НОВЫЙ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗАТОР ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ND45 ПРОИЗВОДСТВА LUMEL S. A.

ВИКТОР АЛЕКСЕЕВ, К. Ф.-М. Н.

Качество электроэнергии (КЭ) для электрических сетей переменного трехфазного и однофазного тока является одной из наиболее важных проблем современной электроэнергетики. Для профессиональной оценки характеристик КЭ необходимо комплексное измерение многочисленных параметров. Такие измерения представляют собой достаточно сложный процесс, для выполнения которого необходимо современное оборудование, совмещающее функции отдельных измерительных приборов. Оптимальным вариантом оборудования, предназначенного для оценки КЭ, с точки зрения соотношения цены и качества является новый универсальный анализатор систем электроснабжения с сохранением измеренных значений ND45 производства LUMEL S. A.

КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

Качество электроэнергии для электрических сетей переменного трехфазного и однофазного тока частотой 50 Гц регламентировано государственными стандартами: ГОСТ 32144-2013, ГОСТ 33073-2014, ГОСТ Р 54130-2010, ГОСТ 33073-2014, ГОСТ 13109-97, ГОСТ IEC/TR 61000-3-6-2020 и другими нормативными документами.

РИС. 1. ▶ Внешний вид анализатора ND45

Отклонение от этих стандартов может вызвать такие нежелательные явления, как, например:

- нарушение предельно допустимых значений потребляемой мощности, приводящее к выходу оборудования из строя;
- перегрев электродвигателей, вызывающий разрушение изоляции и возгорание;
- сбои и ложные срабатывания систем аварийной автоматики и устройств релейной защиты;
- сбои управляющей электроники жизненно важных объектов;
- некорректная работа электросчетчиков;
- выход из строя бытового оборудования.

Для оценки характеристик КЭ необходимо комплексное измерение параметров. Измеряемые величины, методика измерений и оценки КЭ подробно описаны в ГОСТ 30804.4.30-2013 (IEC 61000-4-30:2008). Это достаточно сложный процесс, для выполнения которого необходимо современное профессиональное оборудование, например цифровые вольтметры и амперметры переменного тока, токоизмерительные клещи, частотомеры, фликерметры, счетчики электрической энергии и другие аналогичные приборы.

С другой стороны, в последние годы появились приборы, сочетающие функции перечисленного оборудования и разработанные специально для определения КЭ. Оптимальным вариантом оборудования, используемого для определения КЭ, с точки зрения соотношения цены и качества является новый универсальный анализатор систем электроснабжения с сохранением измеренных значений ND45 производства LUMEL S. A.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОГО АНАЛИЗАТОРА ND45 ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

В конце 2020 года фирма LUMEL S. A. сообщила о старте поставок нового многофункционального анализатора параметров систем электроснабжения ND45 (Power network analyzer/recorder ND45) [7]. Модель ND45 (рис. 1) пришла на смену ана-

лизатору ND40, поставки которого прекращены с 2021 года [8].

Анализатор позволяет измерять среднеквадратичные значения тока и напряжения с учетом заданных коэффициентов трансформации измерительных трансформаторов. Также рассчитывается значение тока в нейтральном проводе и определяются гармоники по напряжению и току. С помощью этого анализатора определяются активная, реактивная и полная мощность, а также коэффициенты мощности. Значение каждой измеренной величины может быть передано в управляющую систему через интерфейс RS-485 и сохранено на SD-карте.

Из наиболее важных технических характеристик анализатора ND45, прежде всего, можно отметить следующие:

- полное соответствие международным и российским стандартам в области контроля качества электроэнергии;
- непрерывные мониторинговые измерения в реальном времени по классу А с усреднением для интервалов в 3 с;
- непрерывные экспертные измерения по классу S с усреднением для интервалов 10 мин и 2 ч;

ТАБЛИЦА 1. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ, ИЗМЕРЯЕМЫХ АНАЛИЗАТОРОМ ND45

Параметр	Символ	Диапазон	Неопределенность	
			Класс А	Класс S
Среднеквадратичное RMS напряжение. Усреднение: 200 мс, 1 с	Urms L1, Urms L2, Urms L3, Uavg L123	Un = 230 В: 23–345 В (Ku = 1) до 1,38 МВ (Ku ≠ 1) Un = 57,7 U: 5,7–70 В (Ku = 1), до 280 кВ (Ku ≠ 1)	±0,2% Udin	
Усреднение: 3 с, 10 мин, 2 ч			±0,1% Udin	±0,2% Udin
Напряжение RMS основное Усреднение: 200 мс, 1 с, 3 с, 10 мин, 2 ч	Ufund L1, Ufund L2, Ufund L3, Ufavg L123	Un = 230 В: 23–345 В (Ku = 1) до 1,38 МВ (Ku ≠ 1) Un = 57,7 U: 5,7–70 В (Ku = 1), до 280 кВ (Ku ≠ 1)	±0,2% Udin	
Линейное напряжение Усреднение: 200 мс, 1 с, 3 с, 10 мин, 2 ч	Umf L1-2, Umf L2-3, Umf L3-1, Umf avg L123	Un = 400 В: 40–600 В (Ku = 1) до 2,4 МВ (Ku ≠ 1) Un = 100 U: 10–120 В (Ku = 1), до 480 кВ (Ku ≠ 1)	±0,5% Unmf	
Асимметрия напряжения Усреднение: 200 мс, 1 с, 3 с, 10 мин, 2 ч	Vunb	0–100%	±0,3%	
Напряжение полупериода Усреднение: 200 мс	Uhalf1 L1, Uhalf24 L1, Uhalf1 L2, Uhalf24 L2, Uhalf1 L3, Uhalf24 L3.	Un = 230 В, U: 23–345 В (Ku = 1) до 1,38 МВ (Ku ≠ 1) Un = 57,7 U: 5,7–70 В (Ku = 1), до 280 кВ (Ku ≠ 1)	±0,2% Udin	±1% Udin1
Гармоники, Усреднение: 1 с	Har1 UL1 … Har51 UL1, Har1 UL2 … Har51 UL2, Har1 UL3 … Har51 UL3	0–100%	$U_m \geq 1\% U_{nom}$ ±5% U_m $U_m < 1\% U_{nom}$ ±0,05% U_{nom}	
Дополнительные интервалы измерения напряжения. Усреднение: 15, 30, 60 мин	U Demand	Un = 230, U: 23–345 В (Ku = 1) до 1,38 МВ (Ku ≠ 1) Un = 57,7 U: 5,7–70 В (Ku = 1) до 280 кВ (Ku ≠ 1)	±0,1% Udin	
Ток RMS, усреднение: 200 мс,1 с	Irms L1, Irms L2, Irms L3, Iavg L123	In = 5 А: 0,05–7,5 А (Ki = 1) до 150,0 кА (Ki ≠ 1) In = 1 А : 0,01–1,5 А (Ki = 1) до 30,0 кА (Ki ≠ 1)	±0,2% In	
Ток RMS, усреднение: 3 с, 10 мин, 2 ч			±0,1% In	±0,2% In
Нейтральный измеренный ток, усреднение: 1 с, 3 с, 10 мин, 2 ч	IN	In = 5 А: 0,05–7,5 А (Ki = 1) до 150 кА (Ki ≠ 1) In = 1 А : 0,01–1,5 А (Ki = 1) до 90 кА (Ki ≠ 1)	±0,5% In	
Нейтральный рассчитанный ток, усреднение: 1 с, 3 с, 10 мин, 2 ч	INC	In = 5 А: 0,15–22,5 А (Ki = 1) до 450,0 кА (Ki ≠ 1) In = 1 А : 0,03–4,5 А (Ki = 1) до 450 кА (Ki ≠ 1)	±0,2% In	
Гармоники, усреднение: 1 с	Har1 IL1, Har51 IL1, Har1 IL2, Har51 IL2, Har1 IL3, Har51 IL3	0–100%	$I_m \geq 3\% I_{nom}$ ±5% I_m $I_m < 3\% I_{nom}$ ±0,15% I_{nom}	
Частота, усреднение: 1 с, 10 с	f	Основной 50 Гц: 42,5–57,5 Гц, дополнительный 60 Гц: 51–69 Гц	±0,05% Гц	
Перенапряжения Провалы Прерывания f = 50 Гц 10 мс, f = 60 Гц 8,3 мс	Swell Dip Interrupt	Un = 230 В, U: 23–345 В (Ku = 1), до 1,38 МВ (Ku ≠ 1) Un = 57,7 В U: 5,7–70 В (Ku = 1) до 280 кВ (Ku ≠ 1)	±0,2% Udin	±1% Udin

Примечание. В таблице использованы следующие обозначения:
- Погрешность измерения по отношению к значению Udin согласно PN-EN-61000-4-30.
- Диапазон Ku = 1–4000 и Ki = 1–20000.
- Udin — значение, полученное из заявленного напряжения питания Uc = Un по коэффициенту трансформации согласно PN-EN-61000-4-30.
- Im, Um — измеренные значения токов и напряжений в соответствии с PN-EN-61000-4-7.
- Inom, Unom — номинальные токи и напряжения в соответствии с PN-EN-61000-4-7.
- In, Un — номинальные значения токов и напряжений согласно PN-EN-61000-4-30.

ТАБЛИЦА 2. ПАРАМЕТРЫ, КОТОРЫЕ МОГУТ БЫТЬ ПОЛУЧЕНЫ С ПОМОЩЬЮ АНАЛИЗАТОРА ND45 ДОПОЛНИТЕЛЬНО К ИЗМЕРЕНИЯМ, ПРИВЕДЕННЫМ В ТАБЛИЦЕ 1 (ИНТЕРВАЛЫ ИЗМЕРЕНИЙ: 200 МС, 1 С, 3 С, 10 МИН, 15 МИН, 30 МИН, 1 Ч, 2 Ч)

Интергармоники	IHar ULi (до 51-й)
Коэффициент искажений напряжений и тока (U/I)	THD U
Коэффициент искажения группы гармоник (U/I)	THDS U
Коэффициент искажения подгруп гармоник (U/I)	THDG U
Частично взвешенный коэффициент искажения (U/I)	PWHD U
Активная потребляемая и генерируемая энергия	EnP±
Реактивная (L/C), генерируемая и потребляемая энергия	EnQ±
Полная энергия генерируемая и потребляемая	∑EnS±
Активная, полная, реактивная (емкостная и индуктивная) мощность	P ±, Q ±, ∑S ±
Коэффициент искажения мощности	dPF
Коэффициент активной мощности	PF
Коэффициент tgφ	tgφ
Угол между напряжением и током	φ
Угол между фазными напряжениями	∢ U
Температура/Сопротивление	T1, Ω

Примечание. В таблице символ ± означает потребляемое (положительное) и генерируемое (отрицательное) значения. Приведенные параметры определяются для всех линий L1, L2, L3.

- возможность использования как в 3-, так и в 4-проводных, 3-фазных, симметричных и несимметричных сетях;
- непрерывная запись измерений в реальном времени с фиксацией и маркировкой провалов, перенапряжений и пропадания напряжений;
- программируемые режимы записи событий;
- запись до 32 Гбайт данных на SD-карту памяти;
- отправка сообщения по электронной почте при возникновении сигнала тревоги;
- поддержка протоколов HTTP, TCP/IP, FTP-сервер, DHCP-клиент;
- возможность обмена информацией с внешним веб-сервером;
- встроенные интерфейсы RS-485, Modbus Slave, Ethernet 100, Base-T (Modbus), USB;
- цветной сенсорный экран LCD TFT 5,6" 640×480 пикселей;
- степень защиты: IP65;
- синхронизация RTC-часов с сервером времени NTP;
- анализ гармоник тока и напряжения до 51-ой включительно по классу I (в соответствии с EN 61000-4-7);
- 4-квадрантное измерение электроэнергии;
- измерение фликера;
- измерения экстремумов U, I, P, Q, S;
- шесть аналоговых выходов 0/4–20 мА;
- импульсные входы для подключения до 6 внешних счетчиков;
- дополнительный диапазон измерений сетевого напряжения 3×69,3/120 В.

Последние семь из перечисленных характеристик ND45 являются новыми по сравнению со снятым с производства анализатором ND40.

В таблице 1 приведены технические характеристики основных параметров, измеряемых анализатором ND45.

Анализатор ND45 имеет встроенный процессор, позволяющий обрабатывать, усреднять, группировать и сохранять в памяти результаты измерений, которые отмечены в таблице 1. На основе полученных экспериментальных данных встроенный процессор вычисляет теоретические характеристики переменного тока с использованием достаточно сложного математического аппарата, например преобразований Фурье, функций комплексной переменной и т. д. В таблице 2 перечислены параметры, которые могут быть получены с помощью анализатора ND45 дополнительно к измерениям, приведенным в таблице 1.

Методы измерений, способы усреднения и порядок расчета показателей качества электроэнергии определены в стандарте IEC 61000-4-30-2017.

Подробнее:

Базовые показатели качества электроэнергии для РФ регламентированы в стандарте ГОСТ 32144-2013.

Подробнее:

Сравнение данных таблиц позволяет говорить о том, что анализатор ND45 может быть использован для оценки коэффициента качества однофазных и трехфазных сетей общего пользования в полном соответствии с действующими российскими и международными документами. С помощью многофункционального анализатора ND45, совмещающего функции учета электроэнергии и измерения ее параметров, можно организовать непрерывный мониторинг сетей электроснабжения, гарантирующий получение точных и корректных оценок КЭ.

Перечисленные в стандарте ГОСТ IEC/TR 61000-3-6-2020 параметры, необходимые для оценки эмиссии в указанной точке оценки, могут быть получены с помощью анализатора ND45. Это позволяет говорить о том, что анализатор ND45 может быть использован также для выявления и анализа сетевых наводок, обусловленных подключением к сети мощных установок с нелинейными нагрузками.

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ УНИВЕРСАЛЬНОГО АНАЛИЗАТОРА ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ ND45

Анализатор ND45 разработан для измерения, обработки и хранения на SD-карте параметров трехфазной,

3- или 4-проводной электрических сетей в симметричных или несимметричных системах.

Сигналы измеряемых линий электросетей можно подключать к анализатору ND45 по перечисленным ниже схемам:

- 3-проводная сеть; прямое измерение;
- 3-проводная сеть; полупрямое измерение;
- 3-проводная сеть; косвенное измерение с использованием двух трансформаторов тока и двух или трех трансформаторов напряжения;
- 4-проводная сеть; прямое измерение;
- 4-проводная сеть; полупрямое измерение;
- 4-проводная сеть; полупрямое измерение с использованием четырех трансформаторов тока;
- 4-проводная сеть; косвенное измерение с использованием трех трансформаторов тока и двух или трех трансформаторов напряжения;
- 4-проводная сеть; косвенное измерение с использованием четырех трансформаторов тока и двух или трех трансформаторов напряжения.

Подробные схемы подключения приведены в инструкции по эксплуатации ND45 [25]. В качестве примера на рис. 2 приведена схема подключения в случае полупрямого измерения параметров 4-проводной сети с использованием четырех трансформаторов тока.

Разъем RJ-45 используется для подключения к сетям LAN или WAN. Интерфейс Ethernet позволяет использовать такие веб-сервисы, как веб-сервер, FTP-сервер, Modbus TCP/IP. Этот интерфейс контролируется двумя светодиодами: желтый светодиод загорается, когда ND45 правильно подключен к сети Ethernet, а зеленый диод Tx/Rx загорается при обмене информацией.

В анализаторе имеется последовательный интерфейс RS-485, с помощью которого осуществляется связь с внешним компьютером и с другими контроллерами, выполняющими функцию Master. Асинхронный, коммуникационный протокол Modbus, реализованный на последовательном порте, соответствует спецификации Modicon PI-MBUS-300 Rev G.

В настройках Modbus RTU определяется тип кадра передачи по RS-485, скорость передачи, ID-идентификатор устройства в сети Modbus, задержка ответа и вынужденная задержка времени отклика.

В окне конфигурации Modbus TCP имеется возможность корректировать ID-идентификатор устройства в сети Modbus TCP/IP, включение режима Modbus TCP/IP и порт TCP/IP Modbus. В режиме Modbus RTU реализованы функции «03, 04 — регистры чтения» (общее адресное пространство), а также функция «17 — идентификация устройства».

Анализатор имеет два интерфейса USB: для подключения к хосту (разъем USB) и для подключения внешнего устройства (разъем мини-USB-устройство).

Интерфейс USB-Host предназначен для обмена информацией между SD-картой и устройством, подключенным к USB-хосту.

Информация в анализаторе ND45 сохраняется на SD-карте емкостью 32 Гбайт. Все архивные файлы данных и журналы (но не более 20 Мбайт) первоначально записываются во внутреннюю память анализатора, а затем переносятся в виде файлов специального формата на SD-карту. В случае отключения электроэнергии гарантируется максимум 1 Мбайт данных, сохраненных во внутренней памяти. Доступ к SD-карте с уровня ND45 можно получить через веб-сервер, FTP-сервер или встроенный диспетчер файлов.

Релейные выходы, сконфигурированные как нормально разомкнутые (NO), сигнализируют о выходе выбранной величины из измерительного диапазона.

Программное обеспечение анализатора позволяет менять настройки для отдельных аварийных сигналов, включая источник и тип, а также те условия, при которых включаются сигналы тревоги. При этом на экране анализатора в соответствующем разделе появляется сообщение о характере возникнувшей аварии.

В анализаторе ND45 предусмотрены две группы из трех двоичных входов с общим заземлением, с частотой переключения до 4 Гц. Эти входы позволяют подключать до шести внешних импульсных счетчиков.

Двоичные входы BI1–BI6 управляются сигналами:

- 0 В: двоичный вход неактивен;
- 5–24 В: активный двоичный вход;
- 8–24 В: вход подсчета (высокий уровень).

Импульсные выходы могут также использоваться для проверки потребления 3-фазной активной и реактивной энергии.

Анализатор ND45 может быть использован в качестве профессионального счетчика расхода электроэнергии. Кроме того, что анализатор позволяет проводить измерения активной, реактивной и полной мощности, он поддерживает 4-квадрантные измерения электроэнергии и дифференцированные тарифы в разное время суток. Также существует возможность

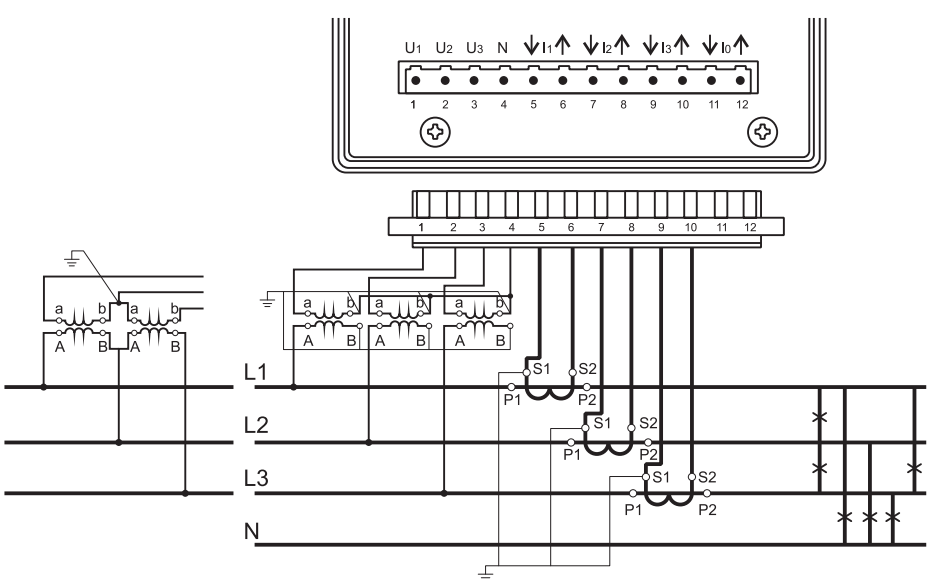


РИС. 2. ▼ Схема подключения анализатора ND45 к силовым линиям в случае измерений параметров 4-проводной сети с использованием четырех трансформаторов тока

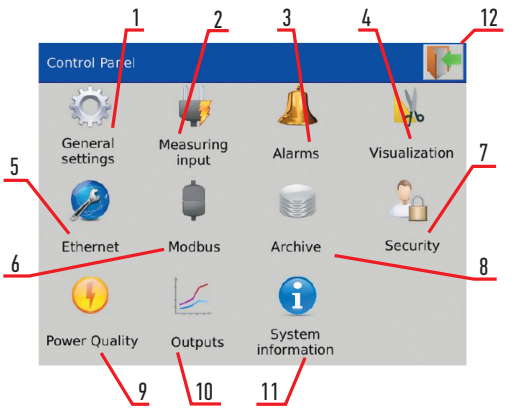


РИС. 3. ▲ Панель управления анализатора ND45

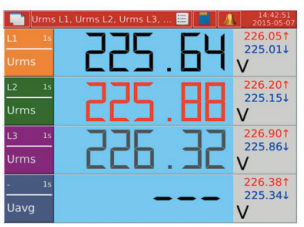


РИС. 4. ▶ Информационное окно с текущими значениями Urms, измеряемыми в интервале 1 с

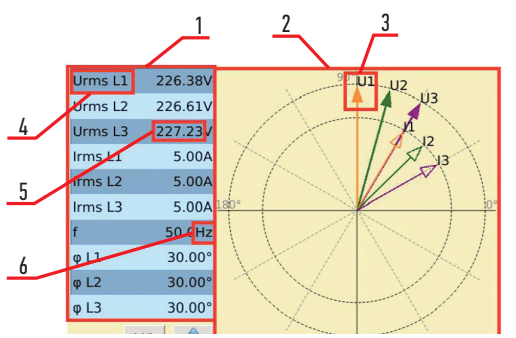


РИС. 5. ▲ Векторная диаграмма, полученная по результатам измерений напряжений, токов и частоты (Urms, Irms, f)

РИС. 6. ▼ Для удобства оператора при длительном мониторинге параметров сетей предусмотрен вывод текущей информации в аналоговом виде

оценки потерь энергии в трансформаторах и в линиях.

Управление и программирование анализатора ND45 осуществляется с помощью сенсорного экрана. Основное меню содержит три группы элементов: навигационные, функциональные и информационные окна.

На рис. 3 показана панель управления анализатора ND45.

На рис. 3 цифрами обозначено:

1. Общие настройки анализатора: дата, время, настройки отображения и т. д.
2. Конфигурация измерительных входов: трансформаторы, диапазоны измерения, частоты, датчики температуры/сопротивления и т. д.
3. Настройки аварийных сигналов: определение источника, условия аварии, срабатывание реле, аварийные сообщения по электронной почте, информирование о событиях.
4. Настройки вида окон, создание пользовательских вариантов.
5. Настройка идентификации анализатора в сети Ethernet, настройка FTP-, WWW-, SMTP-серверов и электронной почты.
6. Настройки Modbus RTU, TCP/IP и других протоколов связи.
7. Настройка параметров и условий архивирования.
8. Безопасность, установка паролей и прав доступа.
9. Установка параметров провалов, прерываний, перенапряжений и выбросов.
10. Конфигурация параметров аналоговых выходов и реле.
11. Информация о модели анализатора и ПО.
12. Сохранение изменений конфигурации, экспорт настроек в файл.

С помощью виртуальной клавиатуры можно вводить строчные и прописные буквы, цифры, специальные символы. В окнах навигации — контролировать и менять параметры измерений и их визуализации. Например, информационное окно со всеми значениями Urms, измеряемыми в интервале 1 с, показано на рис. 4.

На рис. 4 цифрами обозначены:

1. Пример правильного измеренного значения, который содержит все измерения компонентов, необходимые для агрегирования значений.
2. Тревога, связанная с отображаемым значением.
3. Значение было неправильно рассчитано. Измерение является неполным для агрегации.
4. Неверное значение или отсутствие значения.

С помощью сенсорного экрана можно задавать параметры измеряемых и вычисляемых величин, а также выводить полученные значения на экран в графическом виде. На рис. 5 показана векторная диаграмма, полученная по результатам измерений напряжений, токов и частоты (Urms, Irms, f).

На рис. 5 цифрами обозначены:

1. Сводная таблица значений, представленных на векторной диаграмме.
2. Главное окно, содержащее векторную диаграмму.
3. Измеряемый параметр, содержащий указание значения угла и метки с описанием.
4. Описание измеренного параметра с дополнительной информацией о фазе.
5. Значение измеряемого параметра в цифровой форме.
6. Блок, описывающий выбранный измеренный параметр.

Для удобства оператора при длительном мониторинге параметров сетей предусмотрен вывод текущей информации в аналоговом виде (рис. 6).

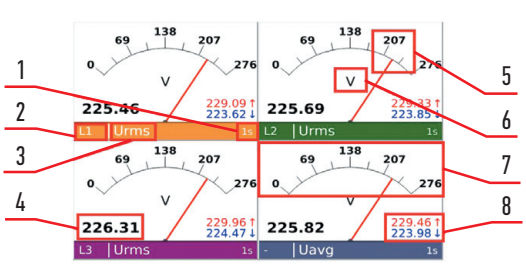
На рис. 6 цифрами обозначены:

1. Время агрегирования представленного значения.
2. Дополнительная информация, описывающая фазу, связанную с представленным значением.
3. Описание представленного параметра.
4. Измеренное значение в цифровой форме.
5. Аналоговый индикатор, представляющий значение измеренного параметра.
6. Единица, описывающая измеренное значение.
7. Шкала аналогового дисплея для представленного измеренного значения.
8. Минимальное и максимальное значения.

В анализаторе ND45 предусмотрено несколько вариантов учета расхода электроэнергии. В одних вариантах рассчитываются значения потребленной электроэнергии по показаниям, измеренным непосредственно анализатором ND45. В других случаях используются данные, полученные от подключенных к импульсным входам анализатора ND45 внешних счетчиков электроэнергии.

В анализаторе ND45 предусмотрено проведение 4-квадрантных измерений. При этом определяются параметры, приведенные в таблице 3.

Активная мощность (Active power — P) измеряется в ваттах (Вт). Иногда эту величину также называют реальной мощностью (real power). Это мощность, которую фактически



потребляют все электроприборы. Рассматривается два вида: активная потребляемая и активная генерируемая. В таблице 3 приведены названия различных типов энергии переменного тока. Энергия переменного тока определяется как произведение мощности на время — например, активная мощность измеряется кВт·ч.

Реактивная энергия EnQ измеряется в реактивных вольт-амперах/час (вар·ч — Varh). Эта энергия накапливается в емкостях и называется «реактивная потребляемая емкостная (EnQ+⊣⊢)». Также она накапливается в индуктивностях — «реактивная индуктивная потребляемая (EnQ+⌇)». Затем реактивная энергия частично возвращается к источнику в конце цикла переменного тока, через емкости — «реактивная генерируемая емкостная (EnQ–⊣⊢)» и через индуктивности — «реактивная индуктивная генерируемая (EnQ–⌇)».

Полная мощность S (Apparent power) измеряется в вольт-амперах (В·А) и определяется как произведение действующих значений напряжения и тока — Urms × Irms. Если записать полную мощность в векторном виде S = P + jQ, где реактивная мощность Q, в единицах реактивные вольт-амперы (V·Ar), откладывается по оси ординат, а реальная мощность P в ваттах откладывается по оси абсцисс, то в графическом виде получим диаграмму с четырьмя квадрантами (рис. 7) [26].

Диаграмма на рис. 7 показывает соотношение между фазовым углом φ, полной, активной и реактивной мощностью и соответствующей энергией. Фазовый угол φ между напряжением Urms и током Irms считается положительным в математическом смысле (против часовой стрелки).

Как видно на рис. 7, в первом квадранте оба типа мощности P и Q (а значит, и энергии EnP и EnQ) имеют положительное значение и потребляются пользователем — в соответствии с терминологией стандарта IEC 62053 [27].

В первом квадранте используется термин Import P, Q, то есть наблюдается импорт активной и реактивной мощности.

Во втором квадранте реактивная мощность положительная, а активная — отрицательная (Export P). Математически это означает, что мгновенная мощность отрицательна, когда направления напряжения и тока в двухполюснике противоположны

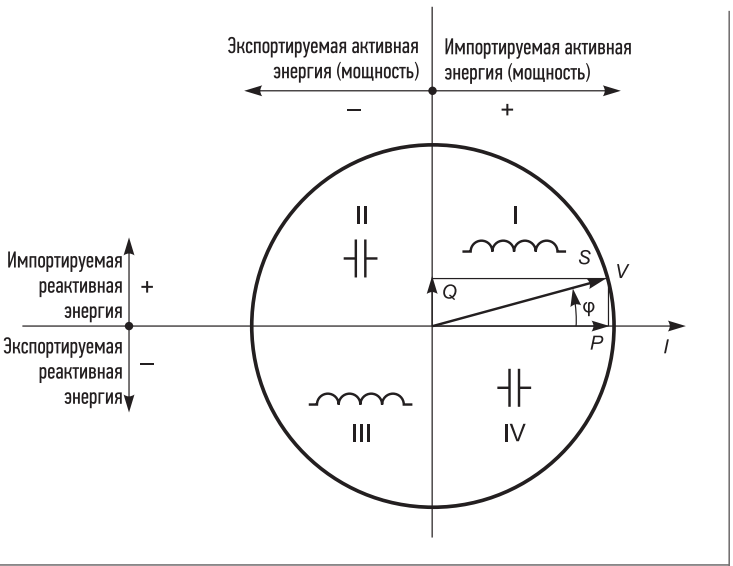


РИС. 7. Графическая интерпретация полной мощности в векторном виде (S = P + jQ)

и энергия возвращается из двухполюсника источнику переменного синусоидального тока. Физически активная мощность не может быть отрицательной. Однако ситуацию можно представить таким образом, как будто вы подключили к своей домашней сети генератор переменного тока, который мощнее вашей сети.

В третьем квадранте реактивная и активная мощности имеют отрицательное значение. В четвертом квадранте реактивная мощность отрицательна, а активная положительна. Это условие Import P энергии.

Четырехквадрантные измерения позволяют получить векторную характеристику активной и реактивной мощности с учетом потребленной и генерируемой энергии. Таким образом, можно оценить истинное значение той части электроэнергии, которая действительно перешла к потребителю.

Анализатор ND45 поддерживает работу с веб-сервером, доступ к которому осуществляется в браузере

ТАБЛИЦА 3. ПАРАМЕТРЫ, ОПРЕДЕЛЯЕМЫЕ В ПРОЦЕССЕ ПРОВЕДЕНИЯ 4-КВАДРАТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

№	Параметр		Символ	Единица измерения	
	Активная энергия				
1	Энергия активная потребляемая	L1	EnP+	kWh	кВт•ч
2	Сумма энергии активной потребляемой	L123	ΣEnP+	kWh	кВт•ч
3	Энергия активная генерируемая	L1	EnP-	kWh	кВт•ч
4	Сумма энергии активной генерируемой	L123	ΣEnP-	kWh	кВт•ч
	Реактивная индуктивная энергия				
5	Энергия реактивная индуктивная потребляемая	L1	EnQ+ ⌇	kvarh	квар•ч
6	Сумма энергии реактивной индуктивной потребляемой	L123	ΣEnQ+ ⌇	kvarh	квар•ч
7	Энергия реактивная индуктивная генерируемая	L1	EnQ — ⌇	kvarh	квар•ч
8	Сумма энергии реактивной индуктивной генерируемой	L123	ΣEnQ — ⌇	kvarh	квар•ч
	Реактивная емкостная энергия				
9	Энергия реактивная емкостная потребляемая	L1	EnQ+⊣⊢	kvarh	квар•ч
10	Сумма энергии реактивной емкостной потребляемой	L123	Σ EnQ+⊣⊢	kvarh	квар•ч
11	Энергия реактивная емкостная генерируемая	L1	EnQ – ⊣⊢	kvarh	квар•ч
12	Сумма энергии реактивной емкостной генерируемой	L123	Σ EnQ – ⊣⊢	kvarh	квар•ч
	Полная энергия				
13	Энергия полная	L1	EnS	kVAh	кВ•А•ч
14	Сумма энергии полной	L123	ΣEnS	kVAh	кВ•А•ч

путем ввода IP-адреса, назначенного конкретной версии анализатора.

Веб-сервер позволяет проводить следующие удаленные операции с анализатором ND45:

- включение/выключение и перезагрузка анализатора;
- конфигурирование процесса измерений и визуализация данных;
- контроль аварийных ситуаций;
- просмотр и редактирование файлов с данными измерений;
- контроль системной информации;
- обновление программного обеспечения.

Для переключения на FTP-сервер нужно в окне браузера ввести IP-адрес анализатора и использовать параметры доступа к FTP в окне Ethernet. В настройках Ethernet можно включать (или отключать) DHCP. При этом будут автоматически получены параметры IP-интерфейса Ethernet от внешних DHCP-серверов.

Аварийные сообщения могут быть отправлены на указанные адреса по сети Ethernet. Для этого на вкладке Ethernet configuration в разделе e-mail нужно выбрать имя сервера исходящей почты, порт сервера исходящей почты (465), безопасность подключения (SSL/TTS), имя пользователя, пароль для доступа к системе, сервер исходящей почты, адреса электронной почты получателей.

В разделе «Безопасность» предусмотрен выбор пользователя Admin, User 1, User 2,... User 7 и редактирование данных. Для каждого пользователя назначается собственный пароль и индивидуальные права доступа к отдельным разделам меню.

Анализатор ND45 содержит данные в 16- и 32-разрядных регистрах. В 16-битных регистрах нумерация битов идет от младшего до старшего (b0–b15). В 32-разрядных регистрах содержатся байты: B4 B3 B2 B1. Все указанные адреса являются физическими адресами. ⬢

ЛИТЕРАТУРА

1. www.kr.informator.ua/2018/12/19/v-krivom-roge-gorelo-zdanie-gornogo-tehnikuma/
2. www.zandz.com/ru/biblioteka/molniezashchita_vozdushnykh_liniy_napryazheniem_do_1000_V/
3. www.docs.cntd.ru/document/1200088552
4. www.sifamtinsley.com/welcome
5. www.odlewy.lumel.com.pl/
6. www.rishabh.co.in/products/3/multifunction-meters
7. www.lumel.com.pl/en/catalogue/product/power-network-analyzer-nd45
8. www.lumel.com.pl/en/search?phrase=ND40
9. www.copperalliance.org.uk/uploads/2018/03/542-standard-en-50160-voltage-characteristics-in.pdf,
10. www.files.stroyinf.ru/Data2/1/4293776/4293776477.htm
11. www.webstore.iec.ch/p-preview/info_iec61000-4-30%7Bed1.0%7Den_d.pdf
12. www.meganorm.ru/Data/661/66107.pdf
13. www.webstore.iec.ch/preview/info_iec61000-4-7%7Bed2.0%7Den_d.pdf
14. www.xn--o1aae1c.xn--p1ai/images/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A230804.4.7-2013.pdf
15. www.reliantemc.com/download/Standards/IEC-61000-6-2.pdf
16. www.files.stroyinf.ru/Data2/1/4293778/4293778639.pdf
17. www.webstore.iec.ch/preview/info_iec61000-6-4%7Bed2.0%7Den_d.pdf
18. www.meganorm.ru/Data/640/64043.pdf
19. www.eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=OJ:C:2016:126:FULL&from=PL
20. www.docs.cntd.ru/document/1200115429
21. www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_40241/
22. www.ceer.eu/documents/104400/-/-/bfd81841-d141-72ad-9f93-6200b7b89c8a
23. www.meganorm.ru/Data/661/66107.pdf
24. www.docs.cntd.ru/document/1200173820
25. www.lumel.com.pl/resources/Pliki%20do%20pobrania/ND45/ND45_ИНСТРУКЦИЯ%20ПО%20ЭКСПЛУАТАЦИИ.pdf
26. www.docs.cntd.ru/document/1200098807
27. www.docs.cntd.ru/document/1200098807