

Секционирование генерирующих мощностей стало возможным лишь в последнее время, когда появились надежные, высокоточные системы управления, основанные на достижениях микропроцессорной техники и компьютерной технологии. В мире уже есть примеры установок, состоящих из десятков (40–50) генерирующих блоков под общим компьютерным управлением.

Экономическим доводом в пользу распространения секционированных генерирующих мощностей является то, что удельная стоимость (в расчете на 1 кВт генерирующей мощности) малых установок ниже, чем установок большой мощности.

Положительной особенностью секционированных систем является их более высокая надежность. Для промышленных и бытовых потребителей предлагаются установки мощностью от 0,2 до 3 МВт, секционированные блоками по 200 кВт с общим компьютерным управлением.

Когенерация позволяет воздержаться от экономически неэффективных затрат на средства дальней передачи энергии и исключает потери при транспортировке энергии, так как энергогенерирующее оборудование установлено в непосредственной близости от потребителя.

Когенерация, используя первичное топливо в два-три раза эффективней традиционной энергетики, снижает выбросы загрязняющих веществ (оксида азота, двуокиси серы и летучих органических соединений) в 2–3 раза.

УДК 621.318

## КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В КОНТАКТОРАХ ПОСТОЯННОГО ТОКА

*Белько В.В., Хверось А.Ю.*

Научный руководитель – САЦУКЕВИЧ В.Н.

Компьютерные технологии позволяют моделировать динамические процессы, возникающие при работе электрических механизмов. Цель работы – разработка компьютерной программы для графического моделирования работы контактора постоянного тока серии КПВ-600 при его включении и отключении.

Контактор представляет собой электрический аппарат, предназначенный для коммутации силовых электрических цепей. Он имеет следующие основные узлы: контактную систему, дугогасительное устройство, электромагнит и систему вспомогательных контактов. При подаче напряжения на обмотку электромагнита контактора его якорь притягивается. Подвижный контакт, связанный с якорем электромагнита, замыкает или размыкает главную цепь. Дугогасительное устройство обеспечивает быстрое гашение дуги. В контакторах постоянного тока применяются электромагниты клапанного типа [1].

Разработанная компьютерная программа предназначена для моделирования электродинамических процессов, возникающих при включении и отключении контактора постоянного тока. Для работы программы необходимы исходные данные, которые содержат параметры электромагнита постоянного тока, контактной системы. Исходные данные можно легко вводить и корректировать, можно изменять дополнительные параметры в процессе расчета. Программа позволяет загрузить файл с ранее подготовленными исходными данными. В результате работы программы производится расчет параметров обмотки напряжения электромагнита, определяется тепловой режим, дела-

ется вывод о работоспособности электромагнита [2]. Исходные данные и результаты расчетов можно сохранять и использовать в дальнейших расчетах.

Результаты расчетов используются для реального графического моделирования работы контактора. При включении электромагнита моделируется процесс притяжения якоря. При этом подвижный контакт, связанный с якорем электромагнита, замыкает главную цепь. Если время включения обмотки электромагнита ограничено из-за возможного перегрева, то программа выдает сообщение об этом и моделируется процесс перегрева. Цвет обмотки становится темно-красным. Если расчетная сила тяги электромагнита будет меньше исходной, то выдается сообщение об этом и якорь не притянется. При отключении электромагнита происходит размыкание главной цепи благодаря действию возвратной пружины. В это время моделируется работа возвратной пружины, перемещение якоря и контакта. В случае возникновения электрической дуги при отключении моделируется процесс ее горения. При этом она изменяет свою форму из-за перемещения контактов. Благодаря действию дугогасительного устройства и перемещения контактов в пространстве происходит гашение электрической дуги.

При отключении электрической цепи под нагрузкой образуется электрическая дуга. Электрическая дуга характеризуется следующими параметрами: траекторией, длиной, диаметром и временем гашения [2]. В программе после расчетов параметров контактора определяются эти характеристики дуги. Траектория электрической дуги при размыкании контактов имеет спирале- и петлеобразный характер. Для приближенных расчетов длины дуги принимают упрощенную траекторию. Расчетные зависимости приведены в литературе [2]. Длина дуги  $l_d$  определяется по формуле:

$$l_d = \sqrt{\delta_k^2 + 9\vartheta_d^2 t^2}, \text{ см,} \quad (1)$$

где  $\delta_k$  – расстояние между контактами (раствор контактов), см;

$\vartheta_d$  – скорость движения дуги, см/с;

$t$  – время горения дуги, с.

Диаметр движущейся дуги  $d$  может быть определен по эмпирической формуле:

$$d \approx 1,12 \sqrt{\frac{I_{\text{откл}}}{20 + \vartheta_d}}, \text{ см,} \quad (2)$$

где  $I_{\text{откл}}$  – отключаемый ток, А;

$\vartheta_d$  – скорость дуги при среднем значении отключаемого тока  $0,5I_{\text{откл}}$ , см/с.

Время растяжения дуги до критической длины (время расхождения контактов)  $t_{pд}$  определяется по формуле:

$$t_{pд} \approx \frac{l_{d\text{кр}}}{\sqrt{\vartheta_p^2 + 9\vartheta_d^2}}, \text{ с,} \quad (3)$$

где  $l_{d\text{кр}}$  – критическая длина дуги, см;

$\vartheta_p$  – скорость расхождения контактов, см/с;

$\vartheta_d$  – скорость движения дуги, см/с.

Полное время горения дуги  $t_g$  определяется по формуле:

$$t_g = t_{pд} + t_n, \text{ с,} \quad (4)$$

где  $t_n$  – время гашения пламени дуги, с.

Расстояние до наиболее удаленной от коммутирующих контактов части дуги  $h_d$  определяется по формуле:

$$h_d = \vartheta_d t_{p_d}, \text{ см.} \quad (5)$$

Расчетные зависимости (1)–(5) используются в программе для моделирования процесса горения дуги. Эти параметры и определяют графическое представление дуги. Электрическая дуга возникает при размыкании контактов, если значения напряжения и тока больше минимальных, необходимых для поддержания дугового разряда. Если расчетное значение тока меньше минимально необходимого значения тока для поддержания горения дуги, то размыкание контактов происходит без образования дуги. Если расчетное значение больше, то в программе моделируется электрическая дуга постоянного тока. При размыкании контактов дуга изменяет свою траекторию, длину. Моделируемый диаметр дуги зависит от значения отключаемого тока. Скорость гашения дуги определяется по формуле (3).

Программа разработана на языке Visual Basic 6.0. Она содержит удобную систему помощи, которая позволяет разобраться в особенностях работы программы. При вводе некорректных параметров программа сообщит об этом пользователю и предложит ввести корректные данные. Разработанная программа может быть полезна студентам при изучении контакторов постоянного тока и особенностей электрической дуги.

### Литература

1. Чунихин, А.А. Электрические аппараты: Общий курс. Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 720 с.
2. Сахаров, П.В. Проектирование электрических аппаратов (Общие вопросы проектирования). Учебное пособие для студентов электротехнических вузов. – М.: Энергия, 1971. – 560 с.
3. Алексеев, Д.В. Компьютерное моделирование физических задач в Visual Basic. – М.: Солон-ПРЕСС, 2004. – 528 с.

УДК 620.004.5

## ВЫБОР НЕВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ РЕЗЕРВИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Северин Л.А.

Научный руководитель – д-р техн. наук, профессор АНИЩЕНКО В.А.

Для повышения надежности систем автоматического регулирования применяют различные схемы структурного резервирования: дублирование, троирование, мажоритарные схемы «два из трех» («2 из 3»), «три из пяти» («3 из 5») и др.

Основными показателями, характеризующими надежность невосстанавливаемых систем, являются вероятность безотказной работы  $P(t)$  и наработка на отказ  $T$ .

При экспоненциальном законе надежности каждого элемента система, состоящая из  $m$  последовательно соединенных элементов, также подчиняется этому закону:

$$P(t) = \prod_{i=1}^m p_i(t) = e^{-t\Lambda},$$

где  $p_i(t)$  – вероятность безотказной работы  $i$ -го элемента;

$\Lambda$  – интенсивность отказов системы, равная сумме интенсивностей отказов элементов  $\lambda_i$  и не зависящая от времени  $t$ :

$$\Lambda = \sum_{i=1}^m \lambda_i = \text{const.}$$