

*Арфан Аль Хакам, Сатаркулов К.А.*

**КОМПЬЮТЕРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОМ  
В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

*Arfan Al Khakam, K.A. Satarkulov*

**COMPUTER MANAGEMENT OF EXPERIMENT OF INDUSTRIAL ENTERPRISES  
ELECTROSUPPLYING SYSTEMS**

УДК: 004.94: 658.26

*Рассматривается вопрос компьютерного управления экспериментом, с целью определения расчетных нагрузок в электрических сетях промышленных предприятий при стохастическом характере нагрузки. Приведен новый способ измерения электрического тока, который может, использован для разработки датчика тока.*

*The question of computer management of experiment is considered with the purpose of definition of settlement loadings in electrical networks of the industrial enterprises at stochastic character of loading. The new way of measurement of an electrical current is given which can be used for development current gauge.*

**Введение.** Большинство проектных решений в системах электроснабжения (СЭС) принимается на основании информации о действующих промышленных предприятиях аналогичного профиля, поэтому методам экспериментальных исследований электрических нагрузок и режимов работы электроприемников (ЭП) на различных промышленных предприятиях всегда уделялось и уделяется большое внимание. В связи с большими сложностями, при проведении экспериментальных исследований на действующих промышленных предприятиях желательно проводить экспериментальные исследования электрических нагрузок на физических моделях ЭП, режим работы которых обеспечивается соответствующей компьютерной системой управления.

Разработка системы для компьютерного моделирования и управления экспериментом в СЭС должна производиться исходя из следующих требований к системе и к их техническим и программным средствам.

Система должна обеспечить:

- дистанционное компьютерное управление физическими моделями электроприемников в соответствии со стохастическим графиком нагрузки, полученным путем моделирования;
- помехоустойчивость измерений;
- автоматизацию измерения температуры в отдельных точках изоляции проводников и занесения их в базу данных;

- статистическую обработку экспериментальных данных;
- определение расчетной нагрузки от группы электроприемников;
- возможность определения основных показателей графиков нагрузки.

В настоящее время экспериментальные исследования графиков нагрузки производятся традиционным способом с применением стрелочных и цифровых амперметров, ваттметров, варметров, электрических счетчиков, самопишущих амперметров и ваттметров, а также информационно - измерительных систем, которые не могут обеспечить выполнение выше перечисленных требований к автоматизированной системе.

Недостатком традиционного способа проведения эксперимента, является отсутствие:

- возможности оперативно корректировать ход эксперимента по полученным данным;
- эффективного контроля качества регистрируемой информации;
- возможности оперативного анализа регистрируемой информации;
- возможности адаптироваться к новым режимам эксперимента.

Эти недостатки можно преодолеть, если создать системы автоматизации экспериментальных установок на основе современных персональных компьютеров (ПК) с применением модульных интерфейсов, например, в стандарте КАМАК.

Использование ПК и аппаратуры КАМАК позволяет существенно поднять эффективность наблюдений на экспериментальных установках, особенно там, где регистрируются быстрые процессы, большие объемы информации и требуется оперативный анализ данных с получением некоторых научных результатов непосредственно в ходе эксперимента или сразу после его окончания.

**Постановка задачи.** Разработанная система должна в первую очередь позволять определение значения расчетной нагрузки от группы ЭП и допустимую сечение жил токоведущих элементов (ТЭ)

сети, зависящее от их температуры перегрева относительно окружающей среды.

$$\tau(\vartheta) \frac{d\vartheta}{dt} + \vartheta = K_R(\vartheta) \cdot \vartheta_{ж.н} \left( \frac{I}{I_n} \right)^2 \quad (1)$$

$$\tau(\vartheta) = \frac{\tau_0}{1 + 0.3 \left( 1 - \frac{\vartheta}{\vartheta_{ж.н}} \right)}$$

где  $\tau_0$  - реальная постоянная нагрева ТЭ;

- температура перегрева ТЭ;
- максимально допустимая температура жил;
- ток нагрузки, имеющий в общем случае стохастический характер;
- длительно допустимый ток ТЭ;
- значение постоянной нагрева при длительно допустимой температуре жил;
- температурный коэффициент сопротивления ТЭ.

Определение с помощью разрабатываемой системы должна производиться в следующей последовательности.

С помощью ЭВМ, используя исходные данные о режимах работы каждого из ЭП, моделируем их графики нагрузки, которые имеют стохастический характер. В соответствии с этими графиками, ЭВМ с помощью магнитных пускателей управляет ЭП. Электрический ток, соответствующий групповому графику нагрузки, имеющий стохастический характер, пройдя через провод ТПр<sub>1</sub>, нагревает его изоляцию, динамика изменения температуры которого описывается дифференциальным уравнением (1). Информация о температурах окружающей среды и изоляции ТПр<sub>1</sub> поступает в систему с помощью термопар Т<sub>1</sub>, Т<sub>2</sub>, а информация о групповой нагрузке через датчик тока ДТ<sub>1</sub>.

После начала работы электроприемников, через промежуток времени приблизительно равный 3–4 кратных постоянных времени ТПр<sub>1</sub>, под управлением ЭВМ включается магнитный пускатель МП<sub>k+1</sub> и с помощью шагового двигателя ШД (шаговый двигатель является приводом для регулирования величины нагрузки РН, – угловая скорость вращения ШД) подбирается такое значение нагрузки РН, чтобы изоляция ТПр<sub>2</sub> нагрелась до такой же температуры, что и изоляция ТПр<sub>1</sub>. Так как ТПр<sub>1</sub> и ТПр<sub>2</sub> абсолютно

идентичны, то неизменный по значению ток нагрузки, проходящий через ТПр<sub>2</sub>, будет соответствовать расчетному току для ТПр<sub>1</sub>. Значение этого тока в систему попадает через датчик тока ДТ<sub>2</sub>.

Таким образом, разрабатываемая система обеспечивает решение поставленной задачи.

Принципиальная блок-схема системы компьютерного управления экспериментом в СЭС представлена на рис. 1.

**Архитектура и аппаратура системы автоматизации.** Для формализации требований к системе автоматизации и определения ее архитектуры составим функциональную схему комплекса, типа той, что приведена на рис.2. Из нее видно, что система автоматизации должна регистрировать пять величин, а также управлять магнитными пускателями МП<sub>k</sub> (k – количество ЭП, для разрабатываемой системы k = 32) и шаговым двигателем для регулирования величины нагрузки РН. Аппаратно это осуществляется следующим образом: температуры регистрируются при помощи термопар Т<sub>1</sub>, Т<sub>2</sub> и Т<sub>3</sub> соответственно, а значения нагрузок токопроводов ТПр<sub>1</sub> и ТПр<sub>2</sub> – при помощи датчиков ДТ<sub>1</sub> и ДТ<sub>2</sub> (рис.1.). Все пять сигналов аналоговые. Регулируемая нагрузка РН и магнитные пускатели также управляются аналоговыми сигналами.

Определив функциональный интерфейс между измерительной аппаратурой и системой автоматизации, перейдем к детализации последней. Будем использовать в качестве аппаратуры сопряжения экспериментальной установки с компьютером аппаратуру в стандарте КАМАК. Для преобразования аналоговых сигналов от термопар в цифровой код используется модуль АЦП помехоустойчивый 32-канальный, а для преобразования быстротекущих аналоговых сигналов – АЦП типа 712. Шаговый двигатель управляется модулем ЦАП МУШД (модуль управления шаговым двигателем), а магнитные пускатели – модулем РУР-IP (регистр управление реле). Временные интервалы задаются модулем времени МВ-1. Для вывода графической информации на самописец использован модуль МУС (модуль управления самописцем).

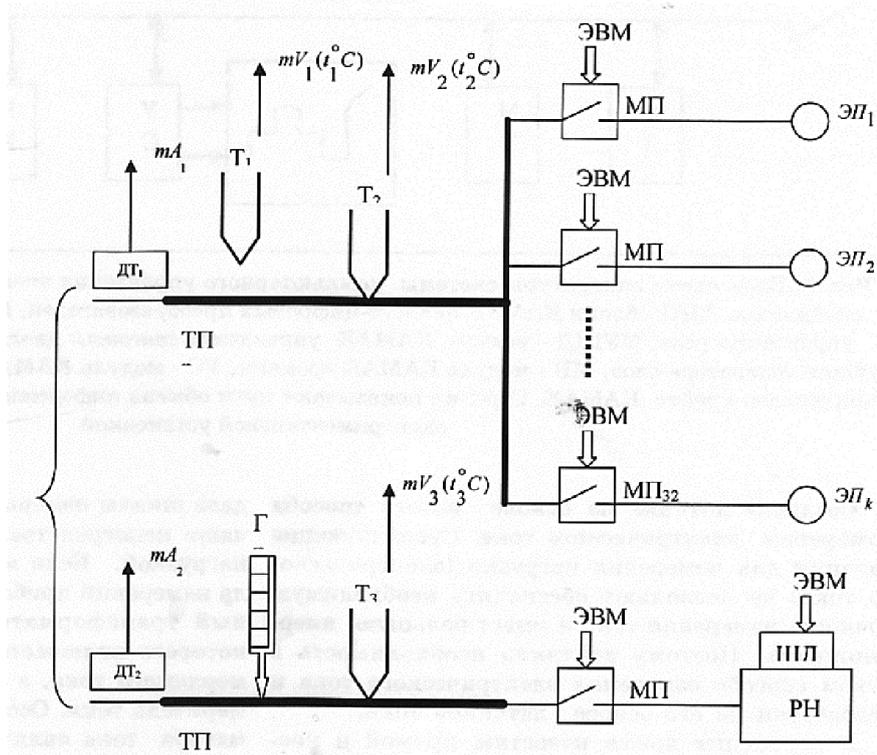


Рис. 1. Принципиальная блок-схема системы компьютерного управления экспериментом в СЭС: Гр. - градусник,  $T_1, T_2, T_3$  - термопары, ТПр<sub>1</sub> и ТПр<sub>2</sub> проводники, МП - магнитный пускатель, ЭП - электроприемник, РН - регулируемая нагрузка, ШД - шаговый двигатель, ДТ1, ДТ2 - датчики тока

Крейт КАМАК в нашей системе сопряжен с персональным компьютером Pentium - I, который занимает особое место в эксперименте. Он представляет собой универсальный инструмент исследования, так как совмещает в себе функции устройства для накопления, хранения и обработки информации и устройства для управления объектами.

Блок-схема аппаратуры спроектированной системы автоматизации приведена на рис. 3.

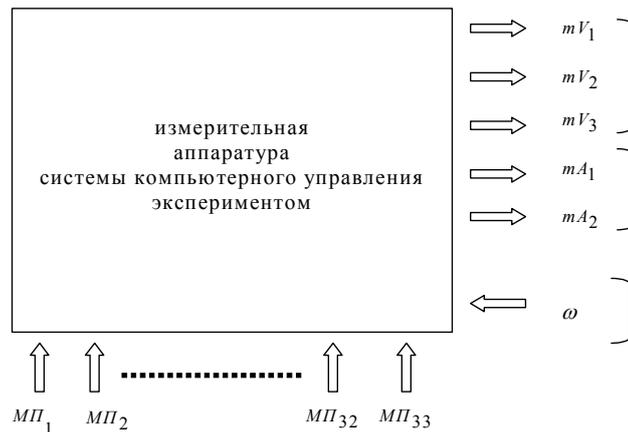
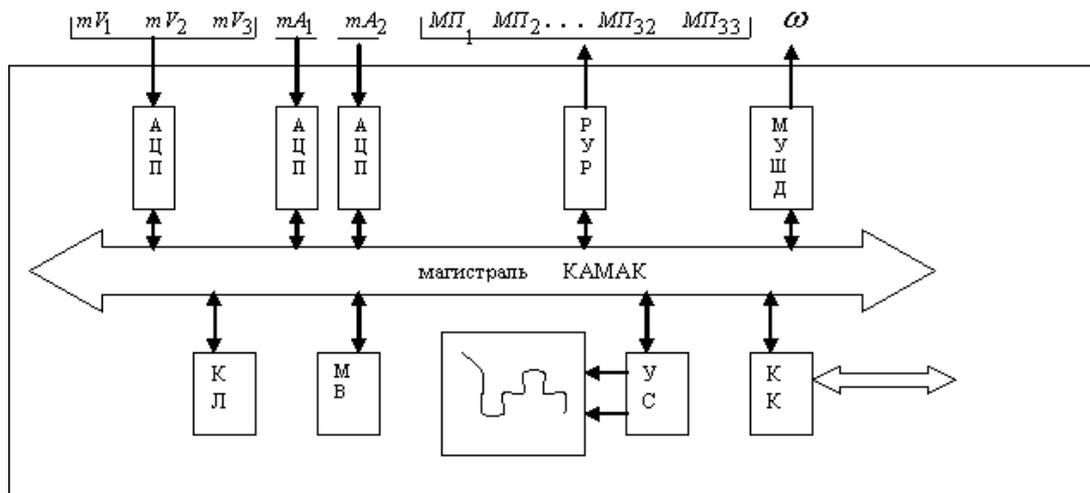


Рис. 2. Функциональная блок-схема системы компьютерного управления экспериментом. Стрелки на рисунке показывают пути обмена информацией между системой регистрации данных и управления комплексом и измерительно - управляющей аппаратурой системы.



**Рис. 3.** Блок-схема аппаратуры системы компьютерного управления экспериментом в системе электроснабжения. АЦП - блоки КАМАК аналого-цифровых преобразователей, РУР - модуль КАМАК регистр управления реле, МУШД - модуль КАМАК управления шаговым двигателем, КЛ - модуль КАМАК ручного генератора слов, МВ - модуль КАМАК времени, УС - модуль КАМАК управления самописцем, КК - контроллер крейта КАМАК. Стрелки показывают пути обмена информацией между модулями КАМАК и экспериментальной установкой.

**Создание датчика на основе нового способа измерения электрического тока.** Существующие датчики для измерения нагрузки (электрического тока) не позволяют обеспечить необходимую точность измерения тока и имеет большую инерционность. Поэтому возникла необходимость в новом способе измерения электрического тока и разработки на его основе датчиков тока.

В настоящее время известны прямой и косвенный способы измерения электрического тока [2].

Прямой способ измерения тока заключается в том, что цепь с током разрывается, куда последовательно включается измеритель тока. Если значение измеряемого тока меньше верхнего предела шкалы измерителя тока, то последний включают непосредственно в сеть последовательно с нагрузкой. Если измеряемый ток больше предела измерений прибора, то применяют измерительный трансформатор тока, первичная обмотка которого включается последовательно в цепь измеряемого тока, а к его вторичной обмотке - измеритель тока. Особой разновидностью трансформатора тока являются токоизмерительные клещи, имеющие разъемный магнитопровод и позволяющие измерять ток в одиночном проводе, не прибегая к разрыву цепи измеряемого тока.

Косвенный способ измерения тока заключается в измерении падения напряжения на резистивном элементе, последовательно включенным в разорванную цепь. Значение указанного сопротивления должно быть заранее известно, при этом сила тока рассчитывается по закону Ома: .

Недостатком названных способов измерения электрического тока является то, что требуется разорвать цепь для включения измерителя тока. Кроме того, они

могут использоваться только в стационарных электроустановках. Поэтому их нельзя использовать в тех случаях, когда необходимо производить измерение тока без разрыва проводника, особенно в полевых условиях. Применение токоизмерительных клещей не обеспечивает необходимую точность измерения.

Известен способ измерения тока, предусматривающий выбор сегмента проводника. К сегменту подключают источник модулированного тока, в результате протекания такого тока на сегменте возникает тестовое падение напряжения. К сегменту подключают синхронный демодулятор для отделения тестового падения напряжения от падения напряжения в обычном режиме. Измеряют тестовое падение напряжения и отключают источник модулированного напряжения. Измеряют падение напряжения в обычном режиме и на основании проведенных измерений определяют ток в проводнике [3].

В этом способе, наиболее близком к предлагаемому вследствие использования электронной аппаратуры, устройство становится дорогостоящим и сложным.

Поставим задачу создание более дешевого, простого и точного способа измерения токов в любых условиях без разрыва проводника с током. Поставленная задача решается, если для определения тока в проводе производят параллельное подключение к выбранному сегменту провода измерителя тока с последовательно включенными двумя калиброванными резисторами, один из которых снабжают шунтирующим ключом  $S$  и дважды измеряют ток при одном и двух включенных калиброванных резисторах [4].

На рис. 4 приведена электрическая схема для измерения тока.

Ток, измеряемый амперметром (микроамперметром), определяется разностью потенциалов между двумя точками его подключения.

При первом измерении (ключ  $S$  замкнут)  $A$  - амперметр (микроамперметр) будет показывать ток равный:

$$I_1 = I \frac{R_x}{R_1 + R_x}, \quad (2)$$

а при втором измерении (ключ  $S$  разомкнут):

$$I_2 = I \frac{R_x}{R_2 + R_x}, \quad (3)$$

где  $R_2 = R_1 + R_1'$

Из отношения находим  $\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2 + R_x}{R_1 + R_x}$ ,

$$R_x = \frac{I_2 \cdot R_2 - I_1 \cdot R_1}{I_1 - I_2} \quad (4)$$

Подставляя значение (4) в одно из вышеприведенных выражений (2) или (3), находим ток в проводе:

$$I = I_1 \cdot I_2 \frac{R_2 - R_1}{I_2 \cdot R_2 - I_1 \cdot R_1} \quad (5)$$

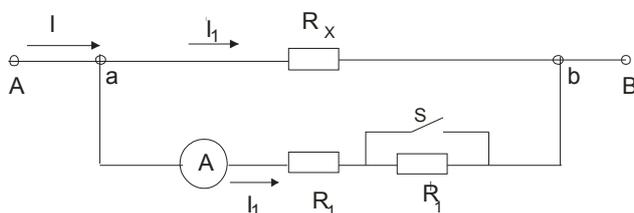


Рис. 4. Электрическая схема для измерения электрического тока

Следовательно, для измерения электрического тока рассмотренным способом необходимо придерживаться следующей последовательности:

1. К сегменту  $ab$  провода  $AB$  (рис.5) подключается параллельно измеритель тока (рис. 6);

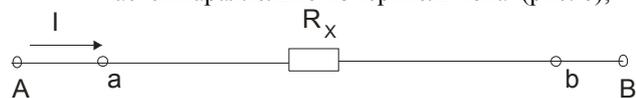


Рис. 5. Электрический провод

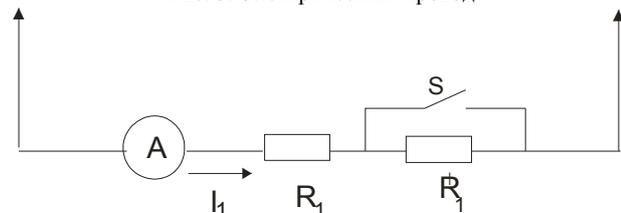


Рис. 6. Измеритель тока

2. Первый замер тока выполняется при замкнутом ключе  $S$  и снимается показание амперметра (микроамперметра);

3. Второй замер выполняется при разомкнутом ключе  $S$ , пусть показание амперметра (микроамперметра) равно;

4. Неизвестный ток определяется по формуле (5)

$$I = I_1 \cdot I_2 \frac{R_2 - R_1}{I_2 \cdot R_2 - I_1 \cdot R_1},$$

где  $R_2 = R_1 + R_1'$ ,  $R_1, R_1'$  (- калиброванные резисторы).

Изложенный способ измерения электрического тока отражает основную идею предлагаемого способа, измерения электрического тока на основе которого можно разработать датчик тока.

#### Выводы

1. Для успешного решения многих экспериментальных задач электроэнергетики, а также новых проблем расчета электрических нагрузок, порожденных усложнением электрического хозяйства, которые не могут быть решены существующими экспериментальными средствами и теориями, требуются новые подходы к проблеме.

2. Автоматизация научных исследований в электроэнергетике является объективной необходимостью на современном этапе её развития. Она обусловлена: возросшими требованиями по ускорению процесса исследования от начального этапа постановки задачи до внедрения полученных результатов; необходимостью изучения и овладения процессами, протекающими в условиях, неподдающихся непосредственному восприятию.

3. Применительно к инженерным исследованиям в системе электроснабжения представляется наиболее целесообразным использование интерфейсных элементов, выполненных в соответствии с международным стандартом КАМАК. Разработанные на основе этой системы автоматизированная установка и управляющая ею компьютерная программа позволяют успешно решить проблемы расчета электрических нагрузок.

4. Установлено, что существующие датчики тока по своим эксплуатационным свойствам (точность, инерционность) не подходят для разработанной автоматизированной системы, вследствие чего были предложены новый способ измерения электрического тока и конструкция датчика тока.

#### Литература:

1. Ермаков В.Ф. Исследование процессов в электрических сетях: методы, средства, детерминированные и вероятностные модели. - Ростов н/Д: Изд-во Рост. ун-та, 2003. - 288 с.
2. Шульц Ю. Электроизмерительная техника. М.: Энергоатомиздат, 1989.
3. Патент US № 5804979, кл. G 01 R 27/08, 1998.
4. Патент KG № 596, кл. G 01 R 19/00, 2003. Способ измерения электрического тока в проводах линий электропередачи // Сатаркулов К.А., Арфан А. Х. и др.