

НЕКОТОРЫЕ ЗАДАЧИ ОБСЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ИХ РЕШЕНИЯ

В.И. Бабич (ЭТК "Джоуль")

При обследовании электрооборудования обычно ставятся задачи определения: надежности и экономичности его работы. Однако принимая во внимание, что отклонения от норм эксплуатационных параметров чреваты большими затратами на внеплановые ремонты, надежность работы оборудования также следует считать экономическим фактором и оценивать экономическими критериями. Таким образом, в данном контексте обследование рассматривается в качестве метода повышения экономической эффективности работы электрооборудования.

Задачи и методы обследования электрооборудования Оптимальная нагрузка трансформаторного парка

При наличии некоторого запаса по установленной мощности трансформаторов по сравнению с мощностью потребителей оптимизация числа включенных трансформаторов может стать сложной задачей. Поскольку потери в трансформаторах складываются главным образом из потерь в магнитной системе (постоянная величина) и потерь в обмотках (пропорциональны квадрату тока), суммарные потери сложным образом зависят от подключенной нагрузки. В литературе даны методы определения оптимального числа параллельно включенных трансформаторов для заданной нагрузки. В табл. 1 показан нетривиальный результат оптимизации набора подключенных трансформаторов по методике¹.

Данный результат справедлив при определенных характеристиках трансформаторов, стабильном напряжении и постоянной нагрузке. В реальности трансформаторы по параметрам отличаются как от паспортных данных, так и друг от друга, напряжение в сети колеблется, а нагрузка носит переменный характер, имеет реактивную составляющую, гармонические искажения и несимметрична по фазам. Все эти факторы существенно затрудняют расчетную оптимизацию.

При наличии электроанализатора и некоторого количества времени оптимизацию можно провести опытным путем. Обычно коммерческий учет на предприятии ведется по высокой стороне (6/10 кВ). В этом случае электроанализатор подключается по низкой стороне и с его помощью проводится запись суточного графика мощности и суммарного потребления активной энергии (назовем ее полезной энергией, E_n). За те же сутки определяется количество потребленной энергии по коммерческим счетчикам E_k . Отношение двух величин определит коэффициент "полезности" $K_n = E_n / E_k$. Такие измерения проводятся при всех возможных комбинациях подключенных трансформато-

ров. Наибольшая величина K_n покажет оптимальную нагрузку трансформаторов. Для большей верности результата лучше провести несколько измерений в одинаковых условиях и набрать статистику. Сравнение K_n допускается только при одинаковых характерах суточных графиков нагрузки. Если имеется несколько различных характерных графиков, то оптимизация проводится для каждого из них. Следует понимать, что K_n может отличаться от истинного КПД трансформатора из-за систематических погрешностей электроанализатора и системы учета. На практике можно даже получить значение $K_n > 1$. Однако конечный результат оптимизации все равно остается правильным, так как систематические погрешности в каждом измерении примерно одинаковы.

Таким образом, оптимизация нагрузки позволяет экономить несколько киловатт на каждом трансформаторе.

Выбор схемы компенсации реактивной мощности

Легко оценить экономический эффект от компенсации реактивной мощности, когда потребитель платит за нее по установленному тарифу. Однако даже в случае отсутствия прямой платы за реактивную энергию компенсация может быть весьма полезной мерой по следующим причинам:

- снижение потерь активной энергии в сетях и трансформаторах;
- уменьшение требуемой мощности трансформаторов и сечения кабелей;
- улучшение качества электроэнергии за счет фильтрации гармоник и импульсных помех.

Обследование с помощью электроанализатора позволяет сделать правильный выбор схемы компенсации реактивной мощности. Первоначально электроанализатор устанавливается на трансформаторной подстанции для записи графика суммарной реактивной мощности. Допускается подключение электроанализатора к точкам коммерческого учета по высокому или низкому напряжению.

Таблица 1

Установлено 3 трансформатора по 630 кВА		Установлены трансформаторы 400 и 630 кВА	
нагрузка, кВА	оптимальный набор	нагрузка, кВА	оптимальный набор
$P < 380$	1*630 кВА	$P < 260$	1*400 кВА
$380 < P < 1180$	2*630 кВА	$260 < P < 450$	1*630 кВА
$P > 1180$	3*630 кВА	$P > 450$	400+630 кВА

¹ Копытов Ю.В., Чуланов Б.А. Экономия электроэнергии в промышленности: Справочник. М.: Энергия. 1978.



Рис. 1

Таблица 2

Нарушения качества электроэнергии	Способы борьбы с ними
Прерывание подачи электроэнергии	Источник бесперебойного питания (ИБП), резервирование
Отклонение напряжения от номинала	Стабилизаторы электрохимические, регулировка трансформаторов
Колебания напряжения и фликер	Стабилизаторы электронные или электрохимические, ИБП
Короткие (коммутационные) импульсы	EMI-фильтры
Несимметрия напряжений	Балансировка трансформаторов, стабилизаторы пофазно-независимые
Гармонические искажения	Пассивные и активные фильтры, фильтрокомпенсирующие установки

На рис. 1 показан типичный график реактивной мощности в цехе, работающем в одну смену. Характер графика говорит о наличии постоянно действующей реактивной нагрузки около 200 квар и переменных нагрузок, достигающих 500 квар в пиковые периоды. Оптимальным решением для такого случая будет установка нерегулируемого компенсатора мощностью 180...200 квар на высокой стороне и одного или нескольких автоматических регулируемых компенсаторов на низкой стороне. Для определения оптимальных мощностей и мест установки автоматических компенсаторов потребуются дополнительные замеры реактивной мощности в различных точках сети.

Таким образом, правильная композиция компенсаторов реактивной мощности снижает их стоимость на 20...50%.

Контроль качества электроэнергии

Качество электроэнергии решающим образом влияет на эксплуатационные расходы современного оборудования, критичного к параметрам электропитания. Обследование системы электроснабжения с помощью электроанализатора позволяет обнаружить и классифицировать события нарушения качества, а также выбрать наиболее подходящий способ борьбы с этими нарушениями (табл. 2).

Для успешного определения нарушений качества электроэнергии электроанализатор должен обладать дополнительными возможностями:

- независимого одновременного измерения фазных и междуфазных напряжений;
- измерения гармонических составляющих напряжения и тока;
- регистрации событий (отклонения и провалы);
- вычисления дозы фликера.

Не экономьте на обследовании качества электроэнергии – основное оборудование значительно дороже.

Контроль и фильтрация гармоник

На таком нарушении качества электроэнергии, как гармонические искажения, следует остановиться подробнее. Если гармоники напряжения являются причиной сбоев чувствительного оборудования, ни у кого не возникает сомнений, что с ними нужно бороться. Однако, если видимых последствий гармоник нет, то они могут оставаться незамеченными в течение длительного времени. Тем не менее, гармоники

далеко не так безобидны, как многие считают, причем внимательно следует относиться к искажениям как напряжения, так и тока.

Принято оценивать отношение полезной энергии к суммарной передаваемой по сетям энергии параметром $\cos\phi$. Это справедливо только для синусоидальных токов и напряжений. При наличии гармоник полная мощность складывается не только из активной и реактивной составляющих, но и из мощности высших гармоник. Поэтому вместо $\cos\phi$ следует применять так называемый коэффициент (фактор) мощности (*Power Factor, PF*). Современные электроанализаторы способны измерять коэффициент мощности напрямую.

Гармоники вызывают следующие нежелательные явления:

- дополнительные активные потери в проводниках, несущих гармонические составляющие тока;
- дополнительные потери в ферромагнитных системах трансформаторов и двигателей;
- перегрузки трансформаторов, вынуждающие завышать запас по установленной мощности;
- перегрузки и выход из строя конденсаторов в установках компенсации реактивной мощности;
- резонансные явления в трансформаторах;
- большие токи нейтрали в четырехпроводных сетях.

Рассмотрим пример. По рекомендациям Европейского комитета по стандартизации CENELEC коэффициент, определяющий необходимый запас мощности трансформатора, рассчитывается по формуле:

$$K = \sqrt{1 + \frac{e}{1+e} \left(\frac{I_1}{I_{RMS}} \right)^2 \sum_{n=2}^{40} n^q \left(\frac{I_n}{I_1} \right)^2},$$

где I_1 – основная гармоника тока, I_{RMS} – истинное среднеквадратичное значение тока, n – номер гармоники, e, q – коэффициенты, зависящие от составляющих потерь в меди и железе трансформатора (в первом приближении можно принять $e = 0,3$; $q = 1,75$). Измерения с помощью электроанализатора дают: $K = 1,7$; $\cos\phi = 0,8$. Номинальная мощность трансформатора 1000 кВА. Реальная активная нагрузка, которая может быть подключена к трансформатору: $P = 1000 \times 0,8 / 1,7 = 470$ кВт.

Этот пример подтверждает, что полезная мощность трансформатора существенно снижается в присутствии гармоник тока. Отметим, что приведенная методика требует знания спектра гармоник тока до 40 порядка. Необходимо учитывать это требование при выборе электроанализатора.

Таким образом, хороший анализатор измеряет коэффициент мощности и не менее 40 гармоник тока и напряжения.

Выбор способа оптимизации электропривода

Существует множество способов повышения эффективности электропривода. В качестве иллюстрации приведем упрощенную экспертную систему для выбора технического решения модернизации привода по его условиям эксплуатации (рис. 2).

Очевидно, что для правильного выбора технического решения большое значение имеют результаты обследования нагрузок и режимов работы электродвигателей. Такое обследование проводят с помощью электроанализатора, регистрируя график активной электрической мощности двигателя. Длительность регистрации составляет от одной смены до нескольких суток. Одновременно записываются значения междофазных и фазных напряжений для контроля симметричности питающей сети, а также реактивной мощности и $\cos \varphi$ для выбора способа компенсации реактивной мощности.

Вывод. Предварительный мониторинг режима работы поможет окупить затраты на модернизацию привода.

Контроль утечек тока

Помимо прямых потерь энергии утечки тока на землю вызывают и другие неприятные явления. При нарушении изоляции может появиться потенциал на плохо заземленных корпусах оборудования, что чревато его выходом из строя или поражением людей. Иногда утечки образуют контуры тока с большой площадью, охватывающие помещения или даже здания целиком. В таких случаях в помещении возникает электромагнитное поле, вызывающее помехи в работе оборудования. Если на экранах мониторов компьютеров или телевизоров наблюдается дрожание картинки, не устранимое никакими манипуляциями с питанием, то с большой вероятностью причиной является утечка тока из электросети на землю.

Например, компьютерный салон-магазин испытывал трудности с продажей мониторов, поскольку на экранах ЭЛТ-мониторов в демонстрационном зале наблюдались волнообразные искажения раstra, которые покупатели принимали за дефект. Искажения оставались даже при переключении компьютеров на питание от ИБП. На матричных мониторах искажения не наблюдались. Причина заключалась в утечке тока с одной из фаз питающей сети в распределительном щите.

Потери энергии легко рассчитываются при известном токе утечки. $P_n = I_y \times U_{\phi}$, где P_n — мощность потерь, I_y — ток утечки, U_{ϕ} — фазное напряжение. В действительности суммарная мощность утечек может достигать нескольких киловатт в здании среднего размера. Для измерения тока утечки можно использовать токоизмерительные клещи достаточной чувствительности (желательно не менее 100 мА). Обычно ток утечки измеряется дифференциальным методом, при котором клещи охватывают все проводники кабеля (две жилы в однофазной сети, 3...4 жилы — в трехфазной). В этом случае при отсутствии утечек суммарный ток в кабеле всегда равен нулю, поэтому клещи будут измерять величину утечки. Место утечки обнаруживается при

последовательном продвижении по точкам разветвления электросети в направлении от источника к потребителям энергии. Клещи для измерения утечек должны иметь окно достаточного размера, чтобы захватывать кабель нужного диаметра. В практике очень удобны гибкие датчики тока, представляющие собой эластичный сердечник, охватывающий кабель.

Клещи для измерения тока утечки могут быть выполнены в виде самостоятельного прибора с индикатором, однако их функции с успехом может выполнить универсальный электроанализатор.

Приборы для обследования электрооборудования

В качестве основного прибора для обследования электрооборудования рассмотрим анализатор параметров количества и качества электроэнергии. Он абсолютно необходим для решения задач по оптимизации работы электрооборудования на достаточно высоком уровне.

Анализаторы параметров качества электроэнергии

Как можно понять из приведенных выше примеров, основным прибором при обследовании электрооборудования является электроанализатор, правильнее называемый анализатором параметров качества электроэнергии.

Электроанализаторы предназначены для измерения и регистрации параметров количества и качества потребляемой электроэнергии, на основании которых делаются выводы об эффективности использования энергии, предлагаются и обосновываются энергосберегающие технические решения.

Универсальные электроанализаторы чаще всего рассчитаны на применение в трехфазных несимметричных сетях 220/380 В, поэтому они заведомо применимы в симметричных трехфазных сетях и тем более в однофазных. Многие модели электроанализаторов можно подключать и к высоковольтным сетям через измерительные трансформаторы тока и напряжения. Для этого приборы оснащаются специальными шунтами.

Электроанализатор подключается к сети с помощью датчиков тока (по 1 ед. на фазу) и потенциальных проводов (по 1 ед. на фазу и 1 ед. на нейтраль, если таковая имеется). Таким образом, прибор имеет

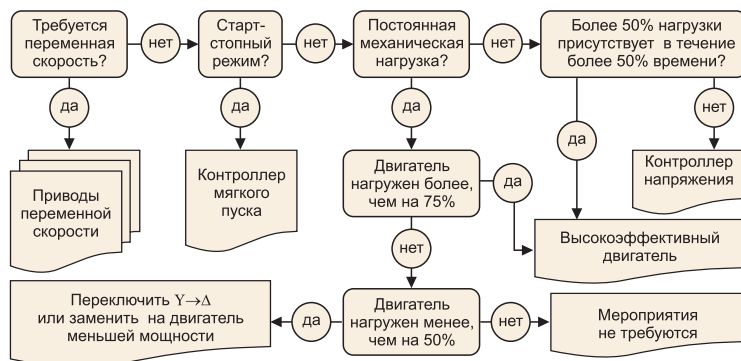


Рис. 2

6 измерительных каналов (3 ед. по току и 3 ед. по напряжению), по которым поступает вся необходимая информация.

Датчики выпускаются различных номиналов (от единиц до тысяч ампер). Конструктивно они выполняются в виде клещей или гибких разъемных колец. Максимально возможный ток в обследуемой сети должен примерно соответствовать номиналу датчика, при этом будет достигаться максимальная точность измерений.

По измеренным сигналам микропроцессор прибора рассчитывает множество параметров, на основании которых можно судить о количестве и качестве потребляемой или генерируемой энергии.

В типичный набор параметров, определяемых электроанализатором, входят: напряжения, токи, активная и реактивная мощность, активная и реактивная энергия, $\cos\phi$, частота. Ряд параметров рассчитываются отдельно по каждой фазе и суммарно по всем фазам. Кроме текущих параметров фиксируются их средние, максимальные и минимальные значения. Анализаторы также определяют параметры качества энергии: спектры гармоник токов и напряжений, коэффициент фликера, фиксируют отклонения и провалы напряжения, импульсные помехи и т.д.

Рассчитанные параметры выводятся на дисплей прибора в РВ и могут быть записаны в память с целью последующего воспроизведения и анализа. Все анализаторы оснащены устройствами связи, дающими возможность перенесения накопленных данных на компьютер. Как правило, электроанализаторы снабжаются специализированным ПО для визуализации, обработки и анализа накопленной информации.

При выборе прибора следует учитывать ряд требований, которые облегчают его практическое использование:

- портативный прибор должен иметь вес ≤ 6 кг в комплекте;

- прибор должен обладать простотой и оперативностью использования, т.е. обеспечивать установку на любой объект и ввод в режим измерений в течение нескольких минут, иметь простое и удобное управление, не требовать сложных настроек и т.д.;

- регистрирующий прибор должен обеспечивать надежное хранение и легкий доступ к данным. Носитель данных должен быть электронным (энергонезависимая память), магнитные носители нежелательны;

- электроанализатор должен быть внесен в реестр средств измерений Госстандарта РФ.

Всем этим характеристикам соответствует, например, электроанализатор UPM 6100 (рис. 3) производства Algodue (Италия). Прибор спосо-



Рис. 3

бен регистрировать следующие параметры: напряжение каждой фазы и их среднее значение; токи каждой фазы и усредненный результат; частота сети; $\cos\phi$ и коэффициент мощности в каждой фазе; трехфазный коэффициент мощности; активную, индуктивную и емкостную мощности (по фазам и суммарно) и виды энергии; до 50 гармоник напряжения и тока; пики, провалы напряжения; коэффициент фликера. Перечисленные параметры измеряются и записываются в память с периодичностью 1с...6ч. Прибор с помощью встроенного принтера позволяет распечатывать отчеты. Полученные данные переносятся на ПК и анализируются с помощью специализированного ПО.

Технические характеристики UPM 6100

Число фаз, ед.....	3
Максимальное напряжение, В.....	600 (при прямом включении)
Максимальный ток, А.....	5...3000 (определяется клещами)
Класс точности по току и напряжению.....	0,2
Класс точности по мощности и энергии.....	1,0
Устройство отображения.....	графический ЖК-дисплей
Связь с компьютером.....	порт RS-232
Программное обеспечение.....	под ОС Windows
Питание, В.....	220 или встроенный аккумулятор
Масса, кг.....	6,0

Бабич Владимир Иванович — канд. техн. наук, ген. директор ЭТК "Джоуль".

Контактный телефон (495) 363-18-67. [Http://www.joule.ru](http://www.joule.ru)

Новые модули ЗАО "ЭМИКОН"

Закрытым акционерным обществом "ЭМИКОН" разработаны новые модули СИ-05А и СИ-06А.

Модуль СИ-05А предназначен для ретрансляции и согласования протяженных линий передачи данных интерфейса RS-485 в распределенных системах управления ТП. Модуль обеспечивает: информационный обмен по трем каналам интерфейса RS-485; автоматическое управление направлением информационных потоков; максимальную скорость передачи данных 576000 бод; возможность подключить к модулю до 32 устройств по каждому каналу. Гальваническая изоляция каналов ≥ 500 В, напряжение питания 24 В $\pm 2\%$; габаритные размеры 114×102×25 мм. Корпус модуля имеет крепления для установки на стандартный DIN-рельс.

Модуль СИ-06А предназначен для подключения к ЛВС типа Ethernet устройств, содержащих последовательный интерфейс RS-485. Модуль обеспечивает: преобразование интерфейса Ethernet в RS-485 (тип преобразователя — Xport фирмы LANTRONIX); индикацию состояния каналов модуля; скорость передачи данных ≤ 230400 бод. Число независимых каналов — 2 ед.; гальваническая изоляция каналов должна соответствовать пробивному напряжению ≥ 500 В; питание модуля должно осуществляться от внешнего стабилизированного источника постоянного тока напряжением 24 В $\pm 2\%$; габаритные размеры 114×102×25 мм. Корпус модуля имеет крепления для установки на стандартный DIN-рельс.

[Http://www.emicon.ru](http://www.emicon.ru)