

Заметим, что при расчете эквивалентных четырехполюсников функции затухания $\alpha(\omega)$ и фазы (ω) не могут меняться в ходе итераций. Следовательно, полученные соотношения инвариантны, т.е. неизменны для выбранной функции цепи и справедливы для достаточно обширного класса пассивных электрических цепей.

Следует иметь в виду, что указанные выше соотношения можно распространить на активные цепи, однако при этом суммирование следует производить также для параметров управляемых источников.

Перейдем к оценке модулей функций чувствительности. Можно показать, что

$$\sum_{i=1}^{N_L} \left| S_i^r (|T|, L_i) \right| + \sum_{i=1}^{N_C} \left| S_i^r (|T|, C_i) \right| \geq \omega |a'(\omega)|$$

$$\sum_{i=1}^{N_L} \frac{\partial b(\omega)}{\partial \ln L_i} + \sum_{i=1}^{N_C} \frac{\partial b(\omega)}{\partial \ln C_i} = \sum_{i=1}^{N_L} Q_i^r(b(\omega), L_i) +$$

$$+ \sum_{i=1}^{N_C} Q_i^r(b(\omega), C_i) = \omega \tau(\omega).$$

Отсюда следует, что модуль крутизны характеристики затухания RLC -цепи является нижней потенциальной границей, к которой может стремиться (сверху) суммы модулей логарифмических относительных поэлементных чувствительностей модуля передаточной функции по реактивным элементам цепи.

В заключение заметим, что аппарат чувствительности достаточно многогранен. Он может способствовать решению широкого круга задач, связанных с анализом влияния малых изменений конструктивных параметров и внешних условий работы на динамику систем, а также синтезу систем, мало чувствительных к изменениям этих факторов. Функции чувствительности представляют собой градиенты показателей качества систем по некоторым совокупностям параметров и характеризуют как саму систему, так и внешнюю среду.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гехер, К. Теория чувствительности и допуска электронных цепей / Пер. с англ. под ред. Ю. Л. Хотунцева. – М. : Сов. радио, 1973.
2. Мезон, С. Электронные цепи, сигналы и системы / С. Мезон, Г. Циммерман. Пер. с англ. под ред. П. А. Ионкина. – М. : ИЛ, 1963.
3. Томович, Р. Общая теория чувствительности / Р. Томович, М. Вукобратович. Пер. с англ. под ред. Я. З. Цыпкина. – М. : Сов. радио, 1972.
4. Розенвассер, Е.Н. Чувствительность систем автоматического управления / Е.Н. Розенвассер, Р.М. Юсупов. – Л. : «Энергия», 1969.

□Авторы статьи:

Соколов
Борис Васильевич
- канд. техн. наук, доц. каф. электроснабжения горных и промышленных предприятий. КузГТУ.
Тел. 8(384-2)39-63-20

Шевцова
Татьяна Геннадьевна
-ст. препод. каф. автоматизации производственных процессов и автоматизированных систем управления. КемТИПП.
Тел. 8(384-2)73-41-20

УДК 621.317.089.68

В.М. Ефременко, О.А. Савинкина, Р.Б. Наумкин

АНАЛИЗ ПОТЕРЬ НАПРЯЖЕНИЯ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Техническое перевооружение сельского хозяйства, внедрение высокотехнологичных процессов получения сельхозпродукции, рост обеспеченности сельского населения электробытовыми приборами требуют достаточного количества электрической энергии соответствующего качества. Одним из показателей качества электроэнергии, регламентируемых [1], является отклонение напряжения, которое не должно превышать в нормальном режиме $\pm 5\%$ (для освещения – $2,5\%$),

а в послеаварийном режиме $\pm 10\%$. При этом следует отметить, что как положительное, так и отрицательное отклонение напряжения сверх допустимого неблагоприятно влияет на электроприемники. Так, у асинхронных двигателей (АД) при снижении напряжения снижается момент, увеличивается скольжение и снижается частота вращения, возрастает ток, что приводит к дополнительному нагреву. Срок службы АД при длительной работе при $U = 0,9U_n$ сокращается вдвое (рис. 1).

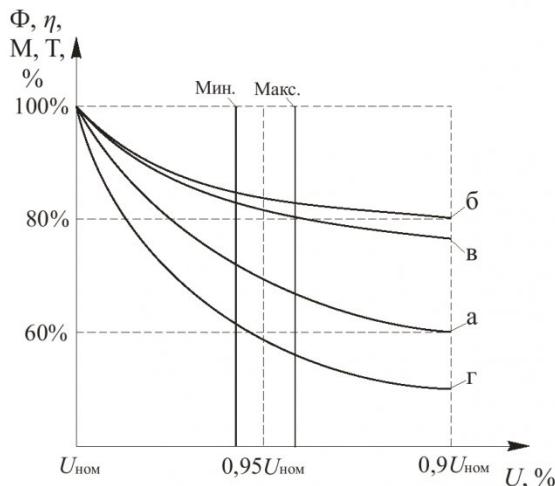


Рис. 1. Зависимости характеристик ЛН и АД от напряжения: а – световой поток ЛН; б – световая отдача ЛН; в – врачающий момент АД; г – срок службы АД

Повышение напряжения приводит к увеличению потребления реактивной мощности (от трех до семи процентов на 1% повышения напряжения) и соответствующим потерям в распределительной сети. При работе ламп накаливания на пониженном напряжении световой поток снижается примерно на 40% при снижении напряжения на 10%; при увеличении напряжения на 10% световой поток увеличивается на 40%, однако срок службы лампы снижается в 3–4 раза. Газоразрядные и люминесцентные, в том числе и КЛЛ (так называе-

мые “энергосберегающие”) менее чувствительны к изменению напряжения: при снижении $U = (0,93..0,95)U_n$ освещенность снижается на 10..15%. Но при снижении напряжения до $(0,8..0,85)U_n$ зажигание таких ламп невозможно.

В точках общего присоединения к сетям напряжением 0,4..10 кВ отклонение напряжения рассчитывается с учетом потерь напряжения в элементах сети (линии, трансформаторы и др.) и необходимости обеспечивать допустимое отклонение напряжения на зажимах электроприемников в режимах наибольшей и наименьшей нагрузки. Согласно [2] напряжение на зажимах электроприемника в режиме наибольшей нагрузке не должно быть меньше $0,95U_n$, а в режиме наименьшей нагрузки превышать U_n .

Потери напряжения на любом участке схемы электрической сети определяются по известным формулам [3]. Так для линий это

$$\Delta U_{ij} = \frac{P_i \cdot R_{ij} + Q_i \cdot X_{ij}}{U_i},$$

а для трансформаторов

$$\Delta U_T = \beta \cdot (U_a \% \cdot \cos \varphi + U_p \% \cdot \sin \varphi) + \frac{\beta^2}{200} \cdot (U_a \% \cdot \sin \varphi + U_p \% \cdot \cos \varphi),$$

где P_i, Q_i – активная и реактивная мощности в начале участка; R_{ij}, X_{ij} – активное и реактивное сопротивления участка ij ; U_i – номинальное напряжение центра питания, β – коэффициент за-

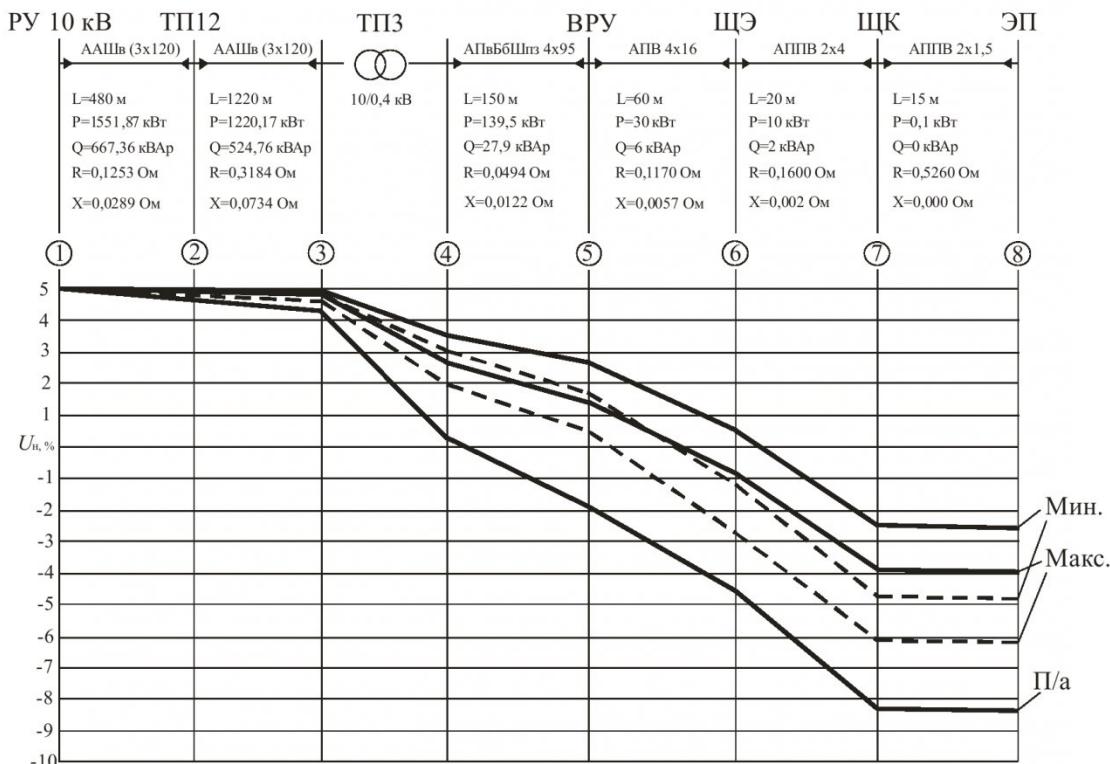


Рис. 2. Изменение относительной величины потери напряжения в распределительной сети, пытающей наиболее удаленный электроприемник:

— нагрузки в 2009 г.; - - - — перспективные нагрузки на 2015 г.

Таблица 1. Потери напряжения в распределительной сети п. Зеленогорский

№ ТП	Потери $\Delta U\%$ в сети при режиме:			Напряжение у электроприемника, В		
	максимал.	минимал.	аварийный	максимал.	минимал.	аварийный
1	5,80	3,61	11,37	206,0	211,1	193,2
2	2,36	0,18	8,17	214,0	219,0	200,6
3	3,95	2,56	7,64	210,3	213,5	201,8
4	1,78	0,51	5,19	215,3	218,3	207,5
5	3,76	2,45	7,27	210,8	213,8	202,7
6	1,53	0,08	5,33	215,9	219,3	207,1
7	1,64	0,19	5,53	215,7	219,0	206,7
8	1,96	0,55	5,65	214,9	218,2	206,4
$U_{\text{доп.}}$				209	209	198

грузки трансформатора; U_a и U_p – активная и реактивная составляющие напряжения КЗ

Проведенный расчет потерь напряжения для восьми трансформаторных подстанций (ТП) мощностью 400..630 кВА поселка Зеленогорский при коэффициенте загрузки трансформаторов 0,35..0,98 показал (табл. 1, рис. 2), что вышеприведенные требования ПУЭ по уровню напряжения не всегда соблюдаются. Так для ТП1 уровень напряжения ниже допустимого как для максимального режима электропотребления, так и для минимального и аварийного для всех электроприемников. Для осветительной нагрузки, основной для жилищно-коммунальной сферы, требования ПУЭ не выполняются для ТП1, ТП3 и ТП5.

Анализ потерь напряжения в различных элементах распределительной сети (рис. 2) показывает, что потери в электрических линиях мало изменяются (\approx на 10%) при изменении нагрузки от минимальной до максимальной, тогда как в трансформаторах эти потери увеличиваются почти вдвое. В соответствии с [4] проектирование вновь сооружаемых электрических сетей должно происходить с учетом увеличения электрических нагрузок на 5% в год. Исходя из этого, проведен расчет прогнозируемой величины потерь напряжения в тех же электрических сетях на перспективный период до 2015г. (пунктирные линии на рис. 2). Очевидно, что с ростом электрических нагрузок растут отклонения напряжения от номинала, и, если при минимальной нагрузке потери напряжения в настоящее время не превышают допустимых, то к 2015 г. прогнозируемое отклонение напряжения превысит допустимое.

Таким образом, и на данный момент не всегда выполняются требования по обеспечению допустимого отклонению напряжения у наиболее удаленных электроприемников, а с учетом перспек-

тивного роста нагрузок ΔU будет увеличиваться, достигая недопустимых значений уже при минимальной нагрузке в сети. Для обеспечения требуемого уровня напряжения на зажимах электроприемников необходимо осуществлять технические мероприятия, которые могут заключаться в регулировании напряжения трансформаторных подстанций, компенсации реактивной мощности, изменении параметров линий (в основном, сечения воздушных и кабельных линий).

Регулирование уровня напряжения в центре питания и у потребителя осуществляется путем изменения коэффициента трансформации с помощью систем переключения витков обмоток трансформатора. Уровень напряжения в центре питания при этом регулируется с учетом обеспечения нормируемого напряжения у приближенных потребителей. Этот способ не всегда реализуем для длинных сельских электрических сетей со значительными потерями напряжения в самих сетях.

Снижение потерь напряжения за счет компенсации реактивной мощности трудно реализуемо для распределенных сельских сетей с преобладанием осветительной и нагревательной нагрузки небольшой единичной мощности. Для осуществления такого способа регулирования напряжения требуется проведение специального технико-экономического анализа.

Наиболее рациональным способом регулирования напряжения в таких сетях, на наш взгляд, является реконструкция самих сетей, заключающаяся в тщательном расчете электрических нагрузок, выборе соответствующего уровня питающего напряжения, сечения и типов проводников, выборе режима работы элементов электрической сети и др. Тем более, как показывает анализ, срок службы большинства сетей составляет 30..50 лет и требуется их реконструкция.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
- Правила устройства электроустановок (ПУЭ) – СПб: Издательство ДЕАН, 2003. – 928 с.
- Солдаткина Л.А. Электрические сети и системы: Учеб. пособие для вузов. – М.: Энергия, 1978. – 216 с.

4. Федеральный закон РФ от 23 ноября 2009 года № 261-ФЗ “ Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ ”

Авторы статьи:

Ефременко
Владимир Михайлович
- канд. техн. наук, ст. научн. сотр., зав.
каф. электроснабжения горных и про-
мышленных предприятий КузГТУ
E-mail: chief@kemcity.ru
Тел. 8-902-756-64-74

Савинкина
Олеся Александровна
- ассистент каф. электро-
снабжения горных и промыш-
ленных предприятий КузГТУ
E-mail: olexya@rambler.ru
Тел. 8-950-579-05-50

Наумкин
Роман Борисович
- студент гр. ЭП-052 КузГТУ.
E-mail: r-naumkin@rambler.ru,
Тел. 8-950-263-50-76

УДК 621.879.34

С.Г.Филимонов, В.А.Старовойтов

К ВОПРОСУ ОБ УПРАВЛЕНИИ РЕСУРСОЕМКОСТЬЮ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ УСТАЛОСТНОГО ПОВРЕЖДЕНИЯ ИХ ДЕТАЛЕЙ

Снижение энерго- и ресурсоемкости продукции и услуг одна из важнейших задач стоящих перед промышленностью и научным сообществом России в настоящее время.

За счет использования регулируемых электроприводов можно снизить на 20-50% потребление электроэнергии в механизмах, в которых электрические двигатели рассчитаны на максимальную нагрузку, а средняя их нагрузка составляет 60-80%.

Кроме экономии электроэнергии, с помощью регулируемого электропривода, параллельно, можно решать задачи по снижению или ограничению динамических механических нагрузок в трансмиссии и рабочих органах машин, повышая тем самым их долговечность (или, другими словами, снижать ресурсоемкость продукции, производимой с помощью этих машин). Управление ресурсом следует рассматривать как неотъемлемую часть процесса управления режимом работы машины, снабженной регулируемым электроприводом.

Для оптимального управления ресурсосбережением необходимо оперативно, в реальном масштабе времени, оценивать интенсивность расхода ресурса рабочей машины в зависимости от ее режима работы, задаваемого регулируемым электроприводом. При этом для решения задачи ресурсосбережения не требуется никаких дополнительных технических средств, т.к. для получения информации о механических напряжениях в элементах конструкции машины и управления режимом работы электродвигателя используются штатные датчики тока, напряжения, частоты вращения ротора, входящие в состав комплекта оборудования регулируемого электропривода.

Ресурс – показатель долговечности, характеризующий запас возможной наработки объекта. Долговечность машиностроительных конструкций определяется воздействием таких процессов как изнашивание, усталость, коррозия. По данным

исследований [1-3], если исключить из рассмотрения выходы из строя деталей машин и конструкций вследствие резких нерасчетных перегрузок, природных воздействий, ошибок при эксплуатации или неблагоприятного сочетания этих факторов, все остальные случаи наступления предельных состояний можно отнести либо к накоплению в материале усталостных повреждений, либо к чрезмерному износу трущихся деталей, находящихся в контакте с рабочей или окружающей средой.

Для несущих металлоконструкций, элементов передаточных механизмов приводов, работающих при высоких переменных нагрузках, до 80% случаев достижения предельного состояния вызвано их усталостным повреждением [1]. Усталостное повреждение, являясь результатом воздействия переменных механических нагрузок, в свою очередь, может служить мерой, позволяющей наиболее объективно оценивать режим работы машины, совершенство ее системы управления, уровень квалификации человека-оператора.

Анализ существующих методов технической диагностики [4] позволяет выделить два основных подхода к решению задачи диагностирования усталостного повреждения деталей машин в процессе эксплуатации:

- диагностирование в пространстве параметров, т.е. определение степени усталостного повреждения элемента конструкции по изменению физико-механических свойств материала деталей;

- диагностирование косвенными методами с помощью моделей процесса усталостного повреждения материала конструкции.

Отличительной особенностью косвенного метода диагностирования усталости от широко применяемых в технической диагностике методов с использованием физических моделей проверяемых объектов, является то, что выходные сигналы объекта (накопленное усталостное повреждение), отсутствует. Поэтому близость состояния объекта