обратной последовательности, коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения, коэффициент n-ой гармонической составляющей напряжения и др.

[Http://www.opcserver.ru](http://www.opcserver.ru)

Читателям журнала "Автоматизация в промышленности" в канун Нового 2009 года

*Дело наше совсем не простое,
Лишь пытливым доступно оно -
Без поломок, аварий, простоев
Производство работать должно.*

*Если наш многотысячный разум
Напряженье ослабил бы вдруг,
Все дисплеи померкли бы разом,
Все бы сети порвались вокруг.*

*В год грядущий быка и коровы
Нам никак расслабляться нельзя.
Будем счастливы все и здоровы,
С Новым годом, коллеги-друзья!*

*Пусть отлизна становится краше,
Пусть с работой соседствует нал,
Пусть проблемы нелегкие наши
Одолеть нам поможет журнал!*

© Л.М. Яковис