

Сохранение точности

в условиях колебаний температуры

Мишель Гиларди
(Michel Ghilardi)

Хорст Бецольд
(Horst Bezold)

В настоящее время растет спрос на прецизионные датчики-преобразователи тока, пригодные для применения в изделиях промышленного назначения с высокими техническими характеристиками, например в медицинском оборудовании (сканерах, магнитно-резонансных томографах), прецизионных контроллерах электродвигателей, счетчиках электроэнергии, контрольно-измерительной аппаратуре.

В большинстве этих изделий применяются прецизионные датчики тока, но с ограниченным рабочим диапазоном температур (+10...+50 °С), тогда как многие новые типы изделий требуют более широкого диапазона температур при сохранении высокой точности. Хороший пример — испытательные стенды для автомобилей.

Проектирование и изготовление датчиков-преобразователей тока и напряжения — основная сфера деятельности компании LEM. Уже на протяжении многих лет LEM является лидером в области проектирования и изготовления датчиков с очень высокими техническими характеристиками и конкурентоспособными ценами для сегментов рынка с обычными требованиями. Но при создании нового семейства датчиков, гарантированно обеспечивающих высочайшие технические характеристики (в т. ч. точность и надежность) в расширенном диапазоне температур -40...+85 °С, компания столкнулась с новыми техническими задачами. Результатом

успешного их решения стала новая серия прецизионных датчиков тока Ultrastab IT 65-S, IT 205-S, IT 405-S и IT 605-S (рис. 1).

Эти устройства не только обеспечивают высокую точность измерения во всем диапазоне температур, но также могут работать со всеми типами сигналов (постоянный ток, переменный ток, импульсы и сигналы сложной формы), обеспечивая гальваническую развязку первичной (силовой) и вторичной (измерительной) цепи. Несмотря на компактный корпус, эти преобразователи отвечают требованиям электромагнитной совместности, предъявляемым к компонентам современной силовой электроники, и великолепно защищены от внешних электрических, магнитных и электромагнитных полей.

Помимо этого, они обладают и другими характеристиками, обязательными для компонентов соответствующего назначения, — в частности, низким уровнем помехоэмиссии, малым временем отклика, широкой полосой пропускания, малым фазовым сдвигом и низким уровнем шумов. Надежность и долговечность датчиков обеспечивается высоким качеством проектирования и технологических процессов.

В основе новейшего семейства, как и прежде, лежит технология феррозондовых (fluxgate) датчиков с использованием встроенного задающего генератора. Даже при незначительном изменении частоты



Рис. 1. Семейство прецизионных датчиков тока Ultrastab IT xx5

генератора эта технология гарантирует надежное насыщение феррозонда вне зависимости от колебаний окружающей температуры и изменения параметров с течением времени, а также сохранение характеристик на протяжении всего срока службы изделия в расширенном диапазоне температур.

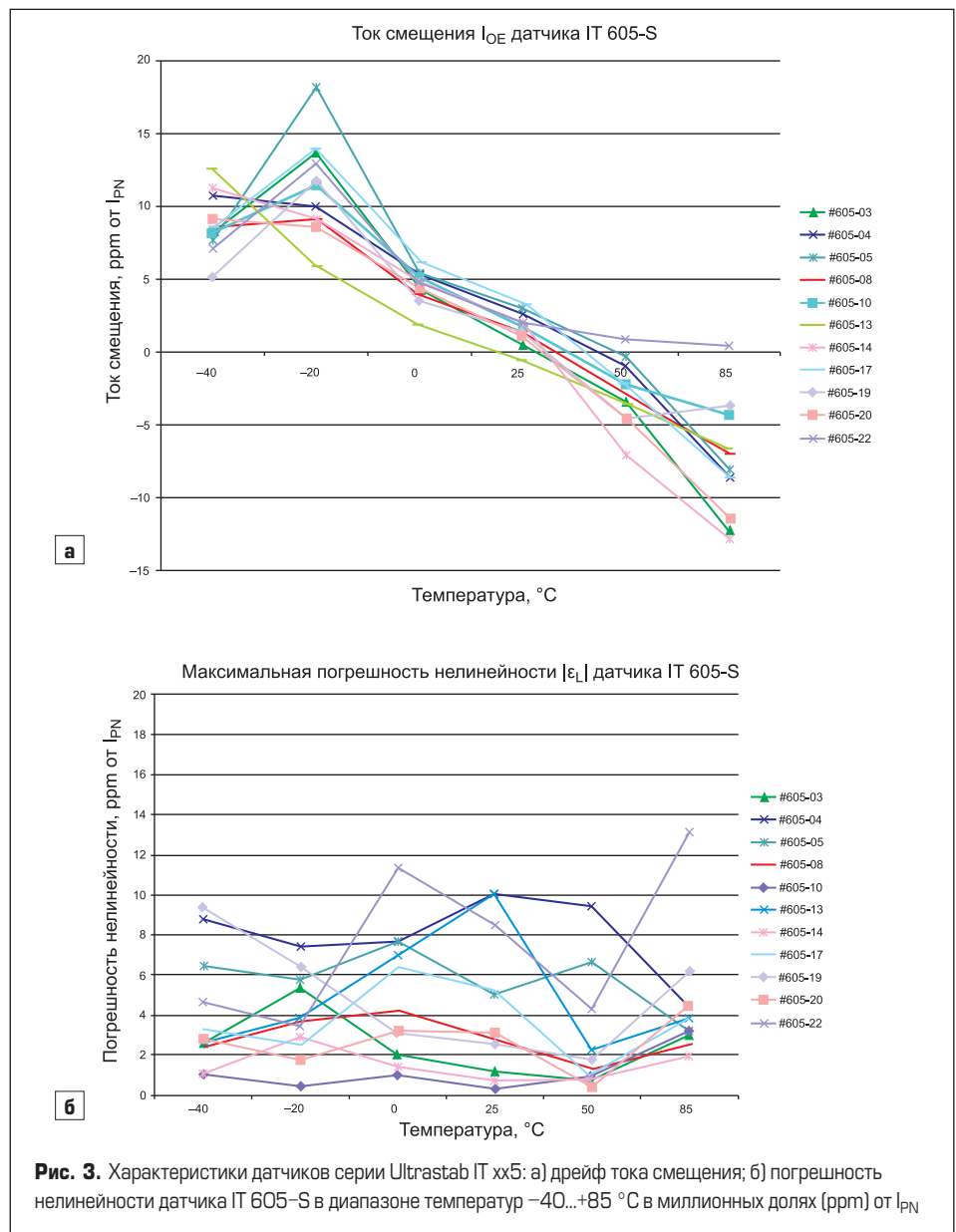
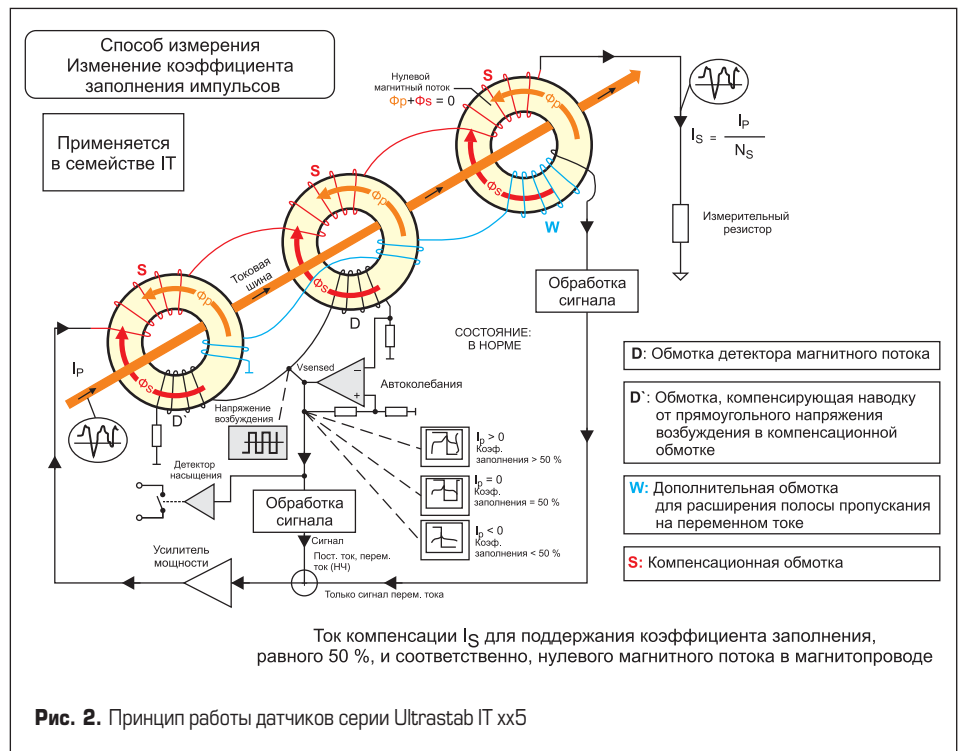
Такая надежность достигается благодаря принятым в компании LEM правилам проектирования, которые уже применяются на промышленных рынках. В числе этих правил — температура *p-n*-перехода не выше +125 °C в худшем случае при максимальной температуре окружающего воздуха, минимально возможном сопротивлении нагрузки и максимально высоком напряжении питания. Чтобы создать условия для рассеивания мощности и исключить появление зон с повышенной температурой вокруг электронных компонентов, пришлось применить дополнительную заливку компаундом. Эти правила проектирования обеспечивают достаточный запас, чтобы надежность оставалась высокой даже в жестких условиях эксплуатации и в расширенном диапазоне температур.

Точность измерения зависит не только от точности измерительного резистора, но также в значительной степени от чувствительности детектора магнитного поля. Однако схема измерения на постоянном токе, обеспечивая хорошую точность, имеет некоторые недостатки (рис. 2). Поскольку обмотка D детектора связана с компенсационной обмоткой S, приложенное к ней напряжение прямоугольной формы создает наводку на компенсационную обмотку, что приводит к возникновению паразитного тока в измерительном резисторе. Но прямоугольное напряжение, наведенное в обмотке S этим магнитным потоком, можно практически полностью скомпенсировать, расположив вторую обмотку D' (идентичную D) на втором детекторном магнитопроводе внутри компенсационной обмотки S. Остаточный магнитный поток, образованный суммой противонаправленных магнитных потоков в обмотках D и D', вызовет очень слабый остаточный сигнал в виде пиков напряжения с частотой задающего генератора.

Магнитная система датчика схематически представлена на рис. 2 тремя магнитопроводами. Четвертая обмотка W наматывается между витками компенсационной обмотки S на главном магнитопроводе, чтобы расширить в область более низких частот полосу пропускания датчика в режиме трансформатора тока. Она соединена с интегратором, который изменяет выходной ток через усилитель мощности таким образом, чтобы скомпенсировать ослабление наведенного напряжения на частотах, слишком высоких для феррозондового детектора.

Характеристики датчиков серии Ultrastab IT xx5 гарантируются во всем их расширенном диапазоне рабочих температур (рис. 3).

Графики показывают очень малый дрейф смещения и практически нулевой дрейф



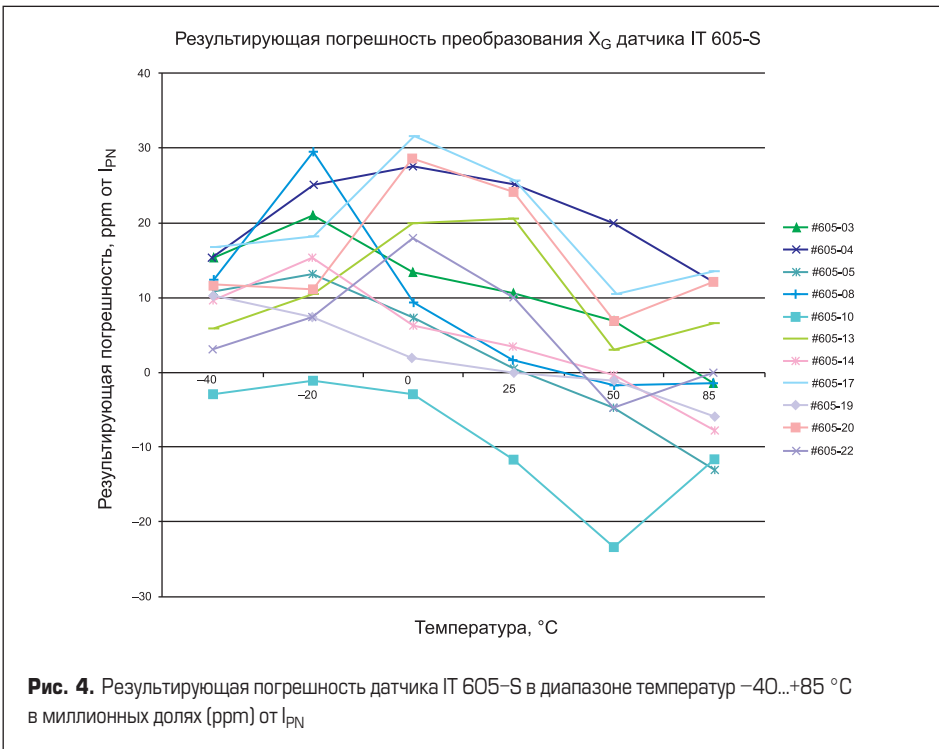


Рис. 4. Результирующая погрешность датчика IT 605-S в диапазоне температур -40...+85 °C в миллионных долях (ppm) от I_{PN}

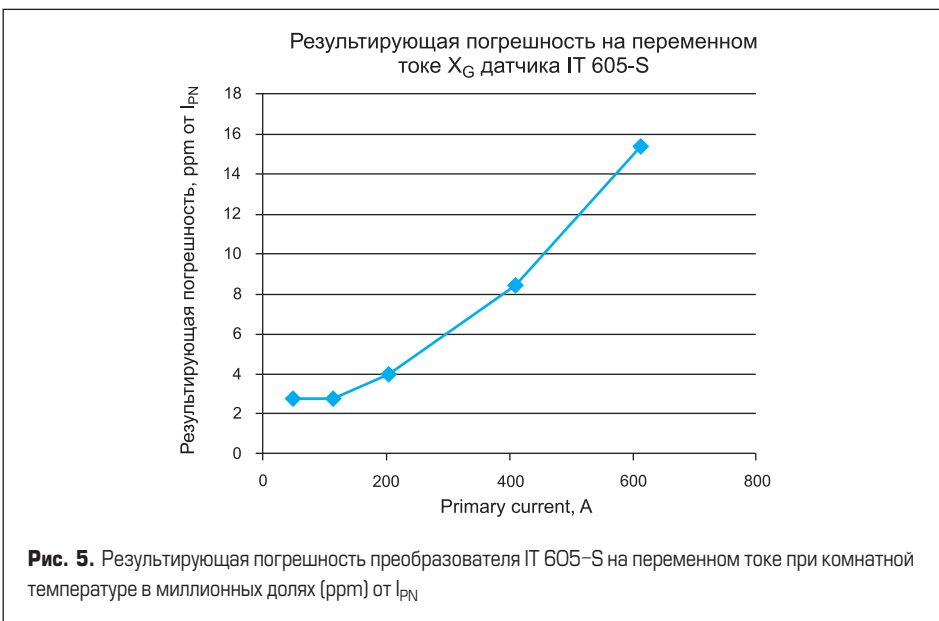


Рис. 5. Результирующая погрешность преобразователя IT 605-S на переменном токе при комнатной температуре в миллионных долях (ppm) от I_{PN}

линейности во всем диапазоне температур -40...+85 °C, что дает результирующую погрешность ниже 30 ppm в этом диапазоне (рис. 4).

Все эти характеристики были измерены в ходе типовых испытаний с размерами статистических выборок, достаточными для того, чтобы гарантировать приведенные в паспортах расчетные значения параметров в интервале $\pm 3\sigma$.

Благодаря применению пермаллового магнитопровода и идеальной равномерной намотке датчики обеспечивают весьма хорошую точность на переменном токе. На рис. 5 приведен график результирующей погрешности преобразователя IT 605-S на переменном токе при комнатной температуре.

Материал магнитопровода, а также особый технологический процесс намотки помогают достичь широкой полосы пропускания и очень малого фазового сдвига (рис. 6). Таких частотных характеристик помогает достичь сочетание трех различных способов измерения (рис. 7):

- феррозонд, работающий в диапазоне от постоянного тока до очень низких частот (несколько герц);
- измерительная катушка, работающая по принципу пояса Роговского в диапазоне от очень низких частот и компенсирующая небольшую погрешность, внесенную трансформатором тока;
- трансформатор тока, работающий на частотах до нескольких сотен килогерц.

Рынок контрольно-измерительной аппаратуры

Контрольно-измерительная аппаратура — один из тех сегментов, в которых требуется расширенный диапазон рабочих температур. В силовом электронном оборудовании, например в инверторах для гибридных автомобилей и электромобилей, ветровых и солнечных энергетических установках, а также промышленных инверторах и электродвигателях, это позволяет обеспечить надлежащий КПД не только при нормальной температуре, что можно

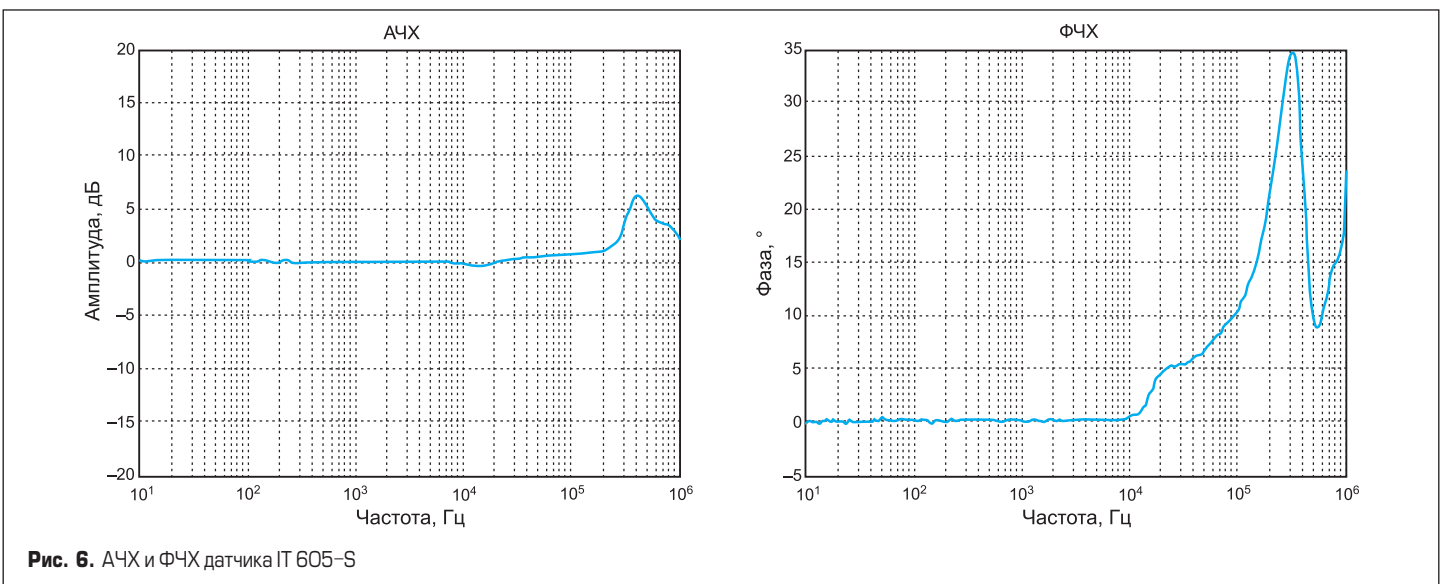


Рис. 6. АЧХ и ФЧХ датчика IT 605-S

продемонстрировать на испытательных стендах, но и во всем диапазоне рабочих температур в условиях реальной эксплуатации.

Для достижения наивысшего КПД в проектируемом силовом электронном оборудовании необходимо оптимизировать все его компоненты по потерям. Для измерения КПД силового оборудования и компонентов приводов необходима очень точная система измерения мощности.

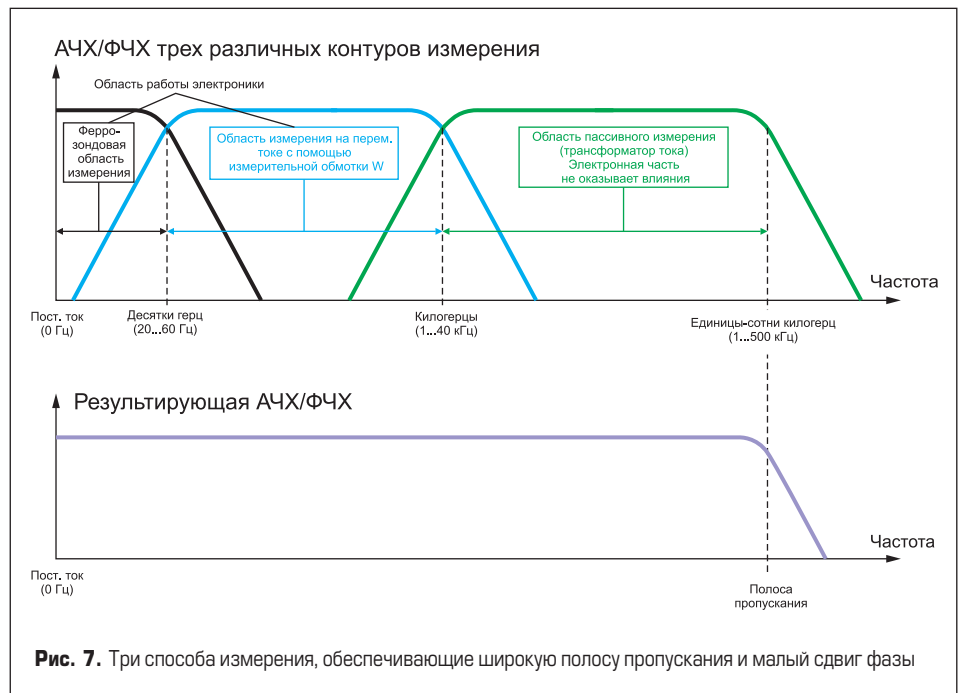
Прецизионные датчики тока серии IT Ultrastab уже в течение многих лет применяются для анализа силовых цепей и расчета КПД в ограниченном диапазоне температур — +10...+50 °С. Новые датчики имеют ту же функциональность, но в более широком диапазоне температур: -40...+85 °С.

Активная мощность вычисляется по измеренным значениям тока и напряжения. Точность ее вычисления зависит в основном от двух параметров:

- точность измерения тока и напряжения (амплитудная погрешность);
- фазовая погрешность, обусловленная сдвигом фаз между напряжением и током.

Для измерения токов силой более нескольких ампер необходимы прецизионные преобразователи тока, которые служили бы интерфейсом к анализатору мощности. В этом применении фазовой погрешностью (сдвигом фаз) пренебрегать нельзя. Действительно, влияние фазовой погрешности возрастает с уменьшением коэффициента мощности.

При коэффициенте мощности, равном 1, сдвиг фаз между током и напряжением отсутствует (коэффициент мощности есть косинус фазового угла Φ между синусоидальными током I и напряжением U). При сдвиге фаз в 1° коэффициент мощности будет равен 0,9998, а погрешность измерения мощности — всего 0,2%. При коэффициенте мощности 0,1 сдвиг фаз между током и напряжением составит уже 84°. В этих условиях дополнительная фазовая погрешность в 1°, внесенная прибором или преобразователем, приведет к огромной погрешности измерения мощности — 17,4%.



Это демонстрирует необходимость в средних измерениях с высокой точностью и малым фазовым сдвигом.

При этом измерители мощности должны обеспечивать высокую точность ее измерения как на входе, так и на выходе испытуемого изделия, так как непосредственное измерение потерь невозможно: они рассчитываются по этим двум значениям. В худшем случае погрешности указанных двух измерений имеют противоположный знак. Эта проблема усугубляется с повышением КПД нагрузки. КПД электроприводов составляет около 95%, а инверторов — до 99%. Только высокоточные измерительные приборы и прецизионные датчики тока в сочетании с анализаторами силовых цепей позволяют получать надежные и приемлемые результаты.

Заключение

Новое семейство датчиков тока LEM Ultrastab IT xx5, оптимизированных для работы в широком диапазоне температур, отвечает всем

требованиям, предъявляемым к датчикам тока для измерения мощности. Они имеют очень низкие значения дрейфа тока смещения (от 36 до 400 ppm) и погрешности нелинейности (от 8 до 12 ppm) во всем диапазоне температур. Конкретные значения зависят от модели. Точность в 1 ppm эквивалентна 0,0001%. За счет настолько малого смещения эти датчики могут использоваться при токах от нескольких ампер, и всего одна модель способна охватить весь требуемый диапазон измерения токов. В случае использования других технологий для измерения в том же диапазоне с сохранением того же уровня точности потребовалось бы несколько датчиков. Тем самым обеспечивается значимая экономия.

Фазовая погрешность всех датчиков серии IT xx5 существенно меньше одной минуты (1/60 градуса). Все датчики имеют гальваническую развязку. Калибровка на постоянном токе возможна в диапазоне до 16000 А благодаря наличию в LEM собственной лаборатории, сертифицированной по стандарту ISO 17025.