

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО НАРОДНОМУ ОБРАЗОВАНИЮ

МОСКОВСКИЙ ордена ЛЕНИНА и ордена ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ISSN 0234-9124

[ф-46]

ОПТИМИЗАЦИЯ
И ПОВЫШЕНИЕ
НАДЕЖНОСТИ
СИСТЕМ
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Сборник научных трудов

№ 210



Москва

1989

ПРЕДИСЛОВИЕ

Для обеспечения высоких темпов развития народного хозяйства нашей страны требуется всемерно совершенствовать электроэнергетику с целью повышения производительности труда и благосостояния народа.

Этапы и особенности решения этой задачи указаны в Энергетической программе СССР, которая предусматривает, в частности, коренное совершенствование структуры электроэнергетики путем экономии топлива и энергии прежде всего за счет улучшения организации производственных процессов и оптимизации режимов электропотребления.

Многообразие форм применения электрической энергии (ЭЭ) обуславливает комплекс требований, предъявляемых к работе систем электроснабжения промышленных предприятий (СЭС ПП). В общем виде проблемы, связанные с проектированием и эксплуатацией СЭС ПП, можно разделить на два больших класса. В любом случае оптимизация СЭС и режимов их работы производится с целью либо улучшения качества и увеличения количества выпускаемой продукции, либо экономии ЭЭ. Эти проблемы особенно актуальны в настоящее время, но в зависимости от конкретных обстоятельств, как правило, решаются одна из них. В ряде случаев возможно решение одновременно двух проблем, а иногда они принимают альтернативный характер. Например, при снижении качества ЭЭ наиболее важно оценить его влияние на производительность механизмов и, как правило, вопросы экономии ЭЭ при этом не рассматриваются.

Проблема экономии ЭЭ, являющаяся весьма актуальной в условиях энергетического кризиса вообще, на промышленном предприятии встает с необычайной остротой при наличии дефицита мощности в СЭС. В таких случаях возможны отключения предприятия, что в свою очередь ведет к недопуску продукции, необходимости работы в ночные часы и выходным дням и в конечном счете к народнохозяйственным убыткам. Решение этой проблемы — в оптимизации режимов электропотребления, рациональном построении технологических процессов, использующих ЭЭ, разработке технических

Оптимизация и повышение надежности систем электроснабжения:

Сб. науч. трудов. № 210. М.: Моск. энерг. ин-т. 1989.

Сборник содержит статьи, в которых рассмотрены вопросы, связанные с поддержанием оптимальных режимов электропотребления, повышением эффективности и надежности электроснабжения, совершенствованием схем и методов проектирования систем электроснабжения промышленных предприятий, а также с оценкой влияния качества электрической энергии на работу производственных механизмов. Ряд статей посвящен исследованию режимов работы элементов систем электроснабжения. Даны практические рекомендации по данным вопросам.

В сборнике нашли отражение результаты научных работ, проводимых на кафедрах электроснабжения промышленных предприятий Московского, Алма-Атинского энергетических институтов, Смоленского филиала МЭИ, Чувашского государственного университета, Тяжпромэлектроробекта, ПТП Черметэлектроремонт, Истринского филиала ВЭИ и других вузов страны.

Сборник предназначен для специалистов и научных работников, занимающихся проблемами электроснабжения промышленных предприятий.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Д-р техн. наук проф. В. В. ШЕВЧЕНКО — гл. редактор (Моск. энерг. ин-т), канд. техн. наук доц. Б. Я. ПРАХИН — зам. гл. редактора (Иванов. энерг. ин-т), ст. инж. С. С. КУРИЦЫНА — отв. секретарь (Моск. энерг. ин-т), канд. техн. наук доц. Э. Т. СИДОРЕНКО (Казан. филиал Моск. энерг. ин-та), канд. техн. наук доц. И. Г. ГОРДИЕВСКИЙ (Смолен. филиал Моск. энерг. ин-та).

РЕЦЕНЗЕНТ

Канд. техн. наук доц. В. А. САЖЕНКОВ (Моск. энерг. ин-т).

(14)

$$U_{(1)} = (U_{AB} + U_{BC} + U_{CA})/3;$$

(15)

$$U_{(2)} = \sqrt[3]{(U_{AB} - U_{BC})^2 + (U_{AB} - U_{CA})^2 + (U_{BC} - U_{CA})^2};$$

(16)

$$\varepsilon_n = 100 U_{(2)}/U_{(1)};$$

(17)

$$I_{(2)} = \sqrt[3]{(I_{AB} - I_{BC})^2 + (I_{AB} - I_{CA})^2 + (I_{BC} - I_{CA})^2};$$

(18)

$$N = \sqrt[3]{3 U_{(1)} I_{(2)}/100};$$

(19)

$$N^* = N/10S_{K3}.$$

Расчеты по формулам (15) и (17) могут быть реализованы на программируемых микрокалькуляторах (ПМК) с помощью общей подпрограммы. Программа расчета на ПМК по алгоритму (14) — (19) имеет вид

И7	И8	+	И9	+	3	%	П1	И7	И8
И9	ПП	46	П2	ИД	Х	И1	%	П3	И4
И5	И6	ПП	46	ПО	И1	Х	3	УХ	Х
ИД	%	1	0	%	ПА	1	0	%	ИС
%	ПВ	ИЗ	С/П	БП	00	ПО	УХ	ПА	—
Х2	УХ	ПВ	И0	—	Х2	+	ИВ	ИА	—
Х2	+	2	Х	УХ	3	%	В/О		

В этой программе записана общая подпрограмма расчета по (15) и (17).

Перед началом расчета по программе в регистры памяти ПМК заносятся значения U_{AB} (И7), U_{BC} (И8), U_{CA} (И9) в вольтах; I_{AB} (И4), I_{BC} (И5), I_{CA} (И6) в амперах; S_{K3} (ИС) в МВ·А; 100 (ИД) — постоянный коэффициент К. Эти данные в регистрах памяти ПМК сохраняются и могут быть использованы как после расчета по программе, так и до него.

Получаемые в процессе расчета результаты автоматически записываются в регистры памяти ПМК: $U_{(1)}$ (П1), $U_{(2)}$ (П2) в вольтах; $U_{(2)}$ (П3) в процентах; $I_{(2)}$ (П0) в амперах; N (ПА) в кВ·А и N^* (ПВ) в процентах. После расчета они могут быть вызваны на экран индикации ПМК для анализа и регистрации.

Отладка программы может быть выполнена на реальном примере режима СЭС ПП 6 кВ: U_{AB} (И7) = 5700 В; U_{BC} (И8) = 6100 В; U_{CA} (И9) = 6200 В; I_{AB} (И4) = -150 А; I_{BC} (И5) = -850 А; I_{CA} (И6) = 50 А; S_{K3} (ИС) = 120 МВ·А; K (ИД) = 100. В результате расчета получим $U_{(1)}$ (П1) = 6017 В; $U_{(2)}$ (П2) = 289 В; ε_n (П3) = 4,80%; $I_{(2)}$ (П0) = 535 А; N (ПА) = 5572 кВ·А; N^* (ПВ) = 4,64%. Коэффициент несимметрии ε_n превышает нормируемый ГОСТ 13109-67.

При включении ТКРМ в такой СЭС ПП U_{AB} (И7) = 6100 В; U_{BC} (И8) = 6200 В; U_{CA} (И9) = 6195 В; I_{AB} (И4) = -25 А; I_{BC} (И5) = -5 А; I_{CA} (И6) = 15 А, что после расчета по программе приводит к результатам: $U_{(1)}$ (П1) = 6192 В; $U_{(2)}$ (П2) = 12 В; ε_n (П3) = 0,19%; $I_{(2)}$ (П0) = 23,0 А; N (ПА) = 248 кВ·А; N^* (ПВ) = 0,21%.

Время расчета одного режима по программе на ПМК МК-61 составляет 25 с. Точность расчета, как отмечалось выше, определяется в основном точностью исходных выборок информации, либо снимаемой одновременно с измерительных приборов, либо непрерывно поступающей с датчиков регулятора ТКРМ. Вопрос о повышении точности этой исходной информации является предметом отдельных исследований и здесь не рассматривается.

ЛИТЕРАТУРА

1. Яценко А. А., Тоцилин В. В., Пономарев В. А. Методика расчета параметров оборудования и кибернетическая модель тиристорных компенсаторов реактивной мощности при чередующейся несимметрии режимов нагрузки // Пром. энергетика. 1987. № 11. С. 43—48.
2. А. с. 855516 СССР, МКИ* Н 02 Н 7/08. Способ измерения реактивной мощности / А. А. Яценко // Открытия. Изобретения. 1981. № 3.
3. А. с. 1089699 СССР, МКИ* Н 02 Н 7/09. Устройство для компенсации реактивной мощности и симметрирования нагрузки трехфазной сети / А. А. Яценко // Открытия. Изобретения. 1984. № 16.

КОМПОЗИЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЭКСПЛУАТИРУЕМОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Канд. техн. наук. ст. препод.
В. В. ФУФАЕВ (Краснояр. политехн. ин-т), инж. О. П. БАРИШНИКОВ
(Черметэлектрремонт), инж.
М. Б. ДУЙСЕНОВА (Моск. энерг. ин-т)

На современном металлургическом предприятии насчитывается 10¹⁰ единиц электротехнических изделий. Каждая деталь, узел, блок в процессе эксплуатации подвергается естественному износу и требует замены при сохранении изделий в целом. Надежное функционирование системы электрооборудования в значительной степени зависит от точного определения наименований и количества запасных частей и материалов для данного множества установленного электрооборудования. При этом основная трудность связана с тем,

что электрическое хозяйство промышленного предприятия представляет собой качественно новую систему — технологическую [1], основные закономерности построения которой пока недостаточно исследованы.

Для разработки метода определения перспективной потребности (составления заявок) в запасных частях и материалах (компонентах) проведены исследования ремонтируемых в Черметэлектроремонте электрических машин (ЭМ) металлургических предприятий европейской части РСФСР. Анализ 150 выборочных обследований отремонтированных ЭМ, а также итогов месячных, квартальных, полугодовых и годовых выборок показал, что множества асинхронных двигателей с короткозамкнутым и фазным ротором, электрических машин постоянного тока, электрических машин иностранных фирм и полное множество ЭМ подчинены закону H -распределения [2].

На основе обработки статистических данных частоты выхода в ремонт того или иного вида ЭМ установлено, что при сохранении формы кривой H -распределения состав устойчивых каст во времени изменяется. Это, очевидно, является следствием гауссова распределения видов в кастах и равномерного перераспределения представителей видов по структуре в направлении к многочисленным однородным кастам при разрыве системы.

Предельная негауссовость H -распределения и, как следствие, невозможность оперирования обобщенными показателями обуславливают необходимость введения понятия «среднего» вида (нормы), что позволяет при изучении динамики H -распределения переходить к анализу траекторий движения всей гаммы конкретных видов во времени, это тем более важно, что при изучении компонентов изделий невозможно абстрагироваться до уровня параметров, описывающих множество.

Установлено, что уравнения движения видов по кривой H -распределения для ремонтируемого электрооборудования в общем случае описываются системой полиномов

$$\begin{aligned} i_1 &= a_{10} + a_{11}t + a_{12}t^2 + \dots + a_{1k}t^k, \\ i_2 &= a_{20} + a_{21}t + a_{22}t^2 + \dots + a_{2k}t^k, \\ &\dots \dots \dots \\ i_W &= a_{W0} + a_{W1}t + a_{W2}t^2 + \dots + a_{Wk}t^k, \end{aligned} \quad (1)$$

где i_W — численность W -го вида электрооборудования; W —

число видов; a_{W0} , a_{Wk} — постоянные; t — временной параметр; $k=1, 2, \dots$

Статистически определено, что свойством динамики H -распределения является различная вероятность появления видов на интервале $(t, t+\Delta t)$ при $\Delta t = \text{const}$: она максимальна для вида «саранчевой» касты и уменьшается для видов с численностью, приближающейся к «ноевой» касте, для которой она минимальна. Неучет этого факта объясняет существование дефицита и излишков видов запасных частей и материалов при современном подходе к порядку их заказа методом от достигнутого, заключающегося в том, что на предстоящий период составляется заявка на запасные части для ЭМ по подобию текущего, базового периода. При этом могут появиться излишки одних запасных частей, если выбранный временной шаг между ремонтами мал, и дефицит других запасных частей, поскольку в ремонте появится ЭМ не того вида, что была в базовом периоде, а другого, которая ремонтировалась ранее, до базового периода.

Согласно существующим правилам, заявки на запасные части и материалы подаются с разбивкой по кварталам за год до поступления ЭМ в ремонт в начале последующего квартала текущего года. С учетом этого для обследованной статистики изменение временных рядов с достаточной степенью точности соответствует следующей модели:

$$i_W = a_{W0} + a_{W1}t. \quad (2)$$

Высокая точность прогноза видовой структуры множества в ремонтируемых ЭМ (при условии учета динамических

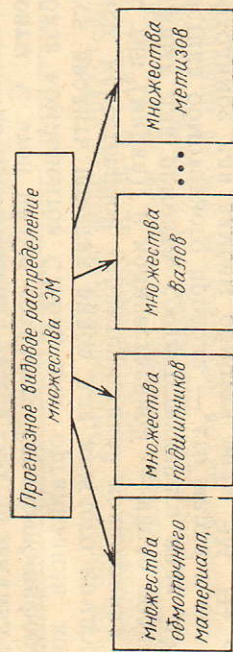


Рис. 1. Двухуровневая иерархическая модель видовой структуры множества ЭМ

свойств H -распределений) и ее устойчивость позволяют при разложении каждого элемента изделия на составляющие его

компоненты в рамках общего H -распределения изделий получить двухуровневую композиционную модель множества эксплуатируемого электрооборудования (рис. 1). С помощью этой модели разработан алгоритм программно-информационного обеспечения определения перспективной потребности в запасных частях и материалах для ремонта ЭМ

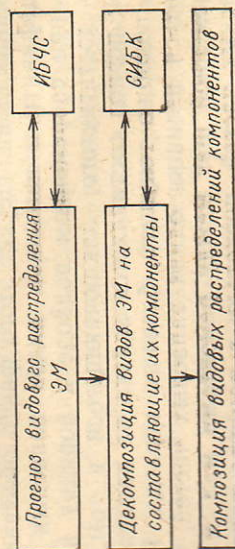


Рис. 2. Алгоритм программно-информационного обеспечения композиционной модели структуры эксплуатируемых ЭМ

(рис. 2). Прогноз H -распределения осуществляется на основе временных рядов (1) или (2) по информационной базе частотных словарей ИБЧС встречаемости видов ЭМ. Для прогнозного значения видового распределения ЭМ (например, табл. 1, где k — число каст; i — численность вида; $W(i)$ — число видов; $i(t)$ — число ЭМ в каждой касте; α — характеристический показатель распределения) автоматически производится декомпозиция видов ЭМ на составляющие компоненты. С этой целью создается справочно-информационная база компонентов СИБК, для организации которой требуется ввести понятия видов для каждого компонента. Например, качественной характеристикой подшипника является его тип (марка), а количественной — число подшипников, нужных для ремонта, соответствующего вида ЭМ; характеристика обмоточного провода — его марка и количество, необходимое для замены обмотки вида ЭМ. На основе СИБК для видов всего множества ЭМ устанавливается соответствие между видом ЭМ и набором видов компонентов, что может служить для множества видов своеобразным справочником.

Далее осуществляется свертка массива видов компонентов в гамму видовых распределений, т. е. составляются рас-

пределения видов компонентов по повторяемости на всем множестве ЭМ, в результате чего формируется двухуровневая иерархическая модель видовой структуры множества ЭМ.

Таблица 1. Прогнозное видовое распределение множества ремонтируемых за месяц ЭМ (Губкинский цех Черметэлектроремонта)

k	i	$W(i)$	$i(t)$	Характеристика вида
1	1	19	19	0,6 A0J2-11-4; 4 A0J2-32-2; 3 A0J2-32-4; 2,2 A02-32-6; 5,5 A02-41-2; 4 A02-41-4; 40 A02-81-4; 22 A02-81-8; 55 A02-82-4; 75 A02-92-6; 55 A02-92-8; 7,5 A02-42-2; 4 A02-51-8; 13 A02-61-4; 75 A2-82-2; 15 MTKH411-8; 17 A02-71-6; 80 MTKH413-10; A02-52-6
				0,4 A0J2-11-6; 0,6 A031-4; 22 A02-71-4; 40 A02-82-6; 55 A02-91-6; 1,1 A0J2-22-6; 22 MTKH412-8; 1,5 A0J2-31-6; 4 4A100L4; 30 A02-81-6
				23 A0C2-72-6; 5,5 A02-42-4; 17 A02-62-4; 1,1 A0J2-21-4
				1,7 A041-4; 0,7 A0J2-21-4
				1,1 4AX80A4; 5,5 4A112M4
2	2	10	20	1,5 4A80B4
				2,2 A0J2-31-4
				2,2 4A90L4
				7,5 A02-51-4
				$i(t)/W(i) = d = 2,75, \alpha = 0,26$
3	3	4	12	
4	4	2	8	
5	6	2	12	
6	8	1	8	
7	10	1	10	
8	11	1	11	
9	13	1	13	
9		41	113	

Таким образом, композиционная модель представляет собой иерархическую двухуровневую видовую структуру множества электрооборудования: на высшем уровне прогнозные значения H -распределения видов ЭМ и соответствующие ему H -распределения видов компонентов ЭМ на низшем уровне. Установлено, что соответствие между параметрами основного H -распределения и H -распределений компонентов неоднородно, так как одноименные компоненты различных видов ЭМ пересекаются: у различных видов ЭМ могут совпадать виды подшипников, обмоточного провода, метизов и др. В качестве примера видовые распределения компонентов и их обобщенные параметры приведены в табл. 2, 3 (примени-

тов с одинаковыми качественными характеристиками. Полученная таким образом прогнозная плановая потребность в видах компонентов ЭМ будет являться объективной и научно обоснованной потребностью в запасных частях и материалах на перспективу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кудрин Б. И. Выделение и описание электрических цензов // Изв. вузов. Электромеханика. 1985. № 7. С. 49—54.
2. Фуфаев В. В., Дуйсенова М. Б., Токоцаков В. И. Обеспечение функционирования электрооборудования промышленных предприятий // Сб. науч. трудов. № 162. М.: Моск. энерг. ин-т. 1988. С. 95—99.

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЕМ И СБЫТОМ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМЕ МОСЭНЕРГО

Канд. техн. наук, ст. науч. сотр.
В. В. СУДНОВА, ст. инж. С. В. СОКОЛОВ (Моск. энерг. ин-т)

Важное направление работы в системе Минэнерго СССР в настоящее время связано с развитием исследований в области автоматизации учета, контроля и управления потреблением и сбытом энергии на базе экономико-математических методов, вычислительной техники и современных технических средств сбора и передачи информации в составе отраслевой АСУ «Энергия».

Предприятие государственного энергетического надзора и сбыта энергии (Энергонадзор) является структурной единицей районной энергетической системы (ЭС).

Для создания отраслевой АСУ необходимым анализ производственной деятельности предприятий Энергонадзора, основные функции которого должны быть автоматизированы.

Согласно ГОСТ 20914-80, при разработке АСУ производственного назначения осуществляются следующие этапы: предпроектный, разработка проектов и ввод в эксплуатацию. Анализ структурных схем и технологических функций подразделений Энергонадзора составляет предпроектный этап работ для обоснования разработки ТЗ и создания автоматизированной системы контроля и управления потреблением и сбытом энергии ЭС (АСКУЭ).

тельно к видовому распределению, представленному в табл. 1).

Таблица 2. Видовое распределение подшипников ЭМ

k	i	$W(i)$	$t(i)$	Характеристика вида
1	1	3	3	2 60306; 2305км 311; 2 4226м
2	2	1	2	2 304
3	3	4	12	2 205; 2314к 314; 2317к 317; 2 60314
4	4	2	8	2309км 309; 2 306
5	5	1	5	2311км 311
6	6	3	18	2 60308; 2314км 314; 2 6
7	7	1	8	2 76
8	8	1	9	2 60305
9	9	1	11	2 60306к
10	10	1	13	2 60304
11	11	1	15	2 60309
12	12	1	19	2 75
12		20	113	$d=5,65$

Таблица 3. Видовое распределение обмоточного материала

k	i	$W(i)$	$t(i)$	Характеристика вида
1	1	11	11	0,95 ПЭТВ 3,9; 1,18 ПЭТВ 3,4; 1,12 ПЭТВ 3,55; 1,06 ПЭТВ 5,65; 1,4 ПЭТВ 27,6; 1,5 ПЭТВ 47,7; 1,0 ПЭТВ 7,06; 1,3 ПЭТВ 10,5; 1,45 ПСД 31,5; 1,25 ПЭТВ 10,09; 1,25 ПЭТВ 6,05.
2	2	8	16	1,18 ПЭТВ 14,7; 1,6 ПЭТВ 26,8; 1,4 ПЭТВ 4,83; 0,77 ПЭТВА 1,3; 0,8 ПЭТВ 2,15; 1,32 ПЭТВ 3,4; 1,32 ПЭТВ 24,51; 1,35 ПЭТВ 11,8.
3	3	3	9	0,56 ПЭВТЛ-2 1,23; 1,18 ПЭТВ 6; 1,62 ПЭТВ 44.
4	4	3	12	1,4 ПЭТВ 13; 1,35 ПЭТВА 2,88; 0,5 ПЭТВ 1,81.
5	5	3	18	1,4 ПЭТВ 3,61; 1,5 ПЭТВ 37; 0,63 ПЭТВ 1,36.
6	6	1	11	0,9 ПЭТВ 1,92.
7	7	1	12	1,06 ПЭТВ 3,5.
8	8	1	13	1,32 ПЭТВ 7,28.
9	9	1	14	0,75 ПЭТВ 1,84.
9		32	113	$d=3,52$

При определении данных для заявки необходимо просуммировать количественные характеристики видов компонен-