

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ ИНДУКТИВНОСТИ НА ОГРАНИЧЕНИЕ ЭНЕРГИИ ИСКРОВОГО РАЗРЯДА В АППАРАТАХ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Бершадский И.А., Шлепнёв С.В., Тоцкий А.В.

Донецкий национальный технический университет

ilya_bersh@bk.ru

The article is devoted to consideration of problem of intrinsically safety of mine electrical equipment. The design of the Mayr arc with the use of editor of differential equalizations is executed, that allowed to estimate diminishment of size of the energy selected in a discharge on an alternating current at the use of additional inductance and to recommend application of simple schemes of intrinsically safety.

Проблема искробезопасности рудничного электрооборудования связана с тем, что воспламенение газовой смеси от точечного источника тепла обуславливает формирование ядра пламени, т.е. нагрев до температуры воспламенения определённого объёма газа. Трудность обеспечения искробезопасности здесь состоит в том, что минимальная энергия, выделившаяся от точечного источника тепла, очень мала и составляет при индуктивностях порядка 1 Гн (катушки отключающих аппаратов) менее 0,51 МДж [1]. Несмотря на влияние, оказываемое искрообразующим механизмом, который требует для воспламенения газовой смеси выделения большего количества энергии разряда, чем минимальное, существует сложная зависимость её от параметров цепи, материала, формы и скорости движения контактов.

Особенные трудности возникают при необходимости обеспечения искробезопасности от источника или нагрузки переменного тока, так как в этом случае изменяется полярность питающего напряжения, что не позволяет применять наиболее распространённые простые методы с диодными, емкостными и стабилитронными шунтами из-за их неэффективности. Для увеличения искробезопасной мощности нагрузки переменного тока необходимо обеспечить полное её шунтирование при коммутации цепи. В качестве примера можно привести схему (рис. 1) и ряд других [1].

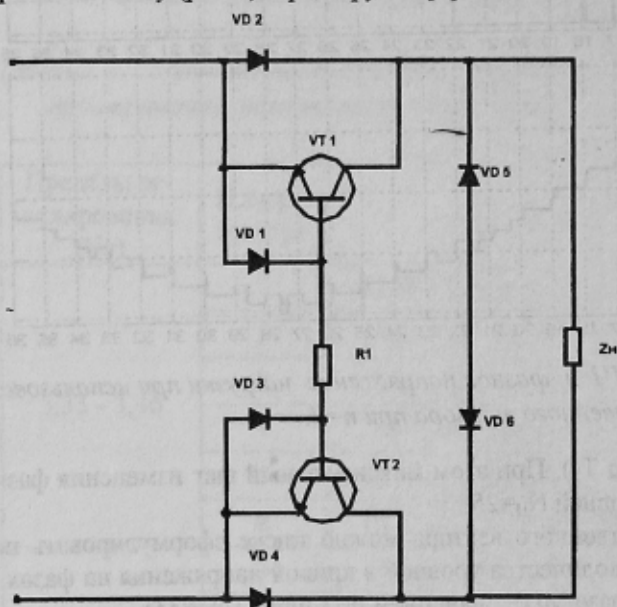


Рисунок 1- Схема искрозащиты для нагрузок переменного тока

На рис.1 приведена схема искробезопасности, аналогичная диодному шунту на постоянном токе, т.е. отключающая нагрузку при изменении на ней полярности напряжения за счёт э.д.с. самоиндукции. Устройство содержит цепь включенных встречно стабилитронов, соединённых параллельно к индуктивной нагрузке. Последовательно в каждую цепь нагрузки включено по транзистору, база-эмиттерный и база-коллекторный переход которых шунтированы диодами, а базы соединены между собой.

При нормальной работе ток в нагрузке протекает в результате открывания одного из транзисторов - VT 1 или VT 2 в зависимости от полярности питающего напряжения. При коммутации цепи, когда э.д.с. самоиндукции достигнет напряжения питания, базовые токи в транзисторах не протекают и цепь нагрузки отключается. Следовательно, такой ограничитель для нагрузки переменного тока обеспечивает такой же эффект, как и диодный шунт для индуктивных нагрузок переменного тока. Шунтирующие стабилитроны в

данном случае используют только для защиты транзисторов от перенапряжений, вызванных ЭДС самоиндукции.

Модель дуги может быть представлена в виде блока в моделирующем пакете. Этот подход к моделированию показан на рис. 2.

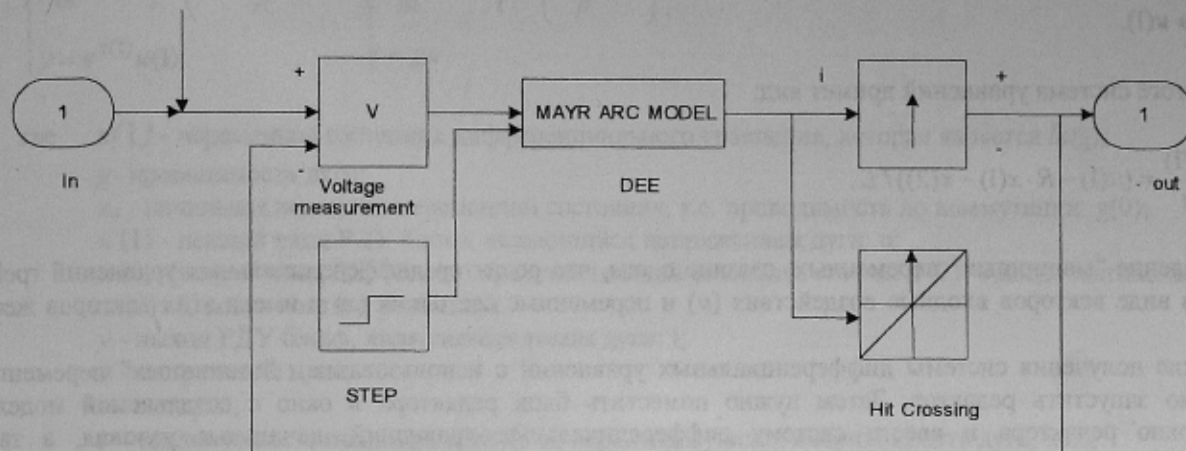


Рисунок 2 – Модель дуги Майра

Уравнение Майра встраивается в модель цепи с помощью редактора дифференциальных уравнений. Этот редактор дает возможность задавать системы дифференциальных уравнений в явной форме Коши и выполнять их решение.

Использование редактора рассмотрим на примере расчета переходных процессов в последовательном колебательном контуре. Задача заключается в нахождении тока, протекающего в электрической цепи и напряжения на конденсаторе C после замыкания ключа. Схема цепи показана на рис. 3. Начальные условия полагаем нулевыми (ток в цепи отсутствует, и конденсатор не заряжен).

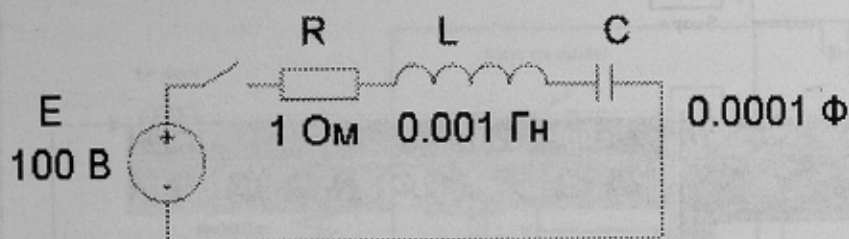


Рисунок 3 - Расчетная электрическая схема

Предварительно составляем систему дифференциальных уравнений, описывающую электрическую цепь:

$$e = L \frac{di}{dt} + R \cdot i + u_c,$$

$$i = C \frac{du_c}{dt},$$

где i – ток в цепи, u_c - напряжение на конденсаторе.

Записываем данную систему уравнений в явной форме Коши:

$$\frac{di}{dt} = (e - R \cdot i - u_c) / L,$$

$$\frac{du_c}{dt} = \frac{1}{C} \cdot i.$$

Вводим “машинные” переменные:

$$i \rightarrow x(1),$$

$$u_c \rightarrow x(2),$$

$$e \rightarrow u(1).$$

В итоге система уравнений примет вид:

$$\frac{dx(1)}{dt} = (u(1) - R \cdot x(1) - x(2)) / L.$$

Введение “машинных” переменных, связано с тем, что редактор дифференциальных уравнений требует задавать в виде векторов входные воздействия (u) и переменные состояния (x) и имена этих векторов жестко заданы.

После получения системы дифференциальных уравнений с использованием “машинных” переменных, необходимо запустить редактор. Затем нужно поместить блок редактора в окно с создаваемой моделью, открыть окно редактора и ввести систему дифференциальных уравнений, начальные условия, а также алгебраические уравнения для расчета выходных сигналов (в рассматриваемой задаче выходные переменные равны переменным состояния). Также необходимо указать размерность вектора входного сигнала (# of inputs). Коэффициенты дифференциального уравнения могут быть переменными и задаваться также как и входные сигналы (через входной порт). В качестве примера на рис. 4 показан вариант предыдущей модели, в котором величина сопротивления увеличивается в 10 раз в процессе расчета. В системе дифференциальных уравнений сопротивление записано как входной сигнал $u(2)$. Схема модели и окно редактора показаны на рис. 4.

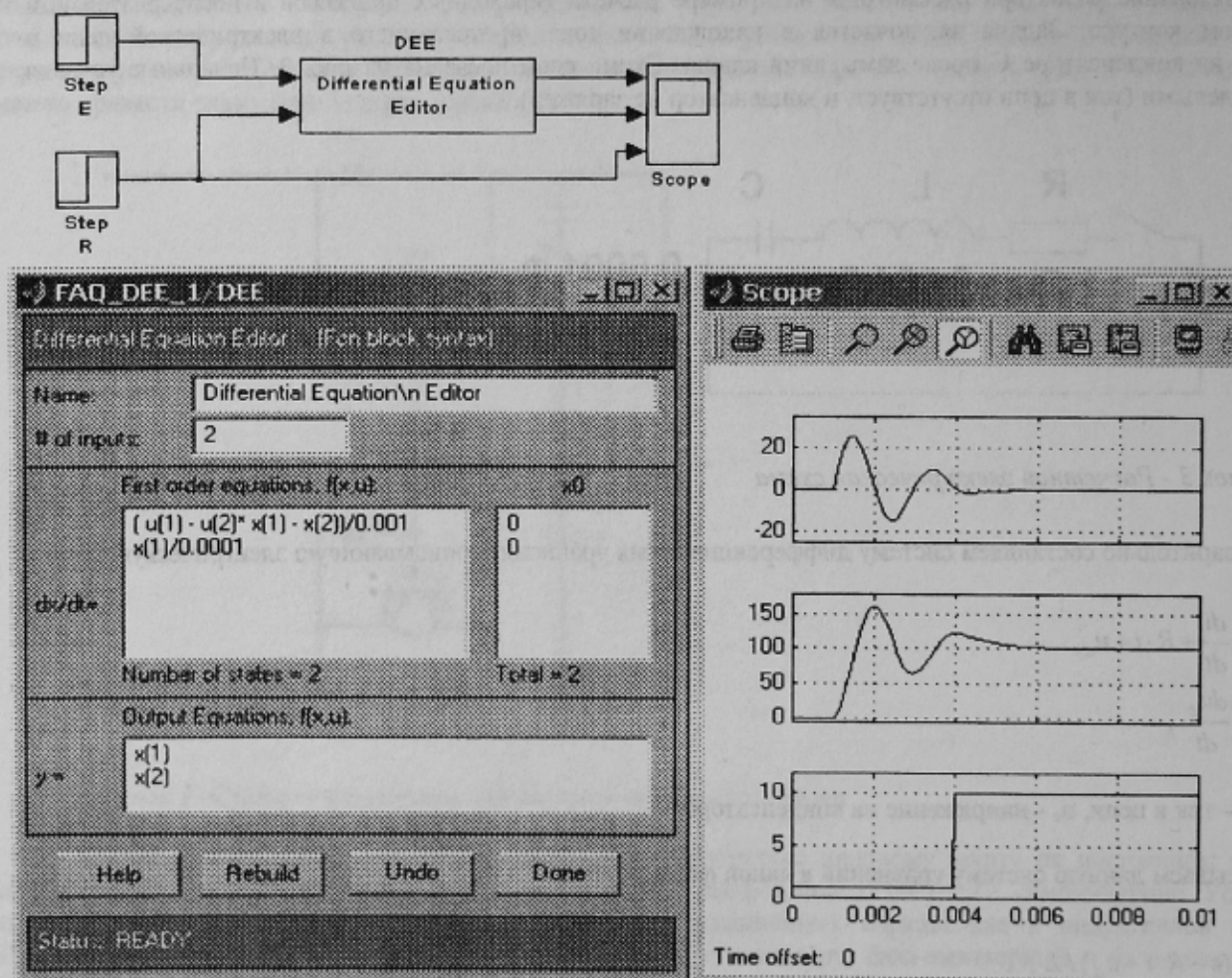


Рисунок 4 - Модель, использующая редактор дифференциальных уравнений (РДУ)

Таким образом, уравнения Майра [3] представляют собой систему вида:

$$\begin{cases} \frac{dx(1)}{dt} = \frac{u(2)}{\tau} \left(\frac{e^{x(1)} u(1)^2}{p} - 1 \right) \\ y = e^{x(1)} u(1) \end{cases} \quad \begin{cases} \frac{d \ln g}{dt} = \frac{u(2)}{\tau} \cdot \left(\frac{g u^2}{p} - 1 \right) \\ i = g u \end{cases}$$

где $x(1)$ - переменная состояния дифференциального уравнения, которая является $\ln(g)$;

g - проводимость дуги;

x_0 - начальная величина переменной состояния, т.е. проводимость до коммутации: $g(0)$;

$u(1)$ - первый вход РДУ блока, являющийся напряжением дуги: u ;

$u(2)$ - второй вход РДУ блока, представляющий состояние ключа: $u(2)=0$, когда контакт замкнут,

$u(2)=1$, когда контакт разомкнут.

y - выход РДУ блока, являющийся током дуги: i ;

u - напряжение дуги;

i - ток дуги;

τ - тепловая постоянная времени дуги, характеризующая инерционность дуги, мкс;

p - отводимая мощность, характеризующая интенсивность отвода теплоты от дуги, Вт.

Характерные значения тепловых параметров для аппаратов низкого напряжения: $\tau=10..1000$ мкс, $p_0=100..10000$ Вт/см.

При замкнутом контакте решается уравнение $\frac{d \ln g}{dt} = 0$. В данной работе исследовалась зависимость

энергии, выделяемой в разряде: $\int_0^{t_p} U_p \cdot i_p dt$, от следующих параметров искрообразующей цепи: $L_{нб}$, t_d - индуктивности нагрузки и добавочная, вводимая до коммутации; p (см. табл. 1 и рис.5).

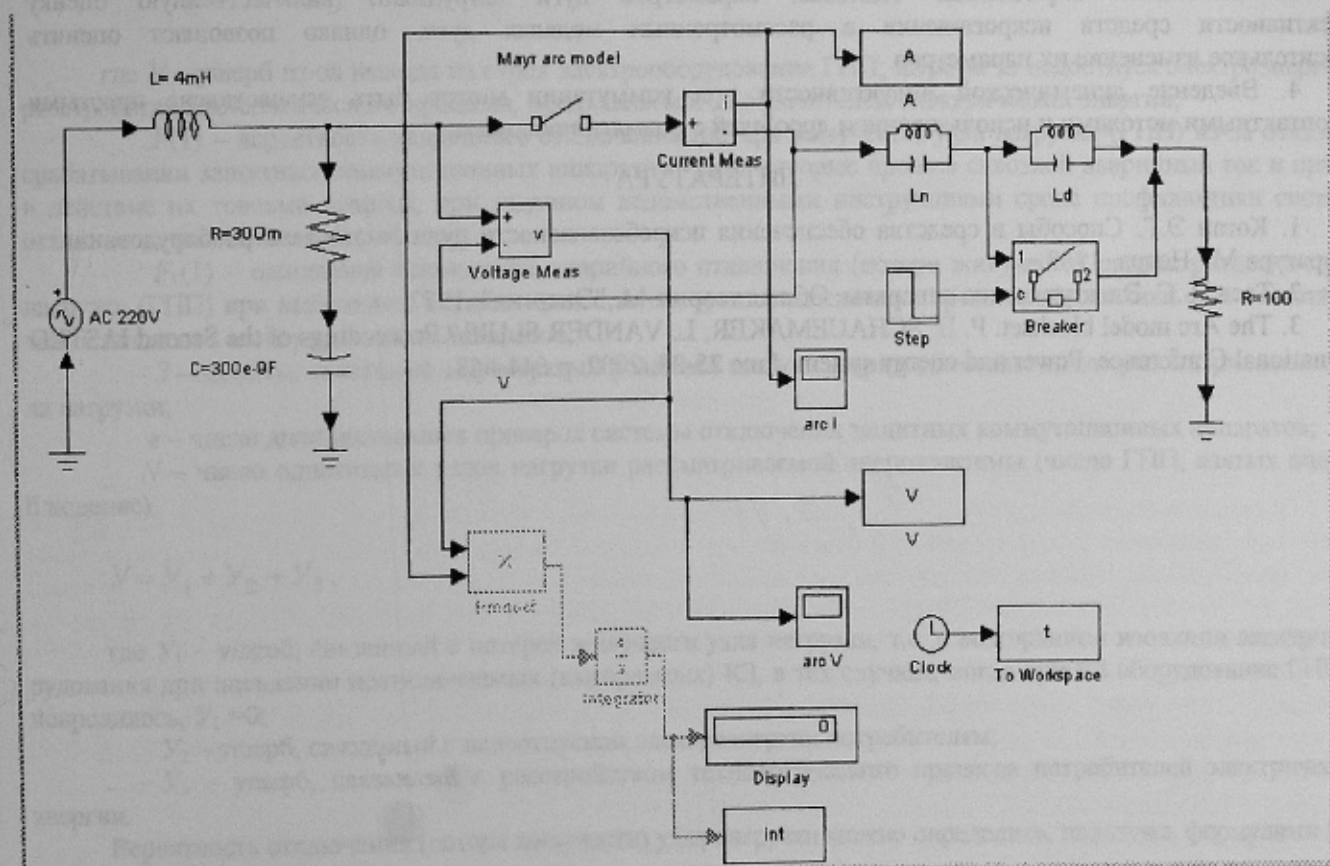


Рисунок 5

Таблица 1- Зависимость энергии разряда от динамической индуктивности при $\tau = 10$ мкс

	L_d/L_n	W_p , мДж		t_p , с	
		$p=15$ Вт	$p=30$ Вт	$p=15$ Вт	$p=30$ Вт
$L_n=1$ Гн	0	49	88	0,0435	0,0432
	1	46	78	0,0434	0,0428
	1,5	44	70	0,0432	0,0426
	2	41	63	0,043	0,0424
$L_n=1,5$ Гн	0	48	84	0,0435	0,043
	1	41	62	0,043	0,0423
	1,5	37	53	0,0427	0,042
	2	33	45	0,0425	0,418

Результаты расчетов позволяют сделать выводы:

1. С увеличением добавочной индуктивности уменьшается энергия, выделяемая в разряде, причем тем в большей степени, чем больше отводимая мощность P при одном и том же токе.
2. Время существования разряда изменяется незначительно как при увеличении отводимой мощности, так и при динамическом изменении индуктивности.
3. Сложность определения тепловых параметров дуги затрудняют количественную оценку эффективности средств искрогашения в рассмотренных моделях дуги, однако позволяют оценить относительное изменение их параметров.
4. Введение динамической индуктивности при коммутации может быть осуществлено простыми бесконтактными методами и использованием дросселей с подмагничиванием.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коган Э.Г. Способы и средства обеспечения искробезопасности рудничного электрооборудования. – Литература М.: Недра, 1988.
2. Таев И.С. Электрические аппараты. Общая теория. М., "Энергия", 1977.
3. The Arc model blockset. P. H. SCHAUEMAKER, L. VANDER SLUIS//Proceedings of the Second IASTED International Conference. Power and energy system. June 25-28, 2002. p 644-648.