

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ В ТРЕХФАЗНЫХ СЕТЯХ С ПОМОЩЬЮ СОВРЕМЕННЫХ ТОКОВЫХ КЛЕЩЕЙ

Афонский А.А.

Решение задач экономного использования энергоресурсов во многом обусловлено возможностями эффективного мониторинга состояния электросетей. В последние годы в нашей стране получили широкое распространение различные виды клампметров (токовых клещей) — приборов, позволяющих измерять силу тока бесконтактным способом (см. КИПиС, № 1-1997). Так, в 2001 году в модельном ряду измерительных приборов АКТАКОМ появилась новинка — многофункциональные токовые клещи ATK-2200 (рис. 1) В 2002 году эти приборы прошли испытания с целью утверждения типа и включены в Государственный реестр средств измерений за номером 23543-02.

Многофункциональные токовые клещи ATK-2200 предназначены для измерения активной мощности постоянного и переменного тока в однофазной цепи, измерения постоянного и переменного токов до 2000 А, переменного напряжения до 600 В, постоянного напряжения до 800 В, а также одновременного измерения пар величин: напряжение и частота, ток и частота. По результатам измерения в каждой фазе прибор автоматически рассчитывает и индицирует на дисплее значения суммарное мощности в трехфазных цепях, реактивной и полной мощности, а так же сдвига фазы (в градусах).

Общие технические характеристики ATK-2200 приведены в таблице 1.

Измерение данным прибором напряжения и силы тока в цепях постоянного и переменного тока особенностей не имеет. Следует только упомянуть, что прибор индицирует истинное эффективное значение (TrueRMS), при коэффициенте формы не более 4, обеспечивает автоматический выбор предела измерения и защиту в любом диапазоне от перегрузки до 800 В.

Величина сдвига фазы может измеряться в диапазоне частот от 50 до 60 Гц с погрешностью $\pm 2,0^\circ$ и выполняется по пресечению нуля, при этом прибор обеспечивает чувствительность по напряжению не менее 100 В и по току не менее 10 А. Измерение частоты может выполняться в диапазоне 10...400 Гц, при этом чувствительность по напряжению составляет не менее 1 В, а по току — не менее 5 А.

Определение активной мощности



Рис. 1. Многофункциональные токовые клещи ATK-2200

постоянного и переменного тока может иметь особенности, в зависимости от типа системы, в которой производится измерения (табл. 2).

По результатам измерения силы тока и напряжения прибор автоматически вычисляет значение мощности. Расчеты производятся по следующим формулам:

$$PF = KW / KVA$$

$$KVA = V \times A / 1000$$

$$KVAR = \sqrt{(KVA)^2 - (KW)^2}$$

где PF — коэффициент мощности;
KW — активная мощность;
KVA — полная мощность;
KVAR — реактивная мощность.

Поскольку реактивная мощность рассчитывается, погрешность ее определения в большей степени зависит от точности измерений напряжения, тока и активной мощности. Особенно это важно в случаях, когда значения коэффициента использования мощности близки к 1. Для получения более точных значений при $\cos \phi$, большем 0,93 (сдвиг фазы меньше 22°), реактивную мощность можно вычислять по следующей формуле, справедливой для идеальной синусоиды:

$$KVAR = KVA \times \sin \phi$$

Конструктивно прибор выполнен в пластмассовом, ударопрочном корпусе.

Таблица 1

Разрядность дисплея	4 разряда
Выбор пределов измерения	автоматический
Питание	9 В (батарея типа «Крона»)
Ресурс батареи	не менее 200 часов
Рабочая температура	+5°C...+40°C
Относительная влажность	не более 80%
Габаритные размеры, мм	271 (длина) × 112 (ширина) × 46 (высота)
Масса	0,65 кг

Таблица 2

Диапазон измерения	Разрешение	Тип системы
0,05...99,99 кВт	0,01 кВт	трехфазные с тремя и четырьмя проводами, однофазные с двумя и тремя проводами ($\cos \phi$ от 0,2 до 1)
100...999,9 кВт	0,1 кВт	
1000...1200 кВт	1 кВт	
1000...2000 кВт	1 кВт	трехфазные с симметричной нагрузкой ($\cos \phi$ от 0,2 до 1)

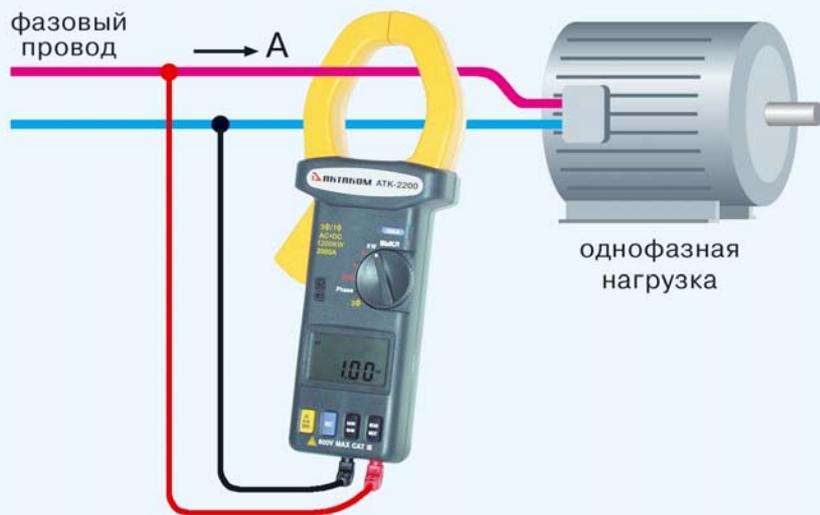


Рис. 2. Измерение мощности и $\cos \phi$ переменного и постоянного тока для одной фазы на двух проводах

Для индикации применяется двухстрочный 4-разрядный жидкокристаллический дисплей, который позволяет показывать числа до 9999. На нем также отображаются функциональные символы, единицы измерения, символ разряда батареи и нуля. Надпись на дисплее «REC» означает наличие записей в памяти. Одновременный показ REC и NO указывает на индикацию данных из памяти, а не текущих измерений.

Для управления прибором используются поворотный переключатель функций, с помощью которого можно осуществлять включение/выключение прибора и выбирать режимы измерений (KW, V, A, Phase, KVA или 3ф), а также широкие утопленные кнопки:

«HOLD» — кнопка фиксации на дисплее текущего результата измерений.

«DC A/W ZERO» — кнопка установки на «0» значения мощности и постоянного тока, позволяющая однократным нажатием установить нулевые значения A и W, при этом на дисплее появляется также надпись «ZERO».

«REC» — кнопка записи результата измерений в память. Прибор может запоминать до 4 измеренных значений. При нажатии кнопки записи на дисплее выводится номер записи. Если в памяти хранятся данные, то на дисплее выводится надпись «REC», а если вся память занята, то на дисплее выводится надпись «FULL». Для очистки памяти достаточно выключить питание прибора и включить его снова.

«3ф4W/3ф3W» — кнопка выбора трехфазной системы с симметричной нагрузкой или трех- или четырехпроводной системы с несимметричной нагрузкой. При нажатии на эту кнопку на дисплее, в зависимости от выбранного варианта, будут появляться символы «3ф3W» или «3ф4W».

«READ/NEXT» — кнопка считывания из памяти сохраненных значений (в общем случае) и перехода к следующему значению (при установке поворотного переключателя в положение «3ф»). В трехфазной системе с симметричной нагрузкой нажатием кнопки можно выбирать следующие пары измерений W+PF, KVA+KVAR или V+A, которые будут показаны на дисплее. В трехфазной системе с трехпроводным подключением нажатие этой кнопки обеспечивает запоминание измеренных значений $W_{RS(L1L2)}$ и $W_{ST(L3L2)}$. После измерения и запоминания этих значений встроенный микропроцессор

схему значению (при установке поворотного переключателя в положение «3ф»). В трехфазной системе с симметричной нагрузкой нажатием кнопки можно выбирать следующие пары измерений W+PF, KVA+KVAR или V+A, которые будут показаны на дисплее. В трехфазной системе с трехпроводным подключением нажатие этой кнопки обеспечивает запоминание измеренных значений $W_{RS(L1L2)}$ и $W_{ST(L3L2)}$. После измерения и запоминания этих значений встроенный микропроцессор



Рис. 3. Измерение мощности переменного и постоянного тока при симметричной нагрузке для трех фаз

складывает их и выводит на дисплей результат вычислений с символом W_{RST} . Для повторного измерения мощности необходимо нажать эту кнопку еще раз. В трехфазной системе с четырехпроводным подключением нажатие этой кнопки обеспечивает запоминание измеренных значений $W_{R(L1)}$, $W_{S(L2)}$ и $W_{T(L3)}$. После измерения и запоминания трех значений встроенный микропроцессор складывает их и выводит на дисплей с символом W_{RST} . Для повтор-

ного измерения мощности необходимо нажать эту кнопку еще раз. Если поворотный переключатель не установлен в положение «3ф», то эта кнопка используется для вызова из памяти записанных данных (READ). При этом на жидкокристаллический индикатор выводятся номер записи и записанное значение. При нажатии кнопки на дисплее отображаются символы REC и NO, указывающие на работу прибора в режиме чтения. Для выхода из режима чтения необходимо повернуть переключатель функций.

В нижней части корпуса имеются клеммы для подключения проводов для измерения напряжения.

При выполнении некоторых видов измерений этими многофункциональными токовыми клещами имеется ряд интересных особенностей.

Так, для измерения мощности и $\cos \phi$ переменного и постоянного тока для одной фазы на двух проводах (рис. 2) достаточно после установки поворотного переключателя в положение «W» замкнуть клещи вокруг фазового провода нагрузки, гнездо «COM» подключить к общему проводу, а гнездо «V» — к фазной линии. При этом на дисплее отображаются значения мощности (kW) и $\cos \phi$ (PF). При выполнении измерений следует иметь в виду, что нанесенный на клещи знак «+» должен быть направлен к источнику мощности.

Прибор ATK-2200 обеспечивает одновременное измерение:

- тока и напряжения;
- напряжения и частоты;
- тока и частоты.

Однако при измерении частоты следует иметь в виду, что минимальное напряжение, при котором работает частотомер, равно 1 В, а диапазон измерения частоты составляет от 10 до 400 Гц. Если частота меньше 10 Гц, то на дисплее будет показано «0 Hz», а если частота

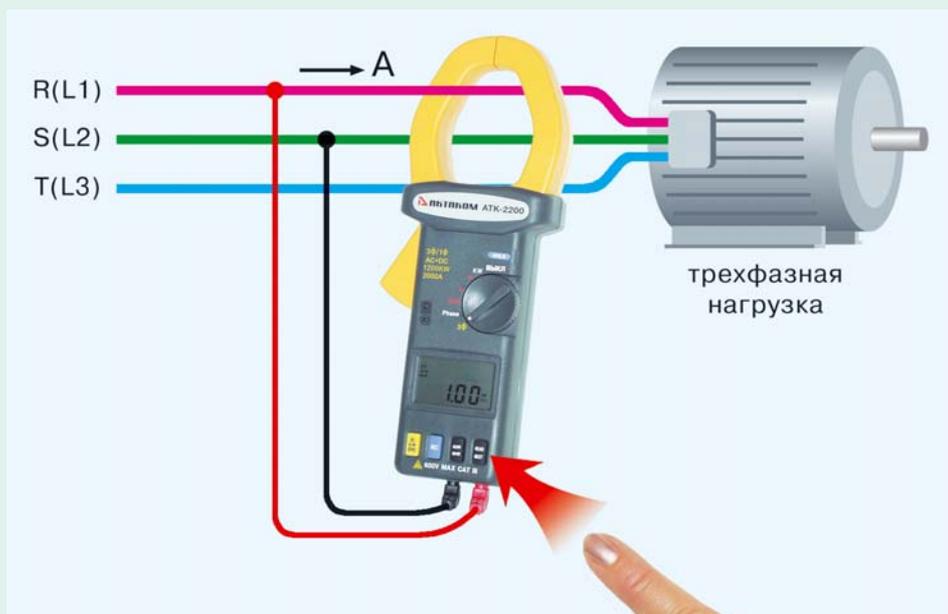


Рис. 4. Измерение мощности переменного и постоянного тока при несимметричной нагрузке для трех фаз на трех проводах ($W_{RS(L1L2)}$)

превысит 400 Гц, то на дисплее появится надпись «OL».

Измерение полной и реактивной мощности переменного и постоянного тока для одной фазы на двух проводах с помощью ATK-2200 выполняется поочередным измерением значений на соответствующих проводах. При этом важно перед каждым измерением устанавливать показания дисплея на 0. Затем следует переключить поворотный переключатель в положение KVA. Как уже указывалось, значение KVAR является рассчитанным, поэтому его точность зависит от точности измерения V, A и KW. Для получения более точных значений KVAR при значениях PF, превышающих 0,93 ($\phi < 22^\circ$), рекомендуется пользоваться приведенной выше формулой для идеальной синусоиды.

Измерение величины сдвига фазы выполняется при положении поворотного переключателя в положении «Phase». Черный провод («COM») подключается к нейтральной линии, а красный («V») — к фазной. Клещи охватывают ту линию, к которой присоединен провод красного цвета. Если клещи обнаружат протекание тока в линии, то на дисплее будет показан сдвиг фазы (в градусах) вместе с частотой напряжения. В противном случае вместо значения фазы на дисплее будет выведен пробел и будет показана только частота напряжения. При проведении измерений следует иметь в виду:

- отрицательный сдвиг фазы означает запаздывание тока относительно напряжения; если подключение произведено правильно, то отрицательный сдвиг фазы может означать индуктивную нагрузку;
- положительный сдвиг фазы означает опережение тока относительно напря-

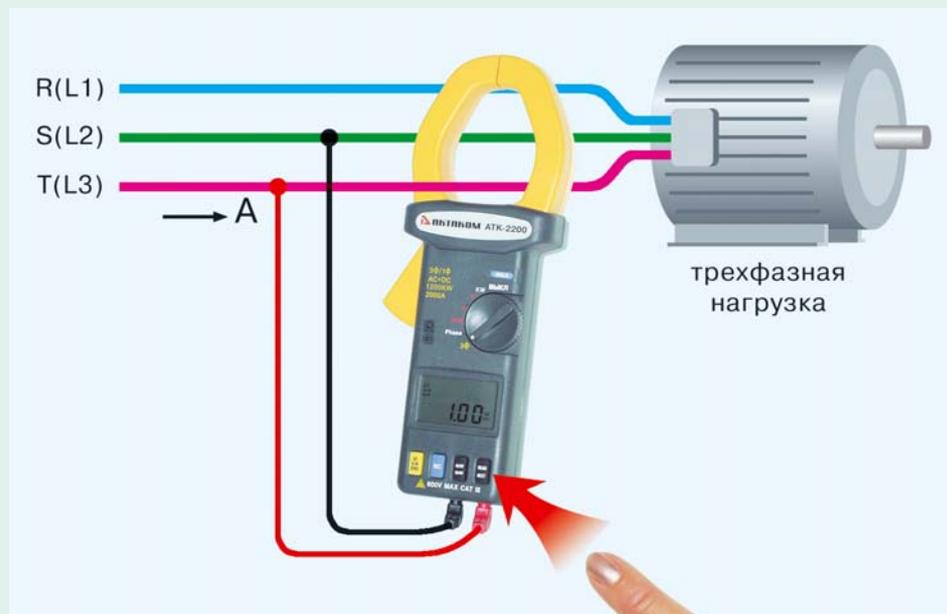


Рис. 5. Измерение мощности переменного и постоянного тока при несимметричной нагрузке для трех фаз на трех проводах ($W_{TS(L3L2)}$)

жения; если подключение произведено правильно, то положительный сдвиг фазы может также означать емкостную нагрузку.

Токовыми клещами ATK-2200 можно производить измерение мощности переменного и постоянного тока при симметричной нагрузке для трех фаз. При этом возможно одновременное измерение мощности и $\cos \phi$, а также измерение полной и реактивной мощности (рис. 3).

Для проведения измерений необходимо установить поворотный переключатель в положение 3ф, при этом на дисплее появятся надписи 3ф3W, 3ф4W и BAL. Выбрав один из фазных проводов (например, R или L1) в качестве общего, присоединить к нему провод COM (черного цвета), а другой провод (крас-

ного цвета) — к фазному проводу (например, S или L2). Замкнуть клещи на третьем фазном проводе, например, T или L3. Прибор автоматически выберет диапазон измерений, а на дисплее отобразятся измеренные значения активной мощности (kW) и $\cos \phi$ (PF). Для вывода на дисплей значений полной (KVA) и реактивной (KVAR) мощности, напряжения (V) и тока (A) и возврата к показаниям мощности (kW) и $\cos \phi$ (PF) нужно последовательно нажимать кнопку «NEXT».

Для измерения мощности в трехфазной симметричной нагрузке специальный подбор фаз не требуется. Для получения точных измерений необходимо, чтобы нанесенный на клещи знак «+» был направлен к источнику мощности. Для определения, является ли нагрузка емкостной или индуктивной, следует иметь в виду соображения, изложенные выше.

Несколько сложнее выполняется измерение мощности переменного и по-

стоянного тока при несимметричной нагрузке для трех фаз на трех проводах.

В этом случае требуется провести два замера: W_{RS} (или W_{L1L2}) и W_{ST} (или W_{L3L2}).

Сначала замеряется W_{RS} (или W_{L1L2})



Рис. 6. Дисплей прибора в режиме измерения мощности при несимметричной нагрузке для трех фаз на трех проводах

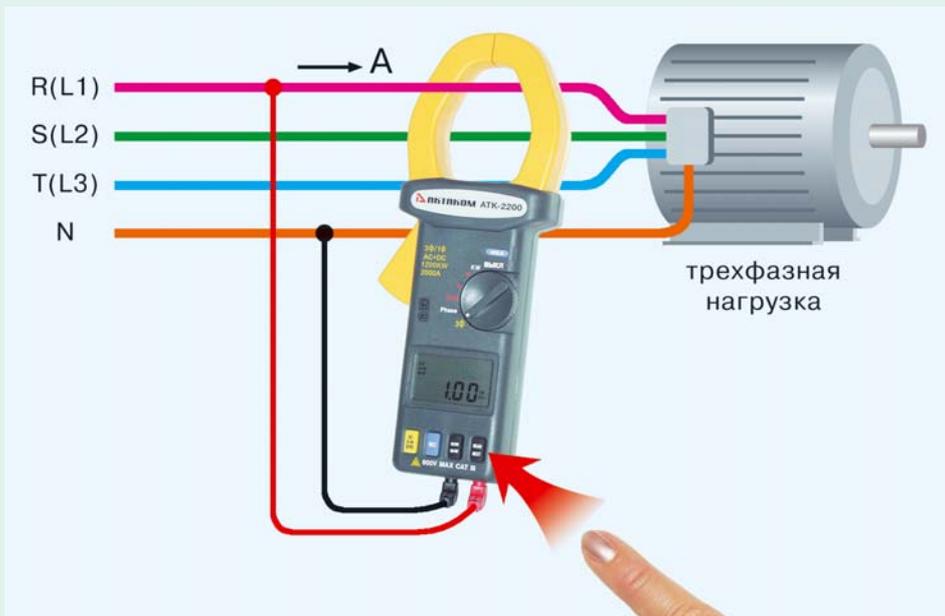


Рис. 7. Измерение мощности переменного и постоянного тока при несимметричной нагрузке для трех фаз на четырех проводах

(рис. 4). Когда показания дисплея перестанут изменяться, следует записать их в память кнопкой «NEXT». При этом надпись W_{RS} исчезнет, а на дисплее появляется мигающая надпись W_{ST} , подсказывающая о необходимости проведения следующего замера.

Затем таким же образом замеряется W_{ST} (или W_{L3L2}) (рис. 5). После нажатия кнопки NEXT, завершающего замеры W_{RS} и W_{ST} прибор складывает эти значения и показывает сумму на дисплее. При этом появляется надпись W_{RST} , указывающая на измерение мощности в режиме 3ф3W несимметричной нагрузки (рис. 6).

Аналогично осуществляется измерение мощности переменного и постоянного тока при несимметричной нагрузке для трех фаз на четырех проводах (рис. 7). Однако в этом случае требуется провести три замера: W_{RS} (или W_{L1}), W_S (или W_{L2}) и W_T (или W_{L3}), а на дисплее необходимо установить режим измерений 3ф4W. Сразу после нажатия кнопки «NEXT», завершающего замеры W_R , W_S и W_T , прибор складывает эти значения и показывает сумму на дисплее. При этом на дисплее появляется надпись W_{RST} , указывающая на измерение мощности в режиме 3ф4W несимметричной нагрузки (рис. 8). Очевидно, что данном режиме



Рис. 8. Дисплей прибора в режиме измерения мощности при несимметричной нагрузке для трех фаз на четырех проводах

все три значения (W_R , W_S и W_T) должны быть положительными. Если хотя бы одно из них отрицательное, необходимо проверить правильность проведения измерений.

Измерение мощности в однофазной трехпроводной системе производится аналогичной измерениям мощности в

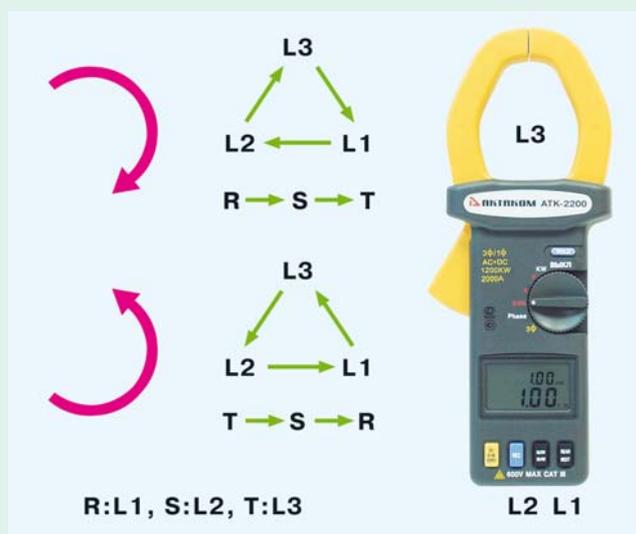


Рис. 9. Индикация чередования фаз

трехпроводной трехфазной системе с несимметричной нагрузкой.

Вычисление $\cos \phi$ для трех фаз на четырех проводах осуществляется вручную. Для этого при проведении измерений в режиме 3ф4W с несимметричной нагрузкой необходимо с помощью кнопки «REC» записать в память результаты измерений для каждой из фаз (KW_R , PF_R ; KW_S , PF_S ; KW_T , PF_T). Затем по этим данным может быть вычислен коэффициент использования мощности:

$PF_{3\phi 4W} = KW_{3\phi 4W} / KVA_{3\phi 4W}$,
где $KW_{3\phi 4W}$ — измеренное значение мощности 3ф4W;

$$KVA_{3\phi 4W} = KVA_{R(L1)} + KVA_{S(L2)} + KVA_{T(L3)};$$

$$KVA_{R(L1)} = KW_{R(L1)} / PF_{R(L1)};$$

$$KVA_{S(L2)} = KW_{S(L2)} / PF_{S(L2)};$$

$$KVA_{T(L3)} = KW_{T(L3)} / PF_{T(L3)}.$$

Для улучшения коэффициента использования мощности ($\cos \phi$) в системе (трехфазной или однофазной) нужно установить конденсаторы на соответствующее рабочее напряжение и частоту. Необходимое значение емкости конденсатора вычисляется по формуле:

$C = KVAR \times 1000 / (2\pi f V^2)$, (фарад),
где KVAR — замеренное значение реактивной мощности для каждой из фаз ($KVAR_R$, $KVAR_S$, $KVAR_T$); f — частота в герцах; V — напряжение фазы.

Еще одной полезной функцией, обеспечиваемой ATK-2200, является индикация чередования фаз, при этом, однако, значение $\cos \phi$ должно быть больше 0,1.

Для этого нужно установить поворотный переключатель в положение «3ф» и присоединить провод гнезда «V» к проводу R (или L1), провод гнезда «COM» — к S (или L2) и замкнуть клещи вокруг T (или L3). Лицевая сторона клещей (со знаком +) должна быть повернута в сторону источника мощности. В этом случае на дисплее будет отображаться порядок чередования фаз (рис. 9). Если чередование фаз происходит по часовой стрелке, то на дисплее будет показана последовательность букв R, S, T. Если чередование фаз происходит против часовой стрелки, то на дисплее будет показана последовательность букв T, S, R. Если ток в фазе, вокруг которой замкнуты клещи, не обнаружен, то на дисплее останется только одна из букв R, S или T.

В заключении следует отметить, что многофункциональные токовые клещи ATK-2200, входящие в модельный ряд АКТАКОМ, являются очень удобным в эксплуатации инструментом и позволяют оперативно выполнять многочисленные виды измерений с высокой точностью. Не вызывает сомнения, что этот прибор будет по достоинству оценен специалистами-электриками и энергетиками и найдет широкое применение при проведении наладочных и ремонтных работ в любом электрохозяйстве.

New clamp power meter ATK-2200 is described in this article. Specifications, features and capabilities as well as examples of the use of this device are represented.