

Ю.В. Саханский

(Северо-Кавказский горно-металлургический институт (Государственного технологического Университета); e-mail: 749951@rambler.ru)

ОБОСНОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ИНИЦИИРОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

Обоснованы критерии расчёта параметрической оптимизации систем электрического инициирования взрывчатых веществ, повышающие точность, надёжность и достоверность создания САПР взрывных работ в горной промышленности, строительстве и т.д. Приведена методика применения теории сигнальных графов к процессу оптимизации проектирования САПР электровзрывания.

Ключевые слова: электровзрывание, безопасность, безотказность, САПР.

Yu. V. Sahansky

JUSTIFICATION OF OPTIMIZATION CRITERIA OF ELECTRIC INITIATION SYSTEM OF INDUSTRIAL EXPLOSIVES

Justified the criteria for calculating parametric optimization of systems of electric initiating explosives, increasing accuracy, reliability and accuracy of the creation of CAD blasting in mining, construction, etc. The technique of applying the theory of signal graphs for the optimization process design CAD electroblasting.

Key words: electroblasting, security, reliability, computer-aided design (CAD) system.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 27 марта 2015 г.

В настоящее время после длительного застоя экономика страны вновь начинает возрождаться. В свою очередь общий экономический подъём в стране привёл к фактическому возрождению горнорудной промышленности и повышению объёмов производимых работ.

Взрывные работы являются основными работами, производимыми на горных предприятиях при таких технологических операциях, как разрушение горных и скальных пород, рыхление горной массы.

Наиболее распространённым, безопасным и продуктивным является электрический способ ведения взрывных работ.

Разработанная и применяемая до настоящего времени общая теория безотказного инициирования *электродетонаторов (ЭД)* обеспечивает достаточно высокий уровень безопасности и надёжности проводимых электровзрывных работ. Однако многие параметры как процесса инициирования, так и электровзрывной цепи (топология схемы, коэффициенты передачи, схемные функции и частотные характеристики) до сих пор не исследованы в полном объёме. Ввиду этого назрела необходимость разработки новых подходов и методов расчёта и оптимизации вышеописанных параметров *электровзрывных цепей (ЭВЦ)*.

Основной задачей оптимизации *систем электрического инициирования зарядов (СЭИЗ)* является создание надёжной и эффективной модели *ЭВЦ*. Одновременно с этим данная модель должна требовать как можно меньше технических, временных и финансовых затрат, и при этом обладать максимальной производительностью.

Решить эти противоречия может являться разработка оптимальной *СЭИЗ*. Методы разработки оптимальной системы сводятся к отысканию минимума затрат на её монтаж и максимума эффективности. Исследование и построение оптимальных систем *СЭИЗ* разбивается на анализ и синтез систем. При этом задача анализа систем состоит в изучении поведения и свойств системы, если заданы характеристики источника питания, структура *СЭИЗ*, характеристика системы (численные значения параметров). Очень часто задача анализа систем сводится к расчету численных значений показателей их эффективности.

Основные этапы решения задачи оптимизации системы инициирования ВВ:

1. На основе физических соображений, справочных данных, опыта выбирается схема инициирования для решения поставленной задачи.
2. Для выбранной схемы составляется математическая модель (функция цепи), параметрами которой являются параметры элементов схемы.
3. Составляется (формализуется) задача оптимизации.
4. Решается задача оптимизации, которой и завершается структурная оптимизация электрической цепи.

Задача синтеза *СЭИЗ* заключается в выборе оптимальной (вы том или ином смысле) структуры системы и её внутренних параметров при заданных характеристиках источников питания с учетом ограничений, накладываемых на *СЭИЗ*. Иногда задачу синтеза можно интерпретировать, как задачу отыскания структуры системы или внутренних параметров, определяющих заданное значение критерия эффективности. Применительно к электровзрывным цепям, проведя их качественный анализ, можно выделить следующие основные критерии оптимизации:

Схемы соединения *ЭВЦ* могут быть: последовательные, параллельные и смешанные. На практике наиболее часто применяется смешанная схема соединения *ЭВЦ*, поэтому в общем виде модель *ЭВЦ* со смешанной структурой можно представить в виде схемы на рис. 1.

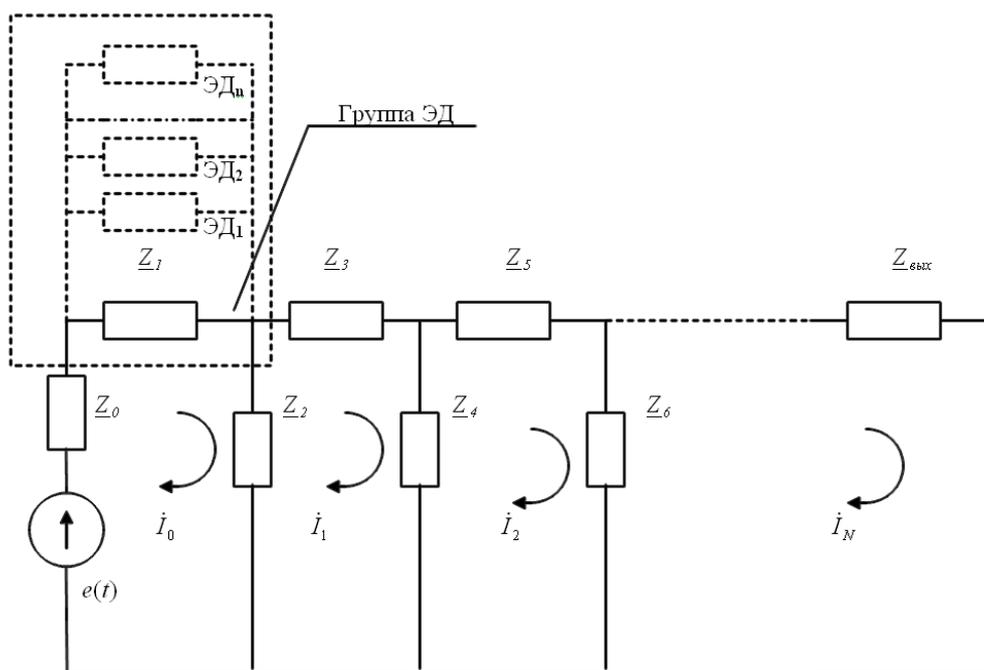


Рис. 1. Структурная схема ЭВЦ:

$e(t)$ – источник энергии, Z_0 – сопротивление магистральных проводов, сопротивления Z_1, Z_3, Z_5 моделируют сопротивления ЭД или однотипных групп ЭД и соединительных проводов, а сопротивления Z_2, Z_4, Z_6 – сопротивления групп последовательно соединённых ЭД. При этом $Z_5 = n_1$ – группа в последовательной ветви, содержащая N последовательно соединённых ЭД, при этом $Z_3 = n_2 = 2n_1$, а $Z_1 = n_3 = 3n_1$, $Z_2 = Z_4 = Z_6 = m = an_1$ – группа в параллельных ветвях, содержащая в себе N последовательно соединённых ЭД

Исходя из принятых на рис. 1 обозначений, общее количество ЭД в ЭВЦ будет определяться выражением: $N = n_1 + 2n_1 + 3n_1 + 3an_1 = n_1(6 + 3a)$.

Исходя из первого критерия оптимизации, получаем условие, которое должно выполняться в системе уравнений оптимизации: $N = n_1(6 + 3a) \rightarrow \max$. Рассмотрим основные критерии оптимизации системы электрического инициирования промышленных взрывчатых веществ:

1) Число ветвей схемы. Данные коэффициенты определяются из исходной схемы.

1.1) Число продольных ветвей N_{np} . Каждая продольная ветвь N_{np} содержит n групп ЭД. Данный параметр существенно влияет на токораспределение в схеме и ввиду этого для оптимизации примем $N_{np} \rightarrow \min$.

1.2) Число поперечных ветвей M_{nonep} . Каждая продольная ветвь M_{nonep} содержит m групп ЭД.

Из качественного анализа применяемых на практике схем ЭВЦ можно вывести ограничения: $N_{np} = (1 \div 5) \rightarrow \min$ при $n = (1 \div 5)$, $M_{nonep} = (1 \div 5) \rightarrow \max$ при $m = (10 \div 100)$.

2) Число ЭД схемы, определяемое из выражения выражением: $N = n_1 + 2n_2 + 3n_3 + 3an_4 = n_1(6 + 3a)$ должно быть больше либо равно паспортному числу ЭД, на иницирование которых рассчитан прибор взрывания: $N \geq N_{паспорт}$

3) Коэффициент передачи по току α . Показывает отношение тока на выходе схемы $I_{вых}$ к току на входе схемы $I_{вх}$: $\alpha = \frac{I_{вых}}{I_{вх}}$ и, зная данный коэффициент

и параметры прибора иницирования, можно рассчитать импульс тока, получаемый самым удалённым ЭД в ЭВЦ. В идеальном случае $\alpha = 1$, но в реальных ЭВЦ $0 < \alpha < 1$. Ввиду этого при решении задачи оптимизации примем критерий $\alpha = (0.1 \div 1) \rightarrow 1$. Определить коэффициент передачи по току можно с помощью графов [5].

Для определения передачи графа можно воспользоваться методом упрощения, однако применение правил упрощения ко всему графу приводит к громоздким операциям. Непосредственное вычисление передачи по формуле Мэсона значительно рациональнее.

Общую передачу графа (отношение выходной величины к входной) найдём по формуле Мэсона:

$$T = \frac{\sum_{k=1}^n P_k \Delta_k}{\Delta}, \quad (3)$$

где P_k – прямые пути рассматриваемого графа;

Δ_k и Δ – определители графа.

Граф анализируемой электровзрывной цепи содержит только один прямой путь и не содержит контуров, не касающихся этого пути, следовательно:

$$\sum_{k=1}^n P_k \Delta_k = P \cdot 1.$$

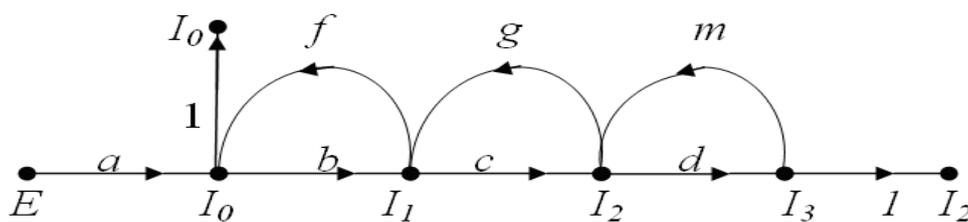


Рис. 2. Сигнальный граф электровзрывной цепи для определения передачи по току

Определим вес каждой передачи:

$$a = \frac{1}{Z_0 + Z_1 + Z_2}, \quad b = \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3 + Z_4}, \quad c = \frac{Z_4}{Z_4 + Z_5 + Z_6}, \quad d = \frac{Z_6}{Z_6 + Z_{вых}},$$

$$f = \frac{Z_2}{Z_0 + Z_1 + Z_2}, \quad g = \frac{Z_4}{Z_2 + Z_3 + Z_4}, \quad m = \frac{Z_6}{Z_4 + Z_5 + Z_6}.$$

Ток на выходе цепи определяется по формуле (3), где в нашем случае

$$T' = \frac{1 \cdot a \cdot b \cdot c \cdot d}{1 - (bf + cg + dn) + bfdn},$$

откуда

$$I_{\text{вых}} = E \cdot T'.$$

Ток на входе цепи так же определяется по формуле (3), где в данном случае

$$T'' = \frac{1 \cdot a(1 - (cd + dm))}{1 - (bf + cg + dn) + bfdn},$$

откуда

$$I_{\text{вх}} = E \cdot T''.$$

Окончательно формула Мэзона для рассматриваемого случая будет иметь вид:

$$T = \frac{I_{\text{вых}}}{I_{\text{вх}}} = \frac{1 \cdot a \cdot b \cdot c \cdot d}{1 - (bf + cg + dn) + bfdn} \cdot \frac{1 \cdot a(1 - (cd + dm))}{1 - (bf + cg + dn) + bfdn} = \frac{bcd}{1 - (cd + dm)},$$

откуда коэффициент передачи по току $\alpha = T = \frac{I_{\text{вых}}}{I_{\text{вх}}}$.

Рассмотренные критерии оптимизации относятся к канонической ЭВЦ переменной структуры с изменяющимися параметрами, причём все критерии функционально связаны между собой, однако в модели оптимизации эти критерии рационально представить отдельными математическими зависимостями и рассчитать получившиеся уравнения как единую систему.

Литература

1. **Кормен Т.М. и др.** Алгоритмы для работы с графами. Часть VI // Алгоритмы: построение и анализ. М.: "Вильямс", 2006.
2. **Лурье А.И.** Электрическое взрывание зарядов. М.: Недра, 1973. С. 273.
3. **Петров Ю.С.** Основы теории электровзрывания: монография. Владикавказ: изд-во "Терек", 1998.
4. **Граевский М.М.** Справочник по электрическому взрыванию зарядов взрывчатых веществ. М.: "Рандеву-АМ", 2000.
5. **Петров Ю.С., Рогачёв Л.В., Саханский Ю.В.** Применение сигнальных графов в математических моделях электровзрывных цепей // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. № 3. Иркутск: изд-во Иркутского государственного университета путей сообщения, 2012.