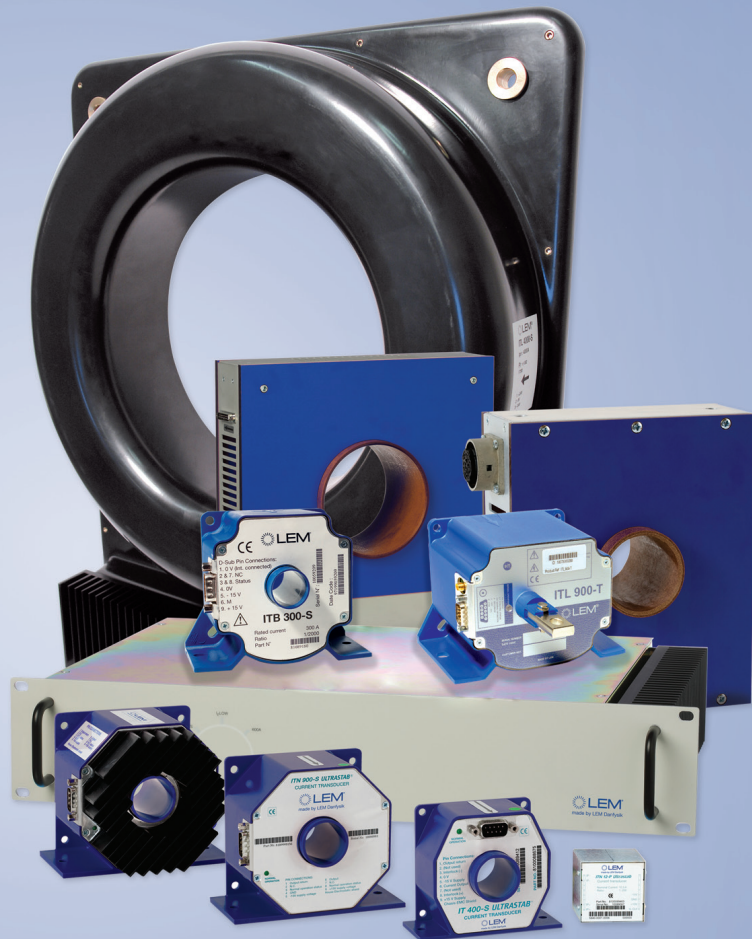


Прецизионные датчики тока





Решения компании LEM для прецизионного измерения тока

Датчики тока серии IT:

Установка критериев для прецизионного измерения тока

В каталоге приведены наиболее распространенные датчики для измерений электрического тока с высокой точностью в промышленных и лабораторных приложениях, предлагаемые компанией LEM. Бизнес компании LEM — обеспечивать вас как стандартными, так и специальными изделиями и решениями, оптимизированными под ваши конкретные нужды и требования.

Определенные изделия силовой электроники требуют таких высоких характеристик, касающихся точности, дрейфа и/или времени отклика, что для достижения этих целей необходимо обратиться к нестандартным технологиям. Поверка оборудования клиента осуществляется лицензированными лабораториями при помощи высокоточных испытательных стендов, оснащенных высокотехнологичным оборудованием, включающим чрезвычайно точные датчики тока. Эти датчики тока все еще необходимы в настоящее время для таких традиционных применений, но они также требуются все в большей и большей степени в высокоточных промышленных приложениях и, особенно, в медицинском оборудовании (сканеры, МРТ и т.п.), прецизионных контроллерах двигателей, приборах учета, измерительных средствах и тестовом оборудовании. Компания LEM на протяжении многих лет является лидером в производстве датчиков с высокими характеристиками и конкурентной ценой для этих сегментов рынка. Приобретение в 2009 году датской компании Danfysik ACP A/S, мирового лидера в

разработке и производстве высокопрецизионных датчиков тока усиливает эту позицию.

Для достижения амбициозной цели обеспечения высокой точности и высоких характеристик в датчиках тока семейства IT компании LEM не используется эффект Холла. Принцип их работы основан на технологии Flux-gate, устоявшейся и хорошо зарекомендовавшей себя технологии, которую мы применяем уже в течение многих лет и которая лежит в основе нескольких семейств датчиков тока и напряжения. В настоящее время компания LEM использует различные варианты этой технологии, каждый из которых обеспечивает свой уровень характеристик и стоимости, чтобы соответствовать требованиям и нуждам клиентов. В семействе IT применяется технология Flux-gate с обратной связью, как наиболее эффективная по качеству и цене. Благодаря этой технологии мы можем говорить о точности, измеряемой миллионными долями (PPM) от номинальной величины, что наглядно демонстрирует достигнутый уровень эксплуатационных характеристик.

Ассортимент высокоточных датчиков включает в себя датчики для измерений номинального тока от 12,5 А до 24 кА при обеспечении общей точности при температуре окружающей среды 25°C всего в несколько PPM. Температурный дрейф при этом чрезвычайно низкий и составляет от 0,1 до 6,7 PPM/K (градус Кельвина). Модели для измерений номинального тока от 12,5 до 60 А могут устанавливаться на печатные платы, в то время как модели для измерений номинального тока от 60 А до 24 кА предназначены для монтажа на панель и/или стойку, и имеют встроенную или выполненную в отдельном корпусе вспомогательную электронику. В дополнение

к вышесказанному, применяемые технологии Flux-gate обеспечивают гальваническую развязку для измерений тока любой формы, включая переменный, постоянный, ток, а также ток сложной формы.

Большинство датчиков тока семейства IT имеют круглое отверстие для первичных проводников различного диаметра в зависимости от модели (кроме модели ITN 12-P, в которой применяется встроенный первичный проводник). В дополнение к их обычным выходам, предназначенным для выходного тока или напряжения, эти модели имеют выход состояния датчика (рабочее состояние) посредством нормально разомкнутых или нормально замкнутых контактов и внешнего светодиода (кроме моделей ITN 12-P и ITL 4000-S). Модели семейства ITZ имеют даже большее количество функций, так как оснащены дополнительными выходами, показывающими является ли измеряемый ток слишком низким или слишком высоким и не находится ли датчик в состоянии перегрузки — каждое из этих состояний отображается посредством специального светодиода.

Модели ITB 300-S и ITL 4000-S, в отличие от других моделей, предназначены для эксплуатации в расширенном температурном диапазоне от -40 до 85°C и от -40 до 70°C соответственно, что позволяет применять их в более широком диапазоне приложений. Хотя в семействе ITB применена та же технология, что и для других датчиков тока семейства IT, датчики этого семейства находятся в более низкой ценовой категории, обеспечивая при этом уровень характеристик всего лишь немногим ниже, чем другие модели семейства.

Все эти устройства имеют внутри корпуса электростатический экран для гарантии максимальной устойчивости к внешним помехам. Для гарантии максимальной устойчивости рекомендуется применять экранированный выходной кабель и разъём. Модели семейства IT имеют высокую скорость реакции на внезапные изменения первичного тока благодаря их вторичным обмоткам, работающим как отличный трансформатор тока. Эта особенность обеспечивает широкую полосу пропускания (до 800 кГц при -3дБ).

Все датчики соответствуют нормам CE и удовлетворяют требованиям по безопасности стандарта МЭК 61010-1. Компания LEM имеет глобальные сертификаты ISO 9000 и ISO TS-16949 (сертификация ISO 9001:2008 Научно-производственного центра в Копенгагене, Дания) и предлагает пять (5) лет гарантии на всю свою продукцию. Мы постоянно стремимся к инновациям и улучшению характеристик, стоимости и размеров наших изделий. Компания LEM является мировой компанией с офисами продаж, расположенными по всей планете, и заводами в Европе (включая Россию) и Азии.

Мы надеемся, что этот каталог станет для вас полезным руководством при выборе наших изделий. Для получения дополнительной помощи посетите наш веб-сайт www.lem.com или свяжитесь с нашим отделом продаж. Детальные технические описания и указания по применению доступны по запросу.

Ханс Дитер Губер
(Hans Dieter Huber)
Вице-президент по
промышленности

Франсуа Габелла
(François Gabella)
Президент и исполнительный директор
компании LEM



Содержание

Страницы

Вступление и содержание	2-3
Семейство IT — принцип технологии Fluxgate	4 - 7
Применение:	
Прецизионное управление передвижениями фотолитографических сканирующих степперов	8 - 9
Магнитно-резонансная томография	10 - 13
Тестирование и измерение	14 - 17
Изделия:	
Датчики тока, 12,5... 1000 A	18 - 19
Датчики тока, 80... 4000 A	20 - 21
Датчики тока, 40 ... 24000 A	
Серия ITZ	22 - 23
Кодировка изделий	24
Гарантия компании LEM	25
Руководство по выбору	26 - 29

Информация об изделиях:

Модель ITN 12-P	18
Модель ITB 300-S	18
Серия IT 60...1000-S	19
Модель IT 700-SB	19
Модель IT 700-SPR	20
Серия ITN 600...900-S	20
Серия ITL 900...4000	21
Серия ITZ 600...24000	22 - 23

Семейство IT — принцип технологии Fluxgate

Для точных измерений постоянных токов метод, применяемый с начала 20 века состоит в компенсации потокоцепления Θ_p создаваемого измеряемым током I_p противоположно направленным потокоцеплением Θ_s , создаваемым током I_s , который протекает через известное количество витков N_s , чтобы получить ситуацию, изображенную на рис. 1:

$$\Theta_p - \Theta_s = 0$$

$$\text{или } N_p \cdot I_p - N_s \cdot I_s = 0$$

N_p : количество витков первичной обмотки

N_s : количество витков вторичной обмотки

Чтобы данный способ измерения был точным, необходимо иметь высокоточное устройство для прецизионной проверки условия, что суммарный поток $\Theta = 0$. Задачей является получить датчик тока со следующими характеристиками:

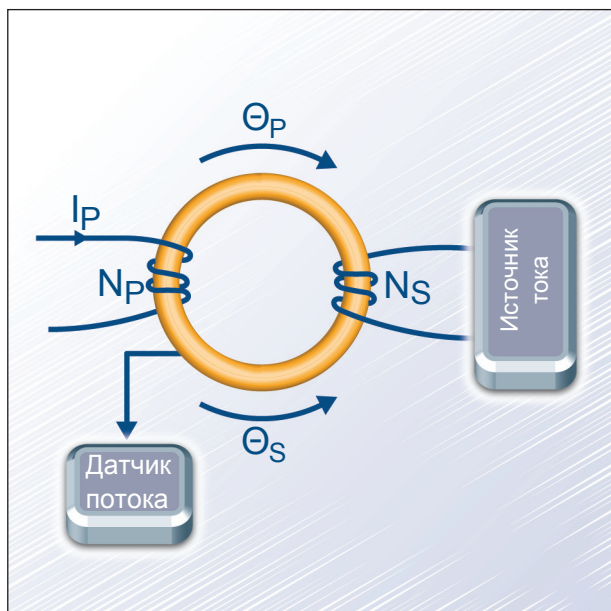


Рис 1. Принцип технологии Fluxgate семейства ITxx.

Принцип работы

Для получения по настоящему точной компенсации двух противоположно направленных потокоцеплений (Θ_p , Θ_s), необходимо иметь детектор, способный точно определить, что $\Theta = 0$, что означает, что этот детектор должен быть очень чувствительным к малым значениям остаточного магнитного потока с (создаваемого потокоцеплением Θ), чтобы получить наиболее сильный сигнал на выходе детектора.

Принцип работы магнитных детекторов основывается на свойстве многих магнитных материалов проявлять нелинейную зависимость между напряженностью магнитного поля H и магнитной индукцией B .

Петли гистерезиса магнитных сердечников имеют форму, схожую с той, что представлена на рис.2 (более или менее близкую к квадрату в

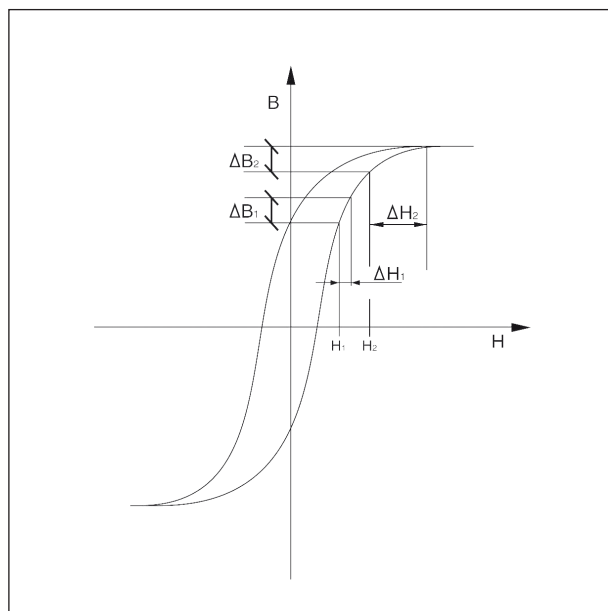


Рис 2. Петли гистерезиса магнитных сердечников.

- Превосходная линейность
- Выдающаяся долговременная стабильность
- Низкий остаточный шум
- Высокочастотный отклик
- Высокая надежность

зависимости от типа материала).

Наблюдая изменение $B = f(H)$ на кривой намагничивания, отмечаем, что для данной напряженности магнитного поля H_1 изменение магнитной индукции nB_1 соответствует изменению напряженности магнитного поля nH_1 . Однако мы также видим, что, двигаясь дальше вдоль кривой, для другой напряженности магнитного поля H_2 , для такого же изменения $nB_2 = nB_1$, изменение nH_2 должно быть намного большим.

Определение того, что суммарный магнитный поток равен 0 ($\Phi = 0$) основывается именно на этом явлении.

Если приложить к насыщающемуся дросселю напряжение прямоугольной формы (рис. 3а), пока его магнитный сердечник не начнет насыщаться, возникнет ток, изображенный на рис. 3б. Этот ток, протекающий через измерительное сопротивление, будет обеспечивать симметричное относительно нулевого уровня напряжение с пиковыми значениями $+\hat{V} = -\hat{V}$.

Если через отверстие в сердечнике протекает постоянный ток, кривая петли гистерезиса смещается, вызывая асимметрию тока, производимого приложенным прямоугольным напряжением (рис. 3с), что ведет к появлению напряжения на выводах резистора, из-за того, что $|+\hat{V}| > |-\hat{V}|$, которое можно измерить. Измеряя значения $+\hat{V}$ и $-\hat{V}$ с помощью пикового детектора и сравнивая их, можно определить отклонение магнитного потока в сердечнике от нулевого значения. Как только магнитный поток с перестает быть равен нулю, то ошибка, выражаемая как $|+\hat{V}| - |-\hat{V}|$, подается на усилитель мощности, который подает ток в компенсационную обмотку, пока магнитный поток с не станет равным 0, или, другими словами, пока не выполнится условие, что $|+\hat{V}| = |-\hat{V}|$.

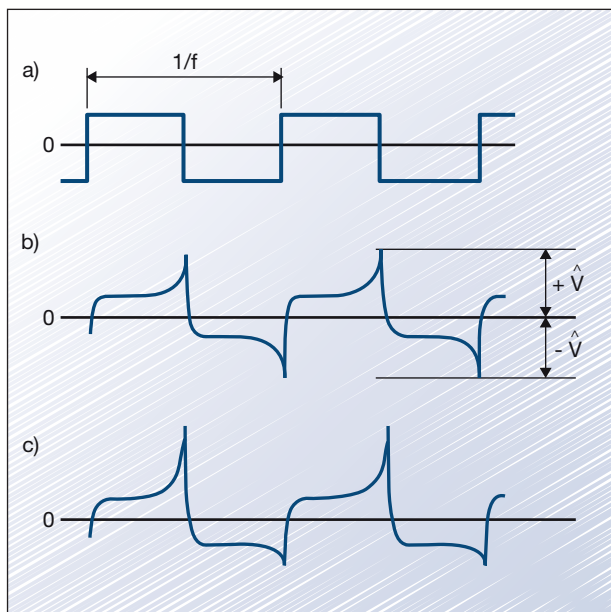


Рис. 3. Прямоугольное напряжение (3а); создаваемый ток (3б); асимметрия создаваемого тока (3с).

На рис. 4 показана очень упрощенная базовая схема компенсации постоянного тока.

Если первичный ток $I_p = 0$, компенсационный ток I_s будет также равен 0. Когда I_p меняется, меняется магнитный поток. Отсюда мы находим ошибку $|+\hat{V}| - |-\hat{V}|$, которая управляет подачей компенсационного тока I_s усилителем мощности, пока магнитный поток с не станет равным 0, таким образом:

$$N_s \cdot I_s = N_p \cdot I_p$$

Ток I_s , протекающий через измерительное сопротивление, преобразует ток в пропорциональное напряжение.

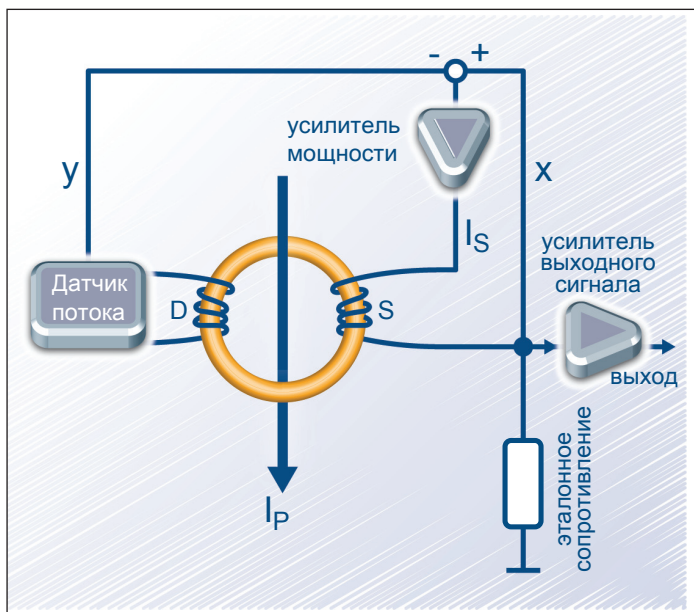


Рис. 4. Упрощенная базовая схема для компенсации воздействия постоянного тока.

Точность измерения будет зависеть не только от точности измерительного сопротивления, но также в высшей степени от чувствительности детектора магнитного потока. Тем не менее, не смотря на точность данного способа измерения постоянного тока, в этой схеме есть несколько недостатков (рис.5):

В связи с тем, что обмотка «D» детектора магнитного потока сцеплена с компенсационной обмоткой «S», прикладываемое прямоугольное напряжение воздействует на компенсационную обмотку и создает паразитный ток в измерительном сопротивлении.

Тем не менее, прямоугольное напряжение, индуцируемое в обмотке S этим потоком может быть практически нейтрализовано, если в обмотку S ввести второй сердечник детектора и сделать вторую обмотку D' (идентичную D). Остаточный магнитный поток (сумма разнонаправленных потоков в обмотках D и D') будет создавать очень малые пики напряжения, которые будут

Рекомендуется подавать первичный ток только после подачи напряжения питания на датчик тока. Невыполнение этого условия приведет к осцилляциям на выходе и задержке измерения первичного тока. Кроме того, это может привести к дополнительному смещению.

Магнитная часть датчика реализована так, как это схематично показано на рис. 6:

Четвертая обмотка W навивается перед компенсационной обмоткой S на основной сердечник для расширения частотного диапазона трансформаторного эффекта в сторону более низких частот. Она связана с цепью, которая добавляет некоторое напряжение с помощью усилителя мощности для компенсации слишком малого индуцированного напряжения в частотном диапазоне, который слишком высок для датчика магнитного потока.

Схема компенсационной петли показана на рис.7.

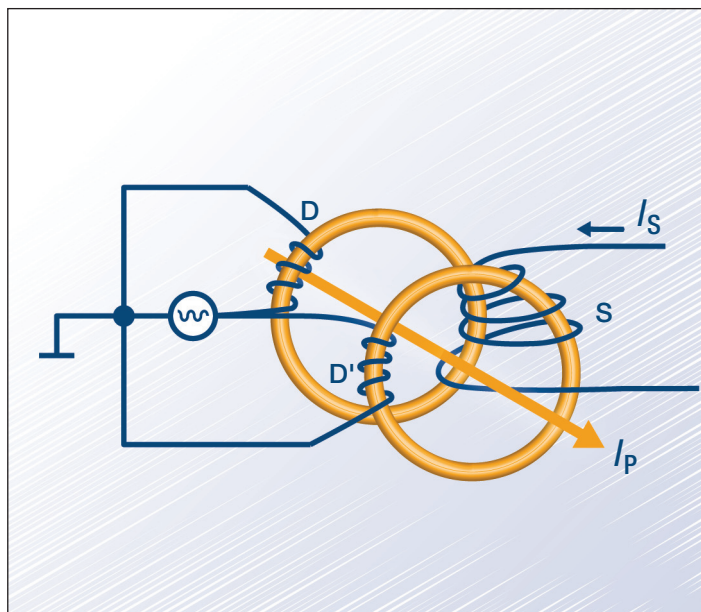


Рис 5. Решение проблемы инъекции пиков напряжения в компенсационную обмотку.

создавать остаточный сигнал, коррелированный с намагничиванием магнитопровода (рис. 5 и 6).

Если не нужна широкая полоса пропускания, то граничная частота системы может быть заложена ниже частоты перемагничивания магнитопроводов. Компания LEM предлагает датчики, которые имеют синхронизацию частоты перемагничивания магнитопровода с тактовой частотой пользователя, чтобы обойти проблему.

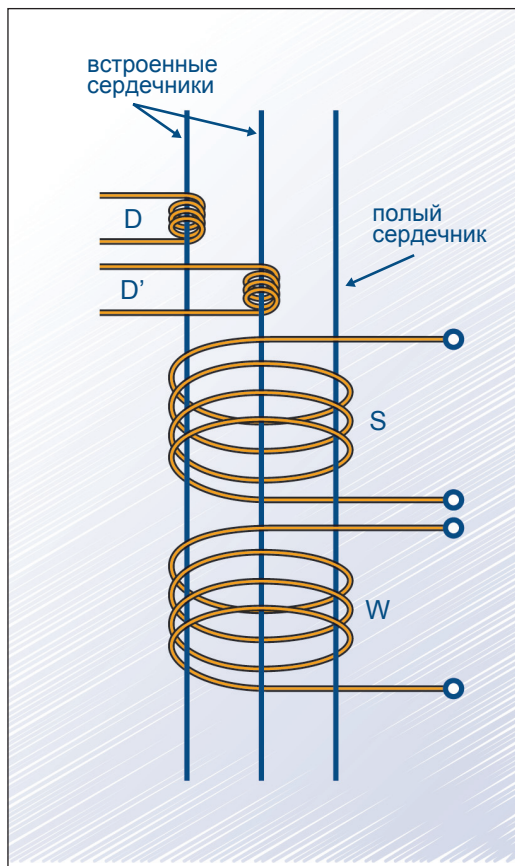


Рис 6. Применяемые обмотки и их расположение.



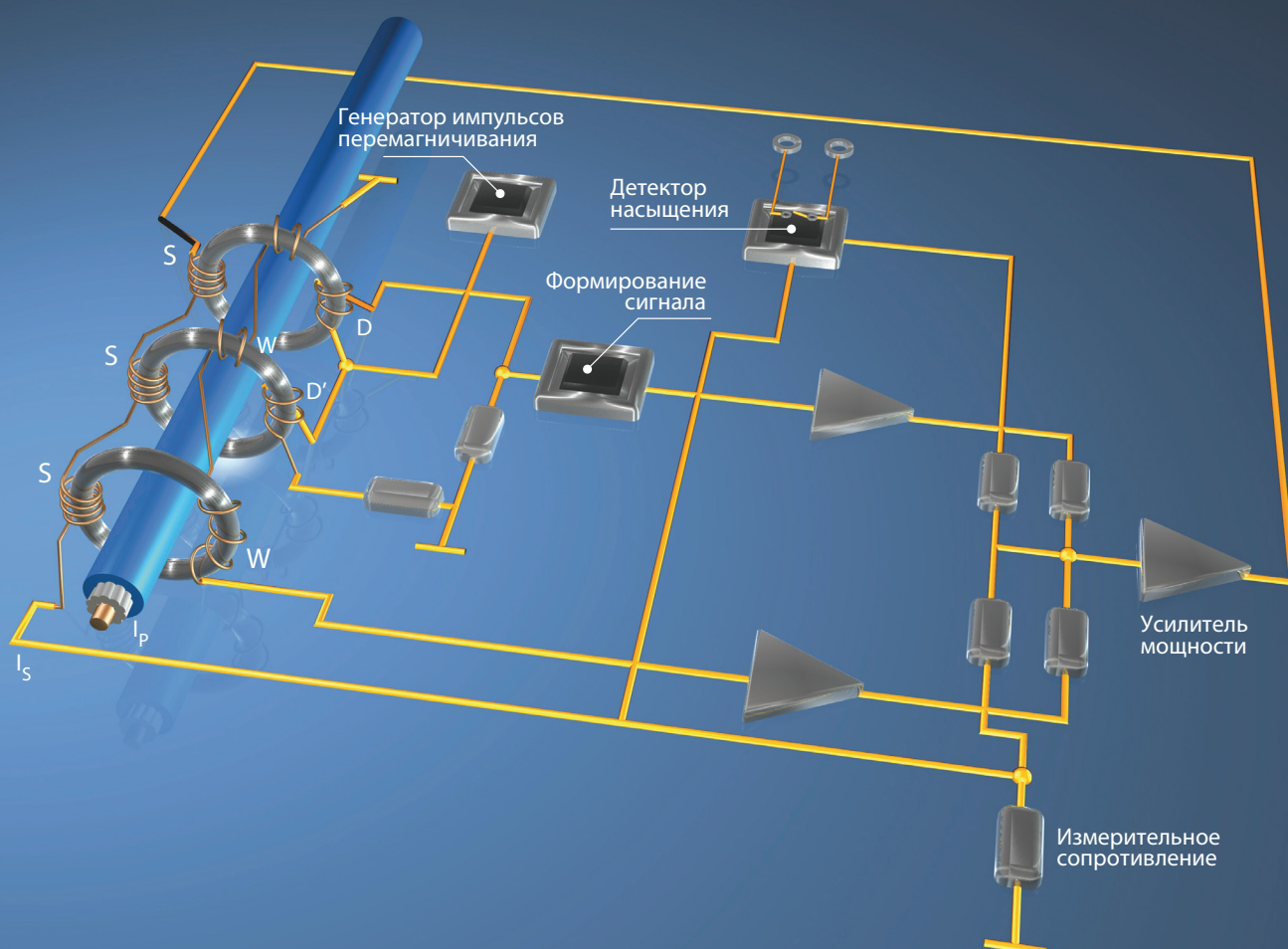
Рис 7. Схема компенсационной петли.

Общая упрощенная схема изображена на рис. 8 и прямо следует из диаграммы на рис. 7. Детектор насыщения срабатывает, когда напряжение на выходе выходит за пределы заданного диапазона.

Модель ITL 4000 не имеет обмотки W и в этой модели применяется пониженная частота оцилляции для намагничивания магнитопровода.

Конструкция измеряющей головки упрощена по сравнению с другими моделями ITxx.

Рис 8. Семейство ITxx, принцип работы: общая упрощенная схема.



Прецизионное управление передвижениями фотолитографических сканирующих степперов

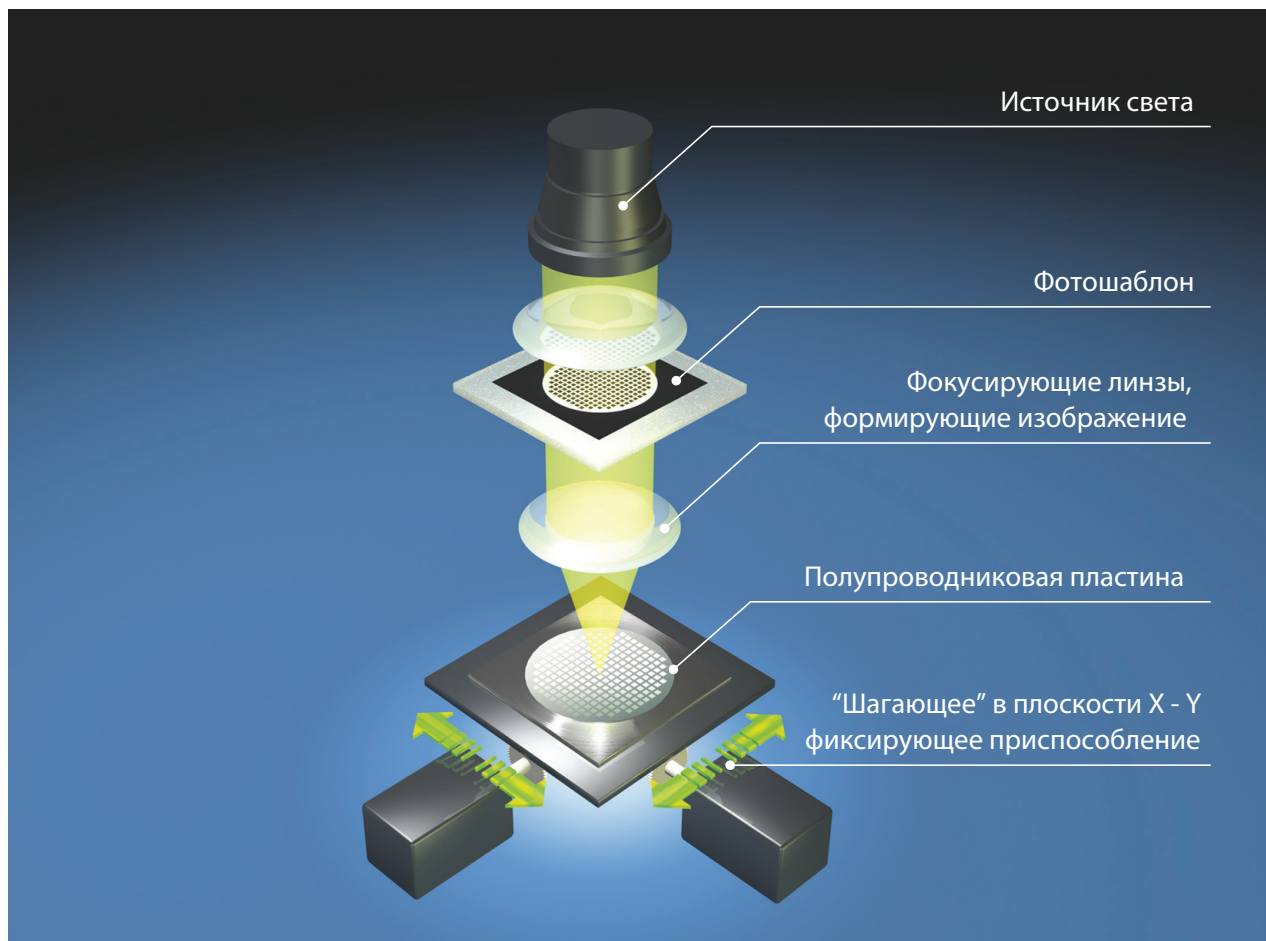
Производство полупроводников основано на сложных фотолитографических процессах, предназначенных для формирования изображения и создания наноразмерных структур, которые формируют компоненты интегральной схемы на кристалле. Основы этого метода во многом схожи с обычным фотографическим процессом, когда освещенный объект проецируется на светочувствительную поверхность, например, эмульсию фотопленки или ПЗС-матрицу при помощи линз. Если говорить в терминах экспонирования полупроводниковых пластин, то объект — это маска, содержащая (в увеличенном масштабе) геометрическую «модель» структуры, которую нужно сформировать, а пленка/ПЗС-матрица — кремниевая пластина с так называемым фоторезистом, нанесенным на ее поверхность. Экспонирование производится не светом видимого диапазона, а при помощи источников глубокого ультрафиолета, например, эксимерного лазера с длиной волны 193 нм. Применение очень короткой длины волны имеет решающее значение, поскольку разрешение данного способа прямо пропорционально длине волны - при использовании для экспонирования более короткой длины волны возможно получить геометрические фигуры меньшего размера.

В итоге, можно получить более высокий уровень интеграции (число транзисторов на единицу площади).

Оборудование, которое засвечивает полупроводниковую пластину ультрафиолетовым светом через фотошаблон, называется степпером. Термин «степпер» (от англ. step — шаг) применяется потому, что установка проходит по пластине шагами через ряд положений, чтобы получить на каждой полупроводниковой пластине набор одинаковых кристаллов (интегральных схем). Во время экспонирования соответствующий кристалл, шаблон, полупроводниковая пластина и источник света находятся неподвижно относительно друг друга (рис. 1).

В связи с тем, что на каждом шаге за один цикл процесса засвечивается весь кристалл, явление абберации (погрешности при проецировании) в оптической системе определяет верхний предел площади кристалла и достижимую детализацию геометрии. Чтобы преодолеть это был разработан метод сканирования фотошаблона на кристалл. При этом методе каждый кристалл засвечивается способом, когда шаблон и полупроводниковая пластина двигаются

Рис 1. Базовый принцип технологии фотолитографии.



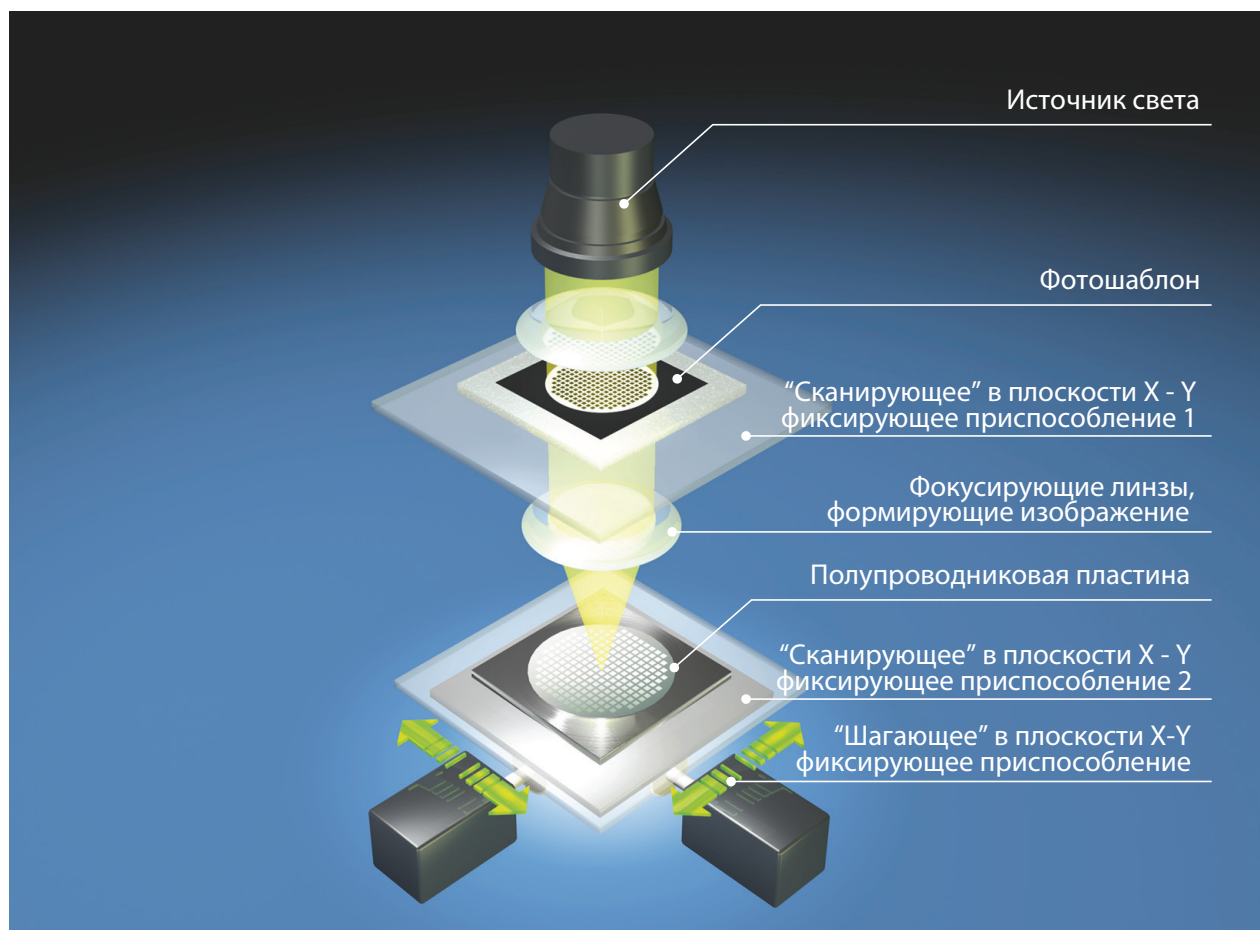


Рис 2. Фотогальванический сканирующий степпер.

в противоположном направлении относительно друг друга во время процесса экспонирования. Так фотошаблон эффективно обходит полупроводниковую пластину, используя при этом только центральную часть системы линз, таким образом, может быть покрыта относительно большая площадь при сохранении луча в центре оптической системы для сохранения максимального уровня разрешения и детализации (рис. 2).

В связи с тем, что в основе принципа работы сканирующего степпера лежит движение «объекта» и «пленки» при выполнении процедуры экспонирования, и планируется воспроизводить геометрические фигуры нанометрового масштаба, становится очевидным, что управление положением и перемещением очень важно в этой схеме. Управление позиционированием разделено на два механизма: шаговое позиционирование, при котором полупроводниковая пластина позиционируется в положение обработки конкретного кристалла, и сложное позиционирование сканирования, где механизм сканирующего позиционирования управляет полупроводниковой пластиной и фотошаблоном, движущимися в противоположных направлениях.

Механизм сканирующего позиционирования имеет ограниченное перемещение (порядка 10 — 20 мм) и, как правило, выполняется в виде линейного привода типа «звуковая катушка». Управление движениями этого типа механизмов может быть реализовано путем измерения тока возбуждения в катушке привода; при этом, в связи с большой важностью достижения практически идеальной синхронизации между

передвижениями двух видов, становится критически важным высокоточное измерение тока с чрезвычайно высокой дифференциальной линейностью. Ультравысокоточные датчики постоянного тока, такие как ITN 12-P компании LEM, монтируемые на печатную плату, обеспечивают требуемую точность и дифференциальную линейность в этом типе применений. Единственной подходящей альтернативой, имеющей тот же уровень линейности, является простой шунтирующий резистор, но в связи с тем, что токи возбуждения обычно составляют несколько ампер (5 — 15 А), этот метод находится на грани с точки зрения потерь мощности и, как следствие, дрейфа, вызываемого изменениями температуры. Кроме того, выходу от шунтирующего резистора свойственно внесение синфазной составляющей, чего нет при использовании трансформатора постоянного тока (Direct Current Current Transformer, DCCT), в котором первичная и вторичная обмотки гальванически развязаны.

В заключение необходимо отметить, что, несмотря на более высокую стоимость ультравысокоточных трансформаторов постоянного тока DCCT, преимущества, предлагаемые этой технологией, оправдывают их применение вместо шунтирующих резисторов в сканирующих степперах для производства полупроводников.

Датчики тока с технологией Fluxgate повышают резкость МРТ изображений

МРТ — магнитно-резонансная томография — эффективная медицинская технология, которая произвела революцию в диагностике очень широкого диапазона заболеваний и травм, значительно снизившая или даже во многих случаях исключившая необходимость диагностического хирургического вмешательства. Она позволяет практикующим медикам получить двух- и трехмерные изображения, а также сечения внутренних структур и органов пациента с высокой точностью.

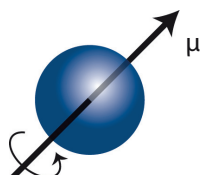
В основе результатов, достигнутых МРТ, лежит широкий диапазон современных технологий, включая методы прецизионных измерений: практически невероятная резкость изображений, получаемых с помощью МРТ, напрямую зависит от измерений основных электрических параметров.

МРТ часто соседствует и в некоторых случаях является дополнением КТ (компьютерной томографии). Получение изображения в КТ основано на рентгеновском излучении, которое является наилучшим методом получения изображений структур, имеющих высокую плотность (например, костей), в то время как МРТ-сканирование показывает детали структуры мягких тканей.

Принцип работы МРТ основывается на ядерном магнитном резонансе. Фактически, МРТ детектирует магнитный резонанс протонов атомов водорода воды, находящейся внутри тела человека: вода составляет до 70 % веса тела. Говоря более точно, МРТ считывает отклик ядра атома водорода, возбужденного как магнитным, так и электрическим полем.

Энергия, накопленная объемным элементом (вокселом), зависит от распределения воды в анализируемой области. Поэтому с помощью МРТ можно получать трехмерное изображение распределения воды в теле человека. Каждый тип ткани тела имеет внутри характерное количество воды, что позволяет получить изображение этих тканей и любых повреждений, наблюдая за изменениями распределения воды.

Рис 3. Ядро атомов обладает магнитным моментом, представленным векторной величиной с направлением вдоль оси вращения.



Принцип ядерного магнитного резонанса (ЯМР):

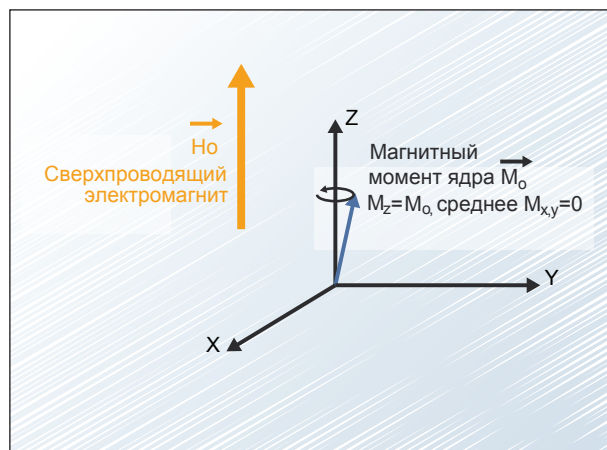
Ядро атомов имеет свойство вести себя как магнитный диполь или магнит при возбуждении магнитным полем (рис. 3). Ядра атомов обладают спином (или магнитным моментом), который мы условно представим вектором, направленным вдоль оси вращения.

В отсутствие какого-либо внешнего воздействия этот маленький магнит не ориентирован в каком-то определенном направлении. В случае воздействия на



Рис 4. При воздействии магнитного поля постоянного тока H_0 между 0,2 и 3 Тл, спины ориентируются по направлению магнитного поля.

Рис 5. В каждый момент времени направление оси спина не совпадает с приложенным полем, но из-за его прецессии средние значения x - и y -составляющих равно нулю.



этот магнит постоянным однородным магнитным полем (обозначим его H_0), он поменяет пространственную ориентацию и расположится вдоль H_0 в одном из двух направлений: прямом и обратном. Магнитный момент ядра мал и для переориентации в соответствии с направлением магнитного поля это магнитное поле должно быть интенсивным; соответствующая магнитная индукция B_0 должна составлять, как правило, от 0,2 до 3 Тл. Далее для простоты будем рассматривать только ориентацию в прямом направлении.

Процесс переориентации более тонкий, чем простая установка оси спина вдоль линий магнитного поля. Если рассмотреть ось z (рис. 5) в качестве параллельной к приложенному полю, то спин в этом случае прецессирует или вращается вокруг оси z вдоль конуса с угловой скоростью ω_0 . Соответствующая частота называется ларморовой частотой

$$\omega_0 = \gamma \cdot B_0$$

Скорость прецессии отсюда пропорциональна статическому магнитному полю; например, поле с $B_0 = 1\text{Тл}$ дает частоту $f_0 = 42,5\text{ МГц}$.

Резонанс ядра

Чтобы наблюдать резонанс ядра, необходима определенная энергия, которая позволит атому перейти из состояния покоя в состояние возбуждения. Это достижимо посредством воздействия высокочастотного магнитного поля H_1 . Если частота H_1 равна ларморовой частоте, возникает явление резонанса, и ядро переходит на более высокий энергетический уровень.

Под воздействием H_1 , ось спина ядра больше не сонаправлена с H_0 (осью z), а движется в плоскости $x-y$. После прекращения действия H_1 ось спина снова выстраивается параллельно с H_0 , а избыток энергии, полученной от возбуждения H_1 , излучается в виде затухающих электромагнитных волн (это явление

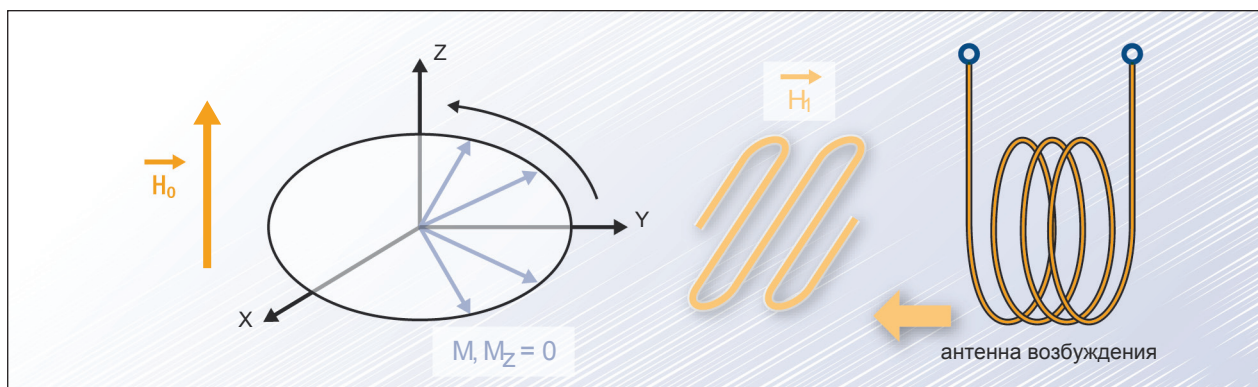
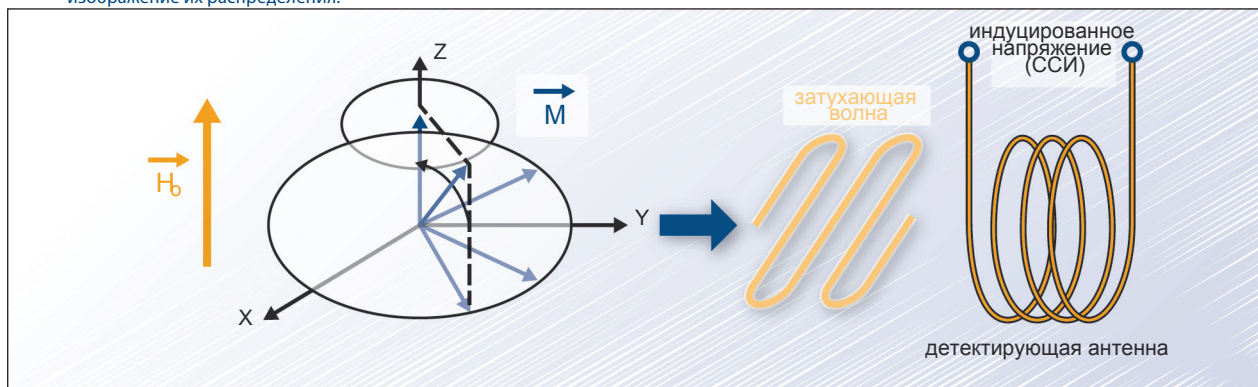


Рис 6. Антенна возбуждения обеспечивает возбуждение ядра с частотой, соответствующей ларморовой частоте.

Рис 7. Атомные ядра излучают энергию во время переориентации вдоль статического магнитного поля, позволяя получить изображение их распределения.



также известно как релаксация). Антенна детектирует затухающую волну, извлекая индуцированное напряжение, называемое спадом свободной индукции ССИ (Free Induction Decay, FID)

Этот ССИ-сигнал компьютер МРТ преобразует в объемное изображение или изображение поперечного сечения.

Применение магнитных полей

Статическое магнитное поле H_0 , как уже отмечалось, должно быть очень интенсивным, высокой стабильности и однородности в объеме апертуры МРТ сканера, где находится пациент.

Большинство современных установок МРТ генерируют статическое поле посредством сверхпроводящих магнитов, расположенных вокруг цилиндра сканера. Катушки магнита сделаны из ниобий-титановых (NbTi) проводов, погруженных в жидкий гелий при температуре 4K.

Градиентные катушки накладывают на H_0 магнитный градиент для обеспечения пространственного кодирования изображения. В данный момент времени отображается только одна плоскость или срез, и чтобы принимать сигналы только от расположенных в этой плоскости ядер, в состояние резонанса должно быть введены только ядра из этой плоскости.

Появление резонанса строго зависит от значения магнитного поля H_0 : градиентные катушки накладывают магнитное поле таким образом, чтобы результирующее магнитное поле было равно H_0 только в рассматриваемой плоскости.

Как работают градиентные катушки

Для создания градиентного поля вдоль осей необходима пара катушек. В каждой паре токи текут в противоположных направлениях (принципиальная схема изображена на рис. 8).

Фактически, вокруг установки МРТ расположены три пары градиентных катушек для создания трех ортогональных магнитных полей. Благодаря этому возможно настроить магнитное поле в любой точке в объеме цилиндра. Током градиентных катушек управляют градиентные усилители, работающие по принципу замкнутого контура серво-типа (рис. 9). Каждой установке МРТ, таким образом, необходимы три таких контура управления током.

Как видно из принципа работы МРТ, кратко описанного выше, качество, чистота и разрешение изображения напрямую связаны с этими приложенными магнитными полями и, как следствие, зависят от токов, подаваемых в градиентные катушки. Одним из ключевых элементов цепи управления током является точность датчика тока по всем параметрам.

В частности, критически важными являются следующие параметры тока :

- Чрезвычайно низкая ошибка нелинейности (<3 ppm от диапазона измерений).
- Очень низкий уровень белого шума (низкочастотный шум от 0,1 Гц до 1 кГц).
- Очень низкий дрейф смещения и чувствительности в температурном диапазоне (<0,3 ppm/K).

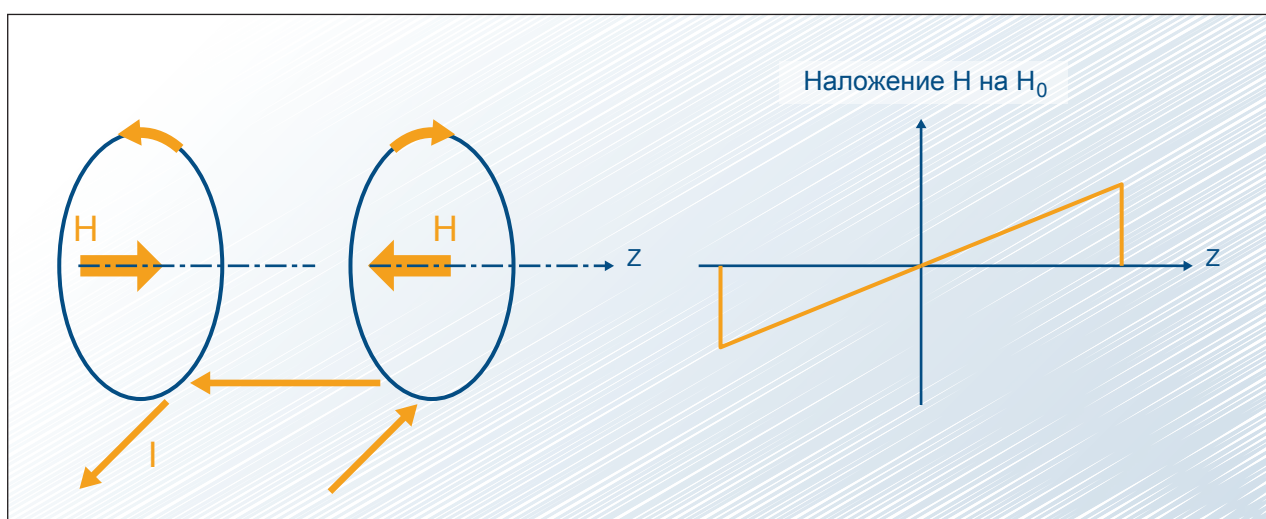


Рис.8. Градиентные катушки повышают статическое поле с одного конца и уменьшают его с другого, задавая плоскость, в которой результирующее поле имеет в точности требуемое значение.

- Очень высокая стабильность смещения с течением времени (одной причиной для этого является продолжительность процедур МРТ сканирования, некоторые из которых длятся несколько десятков минут).
- Диапазон измерений (около 1000 А в пике)
- Полоса пропускания (200 кГц на уровне -3дБ).

Для достижения этого уровня характеристик датчики тока, основанные на эффекте Холла, которые применялись в предыдущих поколениях МРТ сканеров, больше не подходят. Решение компании LEM, разработанное, в первую очередь, для этой области применения, имеет сходство с методом, основанным на эффекте Холла, но обладает значительными преимуществами. Его можно описать как датчик типа fluxgate с двойным магнитоводом компенсационного типа, конкретный тип датчика - ITL 900. Хотя технология fluxgate известна давно, компания LEM смогла воспользоваться, адаптировать и улучшить эту технологию.

Наравне с прецизионным управлением током в градиентных усилителях для получения изображений в медицинской области, датчик ITL 900 также применим для измерений тока обратной связи в прецизионных регулируемых источниках тока, в измерениях тока для анализа электропитания, в калибровке тестового оборудования, а также в лабораторном и

метрологическом оборудовании, которые также требуют высокой точности измерения тока.

В ее современном состоянии эта технология ограничена относительно узким температурным диапазоном (как правило, от +10°C до +50°C). Тем не менее, в компании LEM уверены, что технологию можно продолжать совершенствовать и что датчик ITL 900 сможет доказать свою важность для будущих установок МРТ сканирования, какими были датчики на основе эффекта Холла в первых установках МРТ. Как и датчики на основе эффекта Холла, датчик ITL 900, обладая передовыми техническими характеристиками, вполне вероятно подойдет для многих задач будущего.

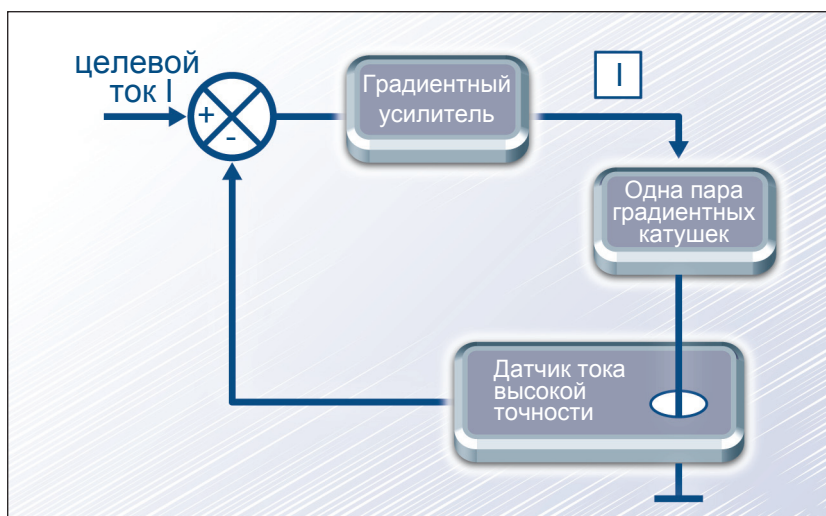


Рис 9. Выходной сигнал от датчика тока в цепи обратной связи является основой получения требуемого уровня точности градиентного усилителя тока.

Высокопрецизионные датчики тока компании LEM для рынка тестирования и измерений

Общий обзор

Мир стал более эффективным и силовая электроника сыграла ключевую роль в достижении этой цели. Гибридные автомобили и электромобили, ветряные турбины и солнечные батареи, промышленные инверторы и двигатели становятся все более эффективными. Все эти компоненты должны быть оптимизированы относительно потерь энергии. Для измерения эффективности элементов приводов и силовой электроники необходима система измерения мощности высокой точности. В течение последних 10 лет высокопрецизионные датчики тока семейств IT и ULTRASTAB компании LEM стали стандартом для

синхронизации периода основного сигнала, точность измерения уровня мощности зависит от двух параметров:

1) Амплитудная погрешность

Определяет, насколько точно измерены напряжение $u(t)$ и ток $i(t)$.

2) Фазовая погрешность

Определяет время (сдвиг фазы) между напряжением $u(t)$ и током $i(t)$.

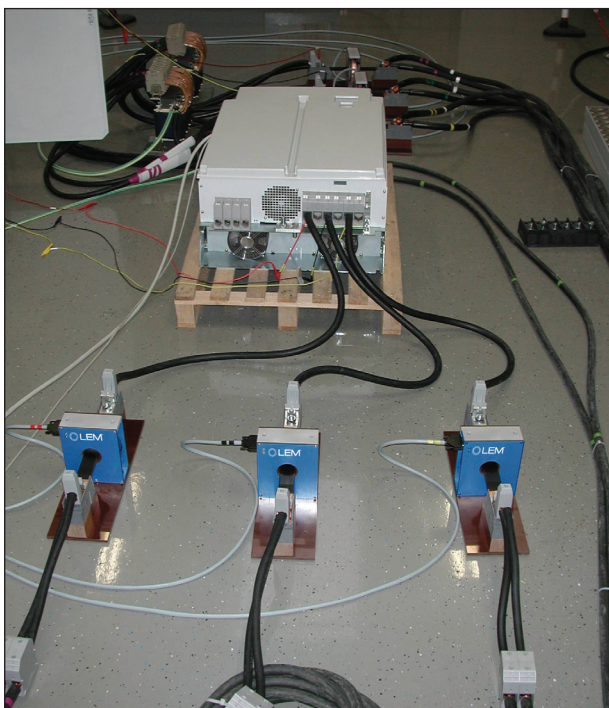


Рис. 10. Шестиканальное измерение мощности инвертора компании KEV.

расширения диапазона измеряемых токов при анализе мощности и расчете эффективности.

Требования к системе измерения мощности

Активная электрическая мощность определяется по следующей формуле:

$$P = 1/T \cdot \int_0^T p(t) dt \quad \text{где } p(t) = u(t) \cdot i(t)$$

Произведение напряжения и тока, интегрированное за один период сигнала, позволяет определить значение активной мощности. Кроме прецизионной

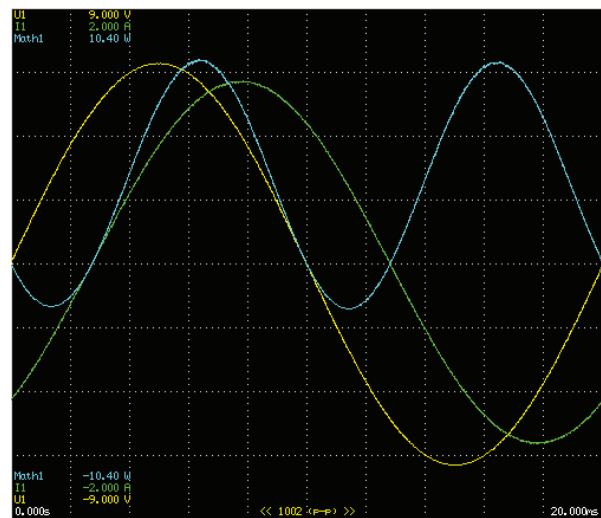
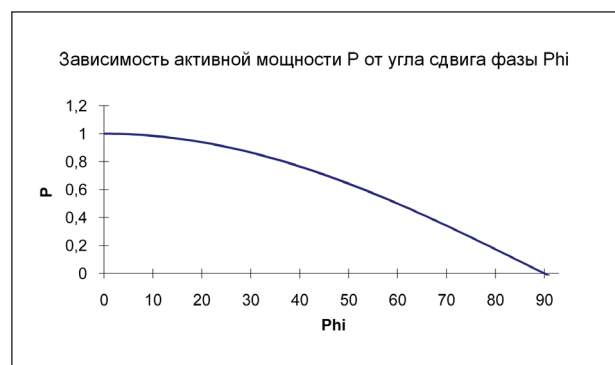


Рис. 11. Сигнал мощности (голубой) вычислен из значений $u(t)$ (желтый) и $i(t)$ (зеленый).

Напряжения до 1000 В можно напрямую измерить измерителем мощности. Для измерения уровня тока свыше нескольких ампер необходимы соответствующие высокопрецизионные датчики тока.

Влияние фазовой погрешности, вносимой прибором или датчиком, увеличивается вместе с уменьшением

Рис. 12. Влияние коэффициента мощности.



коэффициента мощности. Рис. 12 иллюстрирует эту проблему. При коэффициенте мощности, равном 1, сдвига фазы между напряжением и током нет, а сдвиг фаз даже на один градус из-за датчика тока привёл бы лишь к малой погрешности измерения уровня мощности в 0,2 %. При коэффициенте мощности 0,1 сдвиг фазы между напряжением и током составляет уже 84°. Дополнительная фазовая погрешность из-за датчика тока в 1° привела бы к громадной погрешности измерения уровня мощности в 17,4 %.

Проблема дифференциального измерения и высоких эффективностей

Самая большая проблема при расчете эффективности состоит в том, что потери энергии невозможно

напрямую измерить с достаточно высокой точностью. Большинство прецизионных измерителей мощности имеют базовую погрешность от 0,02 до 0,1 %. Проблема в том, что потери энергии нельзя измерить напрямую, а можно измерить только входную и выходную мощность. Потери энергии необходимо вычислять из двух этих значений. В наихудшем случае погрешности обоих измерений складываются. Эта проблема усиливается пропорционально эффективности нагрузки. Электроприводы имеют эффективность приблизительно 95 %, инверторы — даже до 99 %. Только инструментальные средства и датчики тока самой большой точности способны показать надежные результаты.

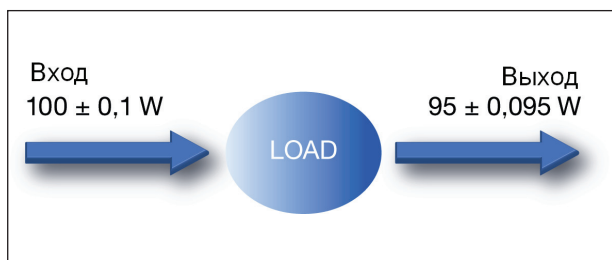


Рис. 13. Девияция входной и выходной мощности, измеренная на силовой установке с точностью 0,1 %. Результат: суммарная погрешность измерения уровня мощности 0,195 Вт (худший случай) в сравнении с реальными потерями 5 Вт эквивалентна погрешности в размере 3,9 % относительно потерь энергии.

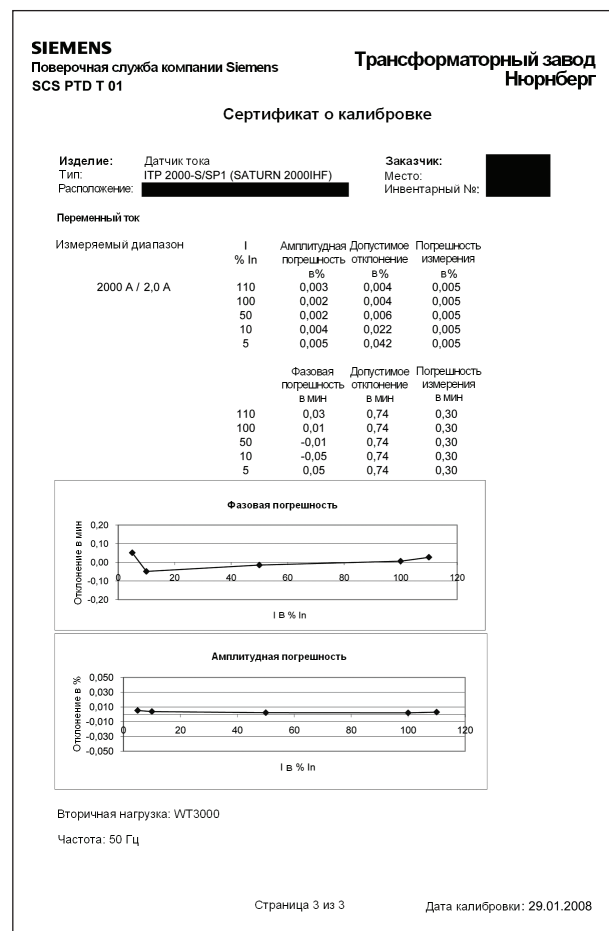


Рис. 14. Протокол калибровки датчика тока на 2000 А. Даже при низком токе в 50 А точность выше 0,005 %, а фазовая погрешность ниже 0,05 мин.

Оптимальный датчик тока для измерений мощности

Датчики тока семейств IT и ULTRASTAB сочетают в себе все требования к датчикам тока для измерения мощности. Смещение и нелинейность этих датчиков измеряется в миллионных долях (ppm). 1 ppm эквивалентен 0,0001%. Так как смещение очень мало, один и тот же датчик может применяться для измерений тока от нескольких ампер и до килоамперного диапазона. Датчики тока способны измерять в полосе частот от постоянного тока и до нескольких килогерц для больших уровней тока и до нескольких сотен килогерц для малых. Фазовая погрешность всех типов датчиков намного меньше 1 минуты, которая равна 1/60 градуса. Датчик гальванически развязан. Анализ инверторов и приводов среднего напряжения абсолютно устойчив. Благодаря гальванической изоляции отсутствует синфазный сигнал, который искажает результат.

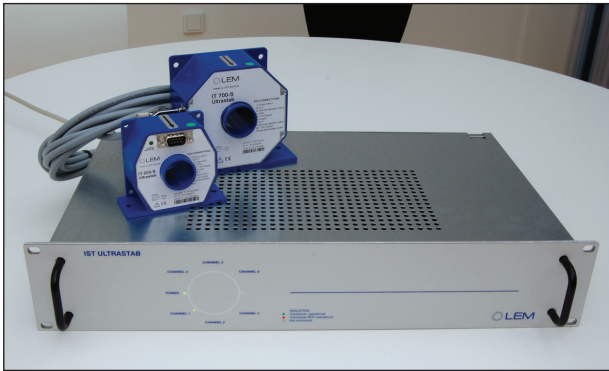


Рис 15. Мультиканальная система компании LEM.

Специальные решения для анализаторов мощности

Большинство устройств измерения мощности являются 3-, 4- или даже шестиканальными. Для легкой установки, подключения и применения наших датчиков мы предлагаем полные мультиканальные решения, включающие источник питания датчиков и соединительные провода. Тем самым, подготовка измерения мощности при помощи измерителя мощности и датчиков выполняется в течение всего нескольких минут.

Применения

Наши датчики тока вы можете обнаружить везде, где необходима разработка или проверка инверторов или приводов.

Изделия серий ITZ 2000 и ITZ 5000 обычно применяются для окончательной проверки крупных двигателей и генераторов низкого и среднего напряжения. Даже если устройство является просто приводом, работающем на



Рис. 16. Электромобиль.



Рис. 17. Ветряная турбина, солнечная батарея.

частоте 50 или 60 Гц, наши датчики тока являются очень экономичным способом измерения. Другие технологии датчиков тока требуют переключения нескольких разных датчиков для охвата полного диапазона тока. Это значительно повышает стоимость тестовой системы. Крупные датчики серии ITZ на 2 кА и 5 кА применяются для разработки ветрогенераторов и солнечных инверторов.

Датчики семейства IT могут применяться для токов от 60А до 1000 А для разработки и тестирования устройств с более низким током, таких как небольшие солнечные инверторы, небольшие и средние двигатели, а также промышленные инверторы и компоненты силовой электроники для автомобильных приложений.

Большинство датчиков применяются для анализа мощности и сигналов, однако данная технология настолько прецизионна, что некоторые датчики применяются в калибровочных лабораториях для калибровки постоянного и переменного тока.

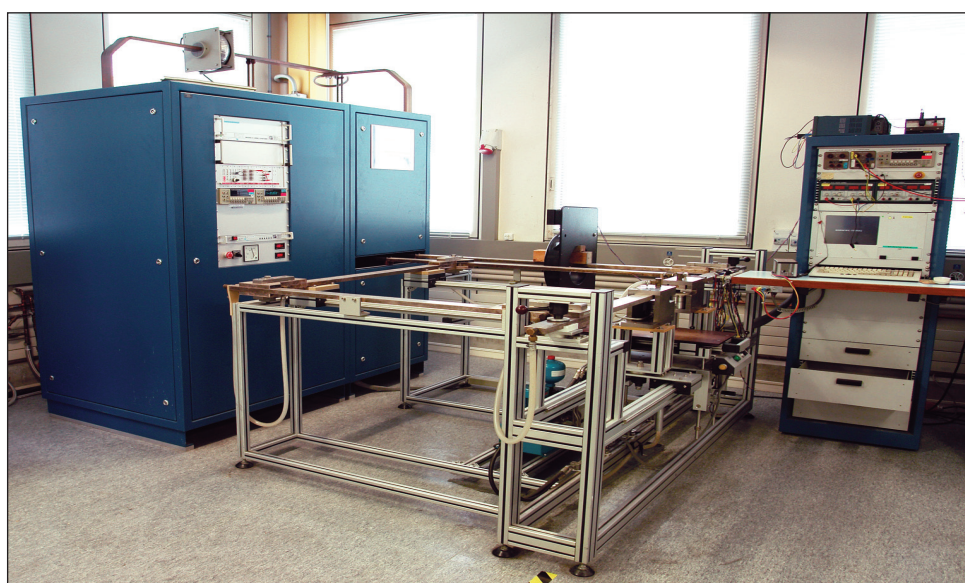
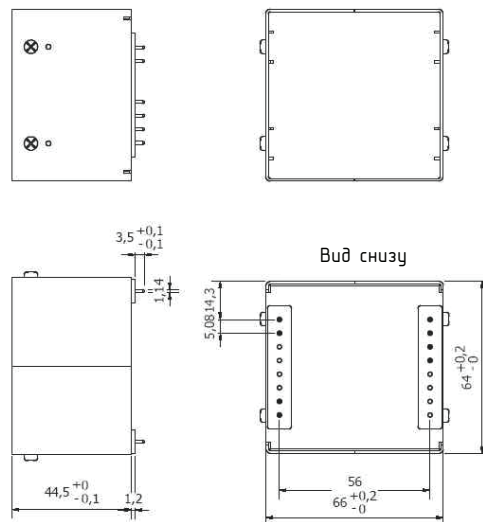


Рис. 18. Калибровочная лаборатория.

ITN 12-P

Номинальный постоянный ток	12,5 A
Номинальный среднеквадратичный ток	8,8 A
Напряжение питания	±15 В
Выходной сигнал	50 мА / 12,5 А
Частота (полоса пропускания) (±3 дБ)	постоянный ток... 500 кГц*
Габаритные размеры (мм)	66 x 64 x 44,5
Диапазон рабочих температур	+10... +45° С
Способ монтажа	Печатная плата
Конструкция	Встроенная электроника Металлический корпус

Первичный проводник встроен
*малый сигнал 0,5% от I_{PN} (постоянный ток)

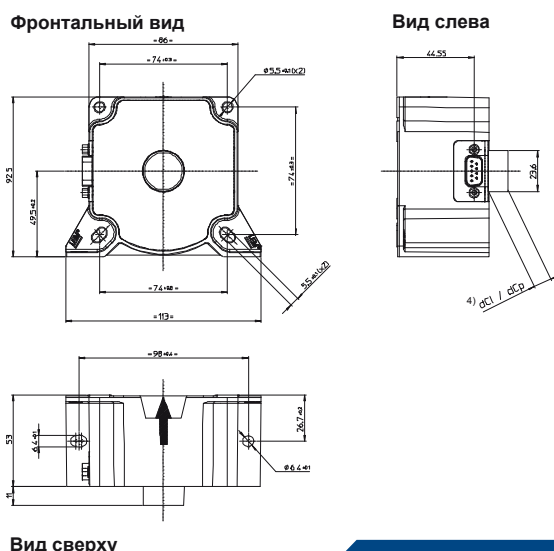


Корпус №: 1

ITB 300-S

Номинальный постоянный ток	300 A
Номинальный среднеквадратичный ток	300 A
Напряжение питания	±15 В
Выходной сигнал	150 мА / 300 А
Частота (полоса пропускания) (±3 дБ)	постоянный ток... 100 кГц*
Габаритные размеры (мм)	113 x 92,5 x 64
Диапазон рабочих температур	-40... +85° С
Способ монтажа	Панель
Конструкция	Встроенная электроника Электростатический экран

Отверстие $\varnothing 21,5$ мм для первичного проводника
*малый сигнал 0,5% от I_{PN} (постоянный ток)

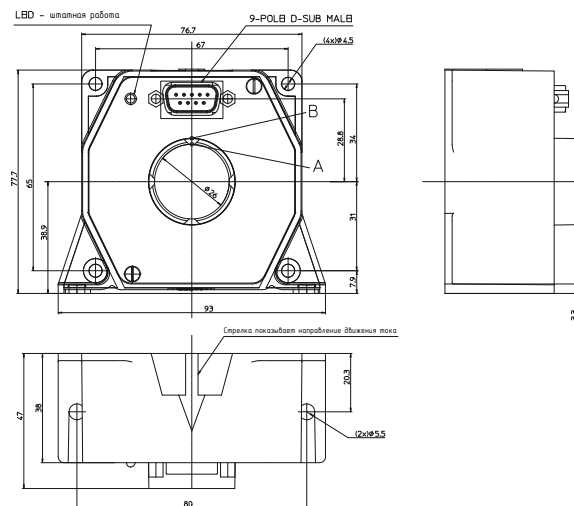


Корпус №: 2

IT 60-S, IT 200-S, IT 400-S

Номинальный постоянный ток	60 A 200 A 400 A
Номинальный среднеквадратичный ток	42 A 141 A 282 A
Напряжение питания	±15 В
Выходной сигнал	100 мА / 60 А 200 мА / 200 А 200 мА / 400 А
Частота (полоса пропускания) (±3 дБ)	постоянный ток... 800 кГц* постоянный ток... 500 кГц* постоянный ток... 500 кГц*
Габаритные размеры (мм)	93 x 77 x 47
Диапазон рабочих температур	+10... +50° С
Способ монтажа	Панель
Конструкция	Встроенная электроника Электростатический экран

Отверстие $\varnothing 26$ мм для первичного проводника
*малый сигнал 0,5% от I_{PN} (постоянный ток)

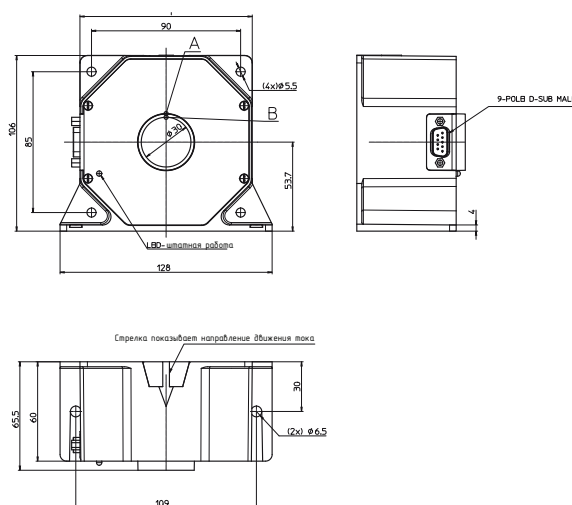


Корпус №: 3

IT 700-S, IT 700-SB, IT 1000-S/SP1

Номинальный постоянный ток	700 A 700 A 1000 A
Номинальный среднеквадратичный ток	495 A 495 A 707 A
Напряжение питания	±15 В
Выходной сигнал	400 мА / 700 А 10 В / 700 А 1 А / 1000 А
Частота (полоса пропускания) (±3 дБ)	постоянный ток... 100 кГц* постоянный ток... 100 кГц* постоянный ток... 500 кГц
Габаритные размеры (мм)	128 x 106 x 67 128 x 106 x 67 128 x 106 x 85
Диапазон рабочих температур	+10... +50° С
Способ монтажа	Панель
Конструкция	Встроенная электроника Электростатический экран

Отверстие $\varnothing 30$ мм для первичного проводника
*малый сигнал 0,5% от I_{PN} (постоянный ток)

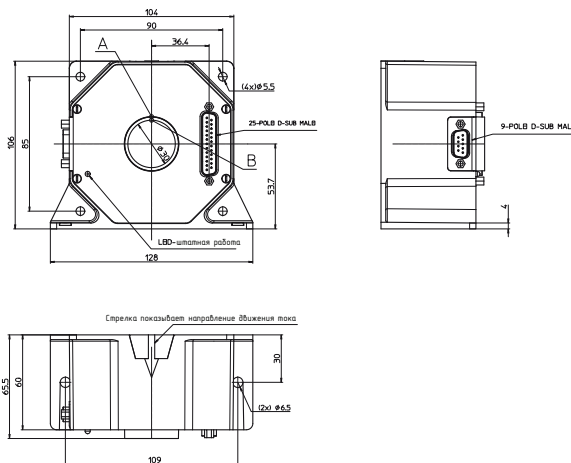


Корпус №: 4

IT 700-SPR

Номинальный постоянный ток	700 A
Номинальный среднеквадратичный ток	495 A
Напряжение питания	±15 В
Выходной сигнал	400 мА / 700 А
Частота (полоса пропускания) (±3 дБ)	постоянный ток... 100 кГц*
Габаритные размеры (мм)	128 x 106 x 67
Диапазон рабочих температур	+10... +50° С
Способ монтажа	Панель
Конструкция	Встроенная электроника Электростатический экран

Отверстие $\varnothing$ 30 мм для первичного проводника
 *малый сигнал 0,5% от I_{PN} (постоянный ток)
 Возможность программирования от 80 А шагами по 10 А

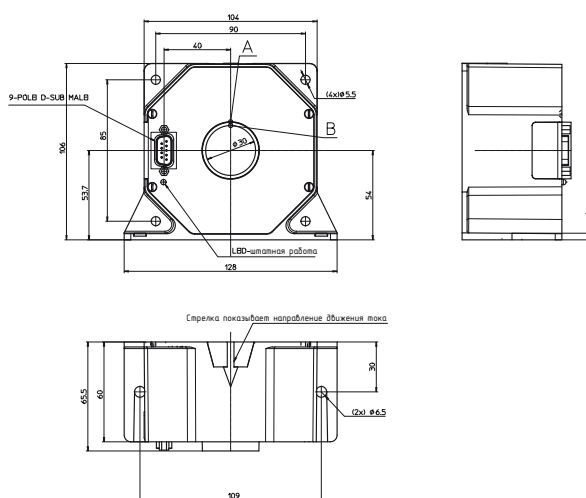


Корпус №: 5

ITN 600-S, ITN 900-S

Номинальный постоянный ток	600 A 900 A
Номинальный среднеквадратичный ток	424 A 636 A
Напряжение питания	±15 В
Выходной сигнал	400 мА / 600 А 600 мА / 900 А
Частота (полоса пропускания) (±3 дБ)	постоянный ток... 300 кГц*
Габаритные размеры (мм)	128 x 106 x 67
Диапазон рабочих температур	+10... +50° С
Способ монтажа	Панель
Конструкция	Встроенная электроника Электростатический экран

Отверстие $\varnothing$ 30 мм для первичного проводника
 *малый сигнал 0,5% от I_{PN} (постоянный ток)

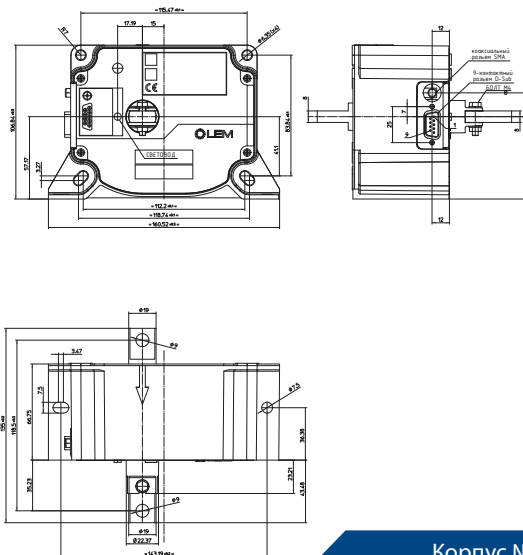


Корпус №: 6

ITL 900-T

Номинальный постоянный ток	400 А для ограничения нагрева первичной встроенной шины
Номинальный среднеквадратичный ток	400 А
Напряжение питания	± 15 В
Выходной сигнал	600 мА / 900 А
Частота (полоса пропускания) (± 3 дБ)	постоянный ток... 200 кГц*
Габаритные размеры (мм)	160,52 x 106,84 x 66,75
Диапазон рабочих температур	+10... +50° С
Способ монтажа	Панель
Конструкция	Встроенная электроника Электростатический экран

Встроенная первичная шина
*малый сигнал 32 A_{RMS}

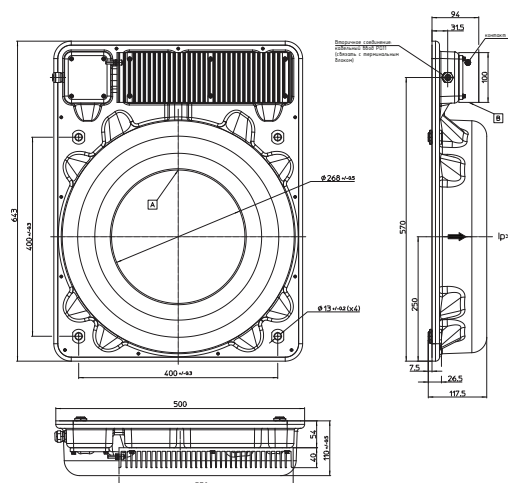
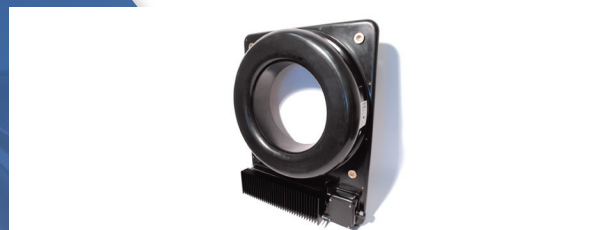


Корпус №: 7

ITL 4000-S

Номинальный постоянный ток	4000 А
Номинальный среднеквадратичный ток	4000 А
Напряжение питания	± 24 В
Выходной сигнал	1,6 А / 4000 А
Частота (полоса пропускания) (± 3 дБ)	постоянный ток... 50 кГц*
Габаритные размеры (мм)	643 x 500 x 118
Диапазон рабочих температур	-40... +70° С
Способ монтажа	Панель
Конструкция	Встроенная электроника Электростатический экран

Широкое отверстие $\varnothing 268$ мм для первичного проводника
*малый сигнал 40 A_{RMS}



Корпус №: 8

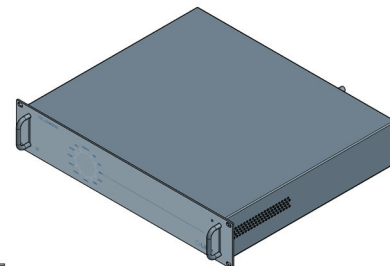
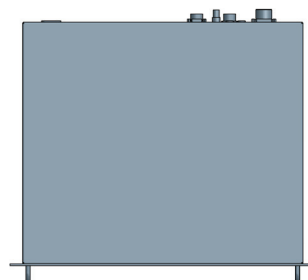
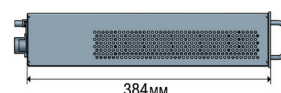
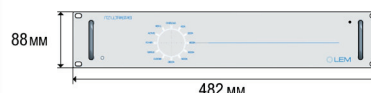
ITZ 600...24000-S & -SB & -SPR & -SBPR

Модель (-S: выход — ток) (-SB: выход—напряжение) (-SPR: выход — ток/ программируемый) (-SBPR: выход —напряжение/ программируемый)	ITZ 600-SPR & -SBPR ITZ 2000-S & -SB & -SPR & -SBPR ITZ 5000-S & -SB	ITZ 10000-S & -SB ITZ 16000-S & -SB ITZ 24000-S & -SB
Номинальный постоянный ток	600 A 2000 A 5000 A	10000 A 16000 A 24000 A
Номинальный среднеквадратичный ток	424 A 1414 A 3535 A	7070 A 11314 A 16970 A
Напряжение питания	100-240 В перем. / 50-60 Гц	
Выходной сигнал (модели -S и -SB)	1 А или 10 В / 600 А и 2000 А (для моделей -SPR и -SBPR) 2 А или 10 В / 2 и 5 и 10 и 16 кА 3 А или 10 В / 24 кА	
Частота* (полоса пропускания) (±3 дБ)	0... 500 кГц 0... 300 кГц (0... 80 кГц для ITZ 2000 -SPR и -SBPR) 0... 80 кГц	0... 20 кГц 0... 3 кГц 0... 2 кГц
Габаритные размеры (мм)	Измерительные головки: ø 25,4 ø 100 ø 50 ø 150,3 ø 140,3 ø 150,3	Электроника: 19" стойка
Диапазон рабочих температур	Измерительные головки: 0... +55° С Стойка с электроникой: +10... +40° С	
Способ монтажа	19" стойка	
Конструкция	Измерительная головка + вынесен. 19" стойка с электроникой	

19" Стойка

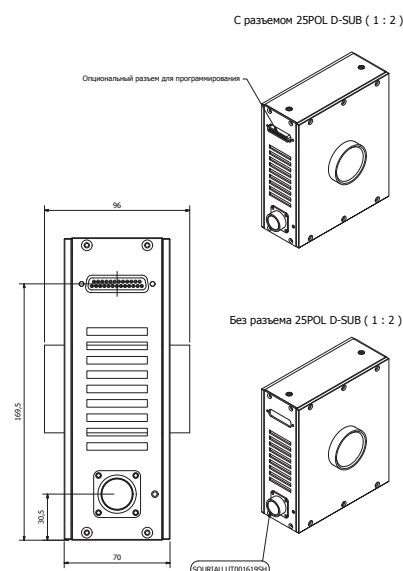
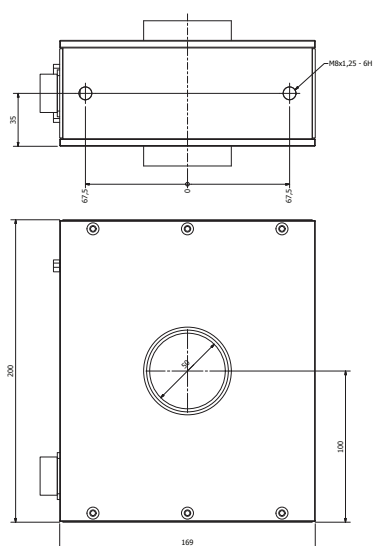
Стандартная поставка серии ITZ:

- Головка датчика
- Электроника 19" стойки
- Кабель электроники датчика, 10м
- Выходной кабель, длина 1,5 м



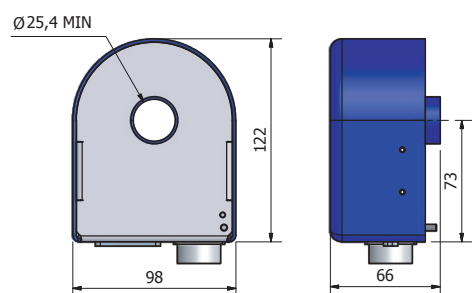
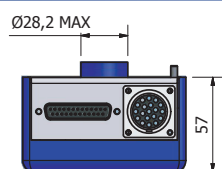
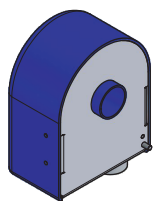
Корпус №: 9

Измерительная головка на 2кА



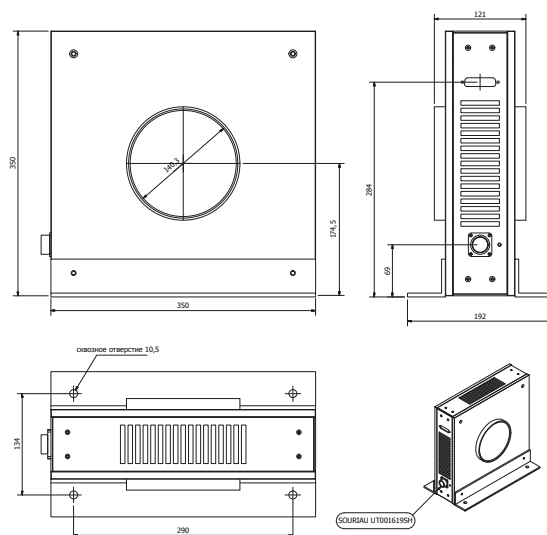
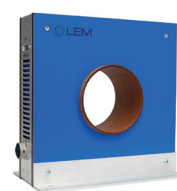
Корпус №: 9b

Измерительная головка на 600А



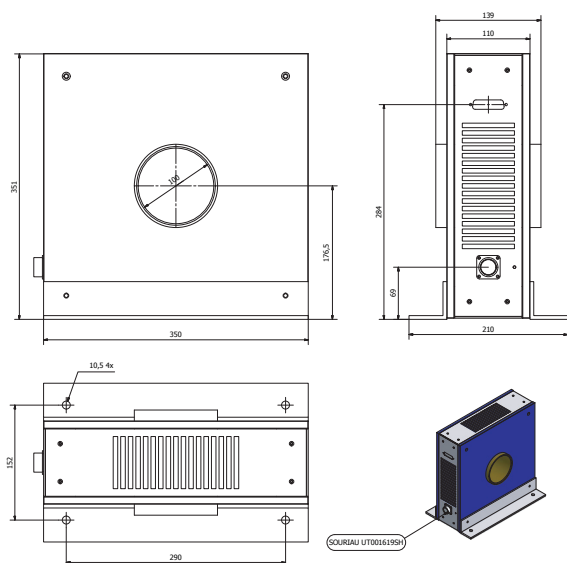
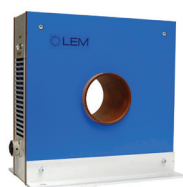
Корпус №: 9а

Измерительная головка на 5кА



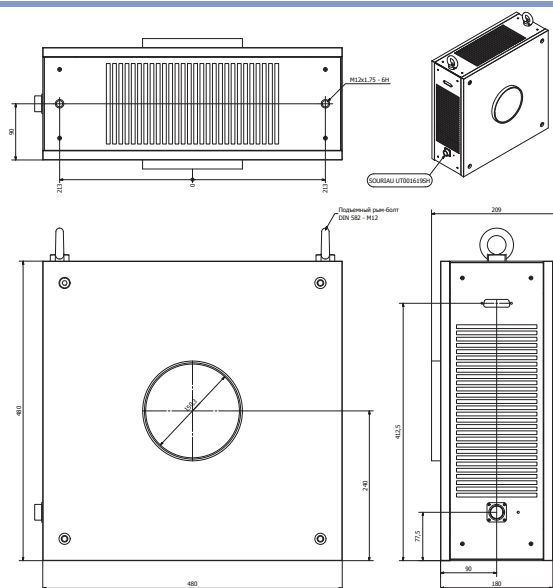
Корпус №: 9с

Измерительная головка на 10кА



Корпус №: 9д

Измерительная головка на 16-24кА



Корпус №: 9е

КОДИРОВКА ИЗДЕЛИЙ / Промышленные датчики

Семейство

- A : датчики тока на основе принципа изолирующего усилителя
- C : датчики тока на основе принципа магнетометрической компенсации (fluxgate)
- D : цифровые датчики
- F : датчики тока с детектором полей
- H : датчики тока на основе эффекта Холла без магнитной компенсации (прямого усиления)
- I : компенсационные датчики тока высокой точности
- L : датчики тока на основе эффекта Холла с магнитной компенсацией
- R : датчики тока на основе принципа пояса Роговского
- T : датчики тока на основе простого эффекта трансформатора

Группа

- A или AK или AL или AS 1)
или AT или AX или AZ : с прямоугольным пластинчатым магнитопроводом
- AR или AW или AC или X или XN : с прямоугольным пластинчатым магнитопроводом
- AF : с прямоугольным пластинчатым магнитопроводом и плоским кожухом
- AN : для вертикального монтажа
- AIS, XS, ASS, AFS : прямоугольный пластинчатый магнитопровод + однополярный источник питания + источник опорного сигнала
- ASR, KSR : прямоугольный магнитопровод + однополярное питание + источник опорного сигнала
- AY : прямоугольный магнитопровод + гибридная технология
- B : двойной тороидальный сердечник
- C : открытая печатная плата
- D : дифференциальное измерение
- HS : эффект Холла без магнитной компенсации; магнитные концентраторы + однополярный источник питания + источник опорного сигнала. При использовании с F (FHS): Minisens, датчик SO8
- F : плоская конструкция
- I : шунт изолятор
- MS : для поверхностного монтажа + однополярное питание + опорный сигнал
- OP : разъёмный магнитопровод
- TC : датчик предназначен для тяговых применений
- TD : двойное измерение
- TKS, TFS : сердечник, плоский корпус + однополярный источник питания + источник опорного сигнала
- TR, TO, TN, TZ, TL, T, TA, TB, TY : тороидальный сердечник
- TR : разъёмный сердечник
- TS : сердечник + однополярный источник питания
- TSR, TSP : сердечник + однополярный источник питания + источник опорного сигнала
- TT : тройное измерение
- V : измерение напряжения
- Y : компактный гибридный для установки на печатную плату

Номинальная сила тока

- датчик тока : среднеквадратичное значение тока
- датчик напряжения : среднеквадратичное значение ампер-витков
 - 0000 : номинальное напряжение (-1000 значит 1000 В, со встроенным первичным резистором R1)
 - AW/2 : особый тип датчика напряжения
 - AW/2/200 : номинальное напряжение для конструкции AW/2 (200 значит 200В со встроенным первичным резистором R1)

Исполнение

- N : многодиапазонный
- P : монтаж на печатную плату
- S(I) : с отверстием под первичный проводник
- T(I) : со встроенной первичной шиной

Особенности (1 или 2 дополнительные буквы или цифры)

- B : биполярное выходное напряжение
- BI : биполярный выходной ток
- C : комплект крепления без шины
- F : с монтажными лапками
- FC : с монтажными лапками + комплект крепления
- P : монтаж на печатную плату
- PR : программируемый
- R : на выходе среднеквадратичное значение
- RI : на выходе среднеквадратичное значение тока
- RU : на выходе среднеквадратичное значение напряжения

Варианты

Отличается от стандартного изделия... /SPXX

ITZ 600-SPR/...



5 лет гарантии на датчики тока компании LEM

Компания LEM разрабатывает и производит продукцию высокого качества и высокой надежности для своих заказчиков во всем мире.

С 1972 года мы осуществили поставку нескольких миллионов датчиков тока и напряжения, большинство из которых все еще работают в тяговых транспортных средствах, промышленных приводах, системах бесперебойного питания и во многих других устройствах, требующих высоких стандартов качества.

Гарантия на датчики компании LEM составляет 5 лет (60 месяцев) с даты поставки (не относится к линейке измерителей электроэнергии на транспорте и к автомобильным датчикам, для которых гарантийный период составляет 2 года).

В течение данного периода компания LEM произведет замену или ремонт всех дефектных частей за свой счет (относится к дефектам, возникшим из-за некачественных материалов или изготовления).

На другие претензии, также как претензии на компенсацию ущерба, который возник не непосредственно по причине поставленных компанией изделий, данная гарантия не распространяется.

Обо всех дефектах следует немедленно сообщать в компанию LEM, и некачественные изделия должны быть возвращены на завод с приложенным описанием дефекта.

Решение о гарантийном ремонте или замене принимается на усмотрение компании LEM.

Транспортные расходы несет заказчик. Продление гарантийного периода на время ремонта, выполненного по гарантии, не предоставляется.

Гарантия будет аннулирована, если покупатель модифицирует или произведет ремонт изделия самостоятельно или с привлечением третьей стороны без письменного разрешения компании LEM.

Гарантия не распространяется на любой ущерб, возникший в силу неправильных условий использования и форс-мажорных обстоятельств.

Компания LEM не несет какой-либо ответственности за исключением законных требований, касающихся ответственности за качество продукции.

Гарантия явно исключает все претензии, выходящие за вышеуказанные условия.

Женева, 21 июня 2011



Франсуа Габелла (François Gabella)
Президент и исполнительный директор
компании LEM

Характеристики	I_{PN} (A) пост. тока)	I_{PN} (A) RMS)	I_P (A)	V_{OUT} I_{OUT} при I_{PN} (пост.)	Отношение витков	V_C (В)	Нелиней- ность ε_L (ppm) Прим. 1) и 3)	Смеще- ние I_{OE} (ppm) Прим. 3) и 4)	Шум (RMS) (ppm) (0-100Гц) (Прим. 3)	
Модель										
Датчики постоянного/переменного тока с конструкцией в одном корпусе										
ITN 12-P	12,5	8,8	+/-12,5	50 мА	250	+/-15В пост. тока	<4	500	<0,5	
IT 60-S	60	42	+/-60	100 мА	600	+/-15В пост. тока	<20	<250	<1	
IT 200-S	200	141	+/-200	200 мА	1000	+/-15В пост. тока	<3	<80	<1	
IT 400-S	400	282	+/-400	200 мА	2000	+/-15В пост. тока	<3	<40	<0,5	
IT 700-S	700	495	+/-700	400 мА	1750	+/-15В пост. тока	<3	<50	<0,5	
IT 700-SPR	700	495	+/-700	400 мА	1750	+/-15В пост. тока	<3	<50	<1	
IT 700-SB	700	495	+/-700	10В	Н/Д	+/-15В пост. тока	<30	<60	<2	
IT 1000-S/SP1	1000	707	+/-1000	1000 мА	1000	+/-15В пост. тока	<3	<50	Н/Д	
ITB 300-S	300	300	+/-450	150 мА	2000	+/-15В пост. тока	10	666	Н/Д	
ITN 600-S	600	424	+/-600	400 мА	1500	+/-15В пост. тока	<1,5	<15	<0,3	
ITN 900-S	900	636	+/-900	600 мА	1500	+/-15В пост. тока	<1	<10	<0,2	
ITL 900-T	400	400	+/-900	266,66 мА	1500	+/-15В пост. тока	<1	<10	<0,017 (0,125Гц-1кГц)	
ITL 4000-S	4000	4000	+/-12000	1600 мА	2500	+/-24В пост. тока	<100	<62,5	<125 (0,1 Гц-10 кГц)	

Датчики постоянного/переменного тока с раздельной конструкцией										
ITZ 600-SPR	600	424	+/-600	1000 мА	600	100-240В перем.тока - 50/60Гц	<1	<2	<11 (0-10кГц)	
ITZ 600-SBPR	600	424	+/-600	10 В	600	100-240В перем.тока - 50/60Гц	<3	<2		
ITZ 2000-S	2000	1414	+/-2000	2000 мА	1000	100-240В перем.тока - 50/60Гц	<2	<2	<3 (0-10кГц)	
ITZ 2000-SB	2000	1414	+/-2000	10 В	2000	100-240В перем.тока - 50/60Гц	<4	<2		
ITZ 2000-SPR	2000	1414	+/-2000	1000 мА	2000	100-240В перем.тока - 50/60Гц	<2	<2	<7 (0-10кГц)	
ITZ 2000-SBPR	2000	1414	+/-2000	10 В	2000	100-240В перем.тока - 50/60Гц	<4	<2		
ITZ 5000-S	5000	3535	+/-5000	2000 мА	2500	100-240В перем.тока - 50/60Гц	<3	<2	<2,5 (0-10кГц)	
ITZ 5000-SB	5000	3535	+/-5000	10 В	2500	100-240В перем.тока - 50/60Гц	<5	<2		
ITZ 10000-S	10000	7070	+/-10000	2000 мА	5000	100-240В перем.тока - 50/60Гц	<5	<2	<8 (0-10кГц)	
ITZ 10000-SB	10000	7070	+/-10000	10 В	5000	100-240В перем.тока - 50/60Гц	<7	<2		
ITZ 16000-S	16000	11314	+/-16000	2000 мА	8000	100-240В перем.тока - 50/60Гц	<6	<2	<8 (0-10кГц)	
ITZ 16000-SB	16000	11314	+/-16000	10 В	8000	100-240В перем.тока - 50/60Гц	<8	<2		
ITZ 24000-S	24000	16970	+/-24000	3000 мА	8000	100-240В перем.тока - 50/60Гц	<6	<2	<8 (0-10кГц)	
ITZ 24000-SB	24000	16970	+/-24000	10 В	8000	100-240В перем.тока - 50/60Гц	<10	<2		

- 1) Нелинейность измерена при постоянном токе
- 2) Полоса пропускания измерена при малом сигнале — амплитуда 0,5% I_{PN} (пост. ток)
- 3) Все значения ppm относятся к V_{OUT} или I_{OUT} при I_{PN} (пост. ток) кроме ITL 900-T, где оно относится к $I_{OUT}=600$ мА

- 4) Ток смещения + самонамагничивание + влияние магнитного поля Земли при $T_A = + 25^\circ\text{C}$

	Шум (RMS) (ppm) (0-50кГц) (Прим. 3)	TCI _{OE} (ppm/K) (Прим. 3)	Полоса про- пускания +/-3дБ (кГц) (Прим. 2)	T _A (°C)	Способ монтажа			Корпус №	Отверстие для шины Ø (мм)
					Печатн. плата	Панель	Измерит. головка + 19" стойка		
	<10 (0-100кГц)	<2	>500	+10...+45	•			1	Встроенный проводник
	<15	<2,5	>800	+10...+50		•		3	26
	<15	<2	>500	+10...+50		•		3	26
	<8	<1	>500	+10...+50		•		3	26
	<6	<0,5	>100	+10...+50		•		4	30
	<16	<0,5	>100	+10...+50		•		5	30
	<10	<4	<100	+10...+50		•		4	30
	<6	<0,5	>500	+10...+50		•		4	30
	Н/Д	6,66	>100	-40...+85		•		2	21,5
	<15 (0-100кГц)	<0,5	>300	+10...+50		•		6	30
	<10	<0,3	>300	+10...+50		•		6	30
	<0,006 (1кГц-30кГц)	<0,3	>200 ⁵⁾	+10...+50		•		7	встроенная шина диаметр 19 мм
	<125 (0,1 Гц-10 кГц)	<1,38	>50 ⁶⁾	-40...+70		•		8	268

	<28 (0-100кГц)	<0,1	>300 ⁷⁾	0...+55 головка +10...+40 электр.			•	9 + 9a	25,4
		<0,6	>300 ⁷⁾	0...+55 головка +10...+40 электр.			•	9 + 9a	25,4
	<27 (0-100кГц)	<0,1	>300 ⁷⁾	0...+55 головка +10...+40 электр.			•	9 + 9b	50
		<0,6	>300 ⁷⁾	0...+55 головка +10...+40 электр.			•	9 + 9b	50
	<42 (0-100кГц)	<0,1	>80 ⁷⁾	0...+55 головка +10...+40 электр.			•	9 + 9b	50
		<0,6	>80 ⁷⁾	0...+55 головка +10...+40 электр.			•	9 + 9b	50
	<20 (0-100кГц)	<0,1	>80 ⁷⁾	0...+55 головка +10...+40 электр.			•	9 + 9c	140,3
		<0,6	>80 ⁷⁾	0...+55 головка +10...+40 электр.			•	9 + 9c	140,3
	<20 (0-100кГц)	<0,1	>20 ⁷⁾	0...+55 головка +10...+40 электр.			•	9 + 9d	100
		<0,6	>20 ⁷⁾	0...+55 головка +10...+40 электр.			•	9 + 9d	100
	<20 (0-100кГц)	<0,1	>3 ⁷⁾	0...+55 головка +10...+40 электр.			•	9 + 9e	150,3
		<0,6	>3 ⁷⁾	0...+55 головка +10...+40 электр.			•	9 + 9e	150,3
	<20 (0-100кГц)	<0,1	>2 ⁷⁾	0...+55 головка +10...+40 электр.			•	9 + 9e	150,3
		<0,6	>2 ⁷⁾	0...+55 головка +10...+40 электр.			•	9 + 9e	150,3

5) Малый сигнал 5 % I_{PN} (пост. ток), 32 A_{RMS}

Н/Д: нет данных

6) Малый сигнал 40 A_{RMS} при +/- 1 дБ

7) Полоса пропускания измерена при малом сигнале -
амплитуда 1% I_{PN} (пост. ток)

Характеристики	Особенности	Электростат. экран между первичной и вторичной частью	Выход состояния датчика (рабочее состояние)	Выход состояния датчика (низкий уровень измеряемого тока)	Выход состояния датчика (высокий уровень измеряемого тока)	Выход состояния датчика (перегрузка)	Внешняя синхронизация	Выход состояния синхронизации	
Модель									
Датчики постоянного/переменного тока в одном корпусе									
ITN 12-P	Металлический корпус для высокого уровня устойчивости к внешним помехам								
IT 60-S		•	•						
IT 200-S		•	•						
IT 400-S		•	•						
IT 700-S		•	•						
IT 700-SPR	Программируемый от 80А шагами по 10А	•	•						
IT 700-SB	Напряжение на выходе +/- 10В пост.тока при I_{PN} (пост. тока)	•	•						
IT 1000-S/SP1	Широкая полоса пропускания	•	•						
ITB 300-S		•	•						
ITN 600-S		•	•						
ITN 900-S		•	•						
ITL 900-T		•	•				•	•	
ITL 4000-S	Широкое отверстие	•							

Датчики постоянного/переменного тока с раздельной конструкцией									
ITZ 600-SPR	Программируемый шагами по 20 А от 40 А до 620 А	•	•	•	•	•			
ITZ 600-SBPR	Программируемый шагами по 20 А от 40 А до 620 А	•	•	•	•	•			
ITZ 2000-S		•	•	•	•	•			
ITZ 2000-SB		•	•	•	•	•			
ITZ 2000-SPR	Программируемый шагами по 125 А от 125 А до 2000 А	•	•	•	•	•			
ITZ 2000-SBPR	Программируемый шагами по 125 А от 125 А до 2000 А	•	•	•	•	•			
ITZ 5000-S		•	•	•	•	•			
ITZ 5000-SB		•	•	•	•	•			
ITZ 10000-S		•	•	•	•	•			
ITZ 10000-SB		•	•	•	•	•			
ITZ 16000-S		•	•	•	•	•			
ITZ 16000-SB		•	•	•	•	•			
ITZ 24000-S		•	•	•	•	•			
ITZ 24000-SB		•	•	•	•	•			

- 1) Нелинейность измерена при постоянном токе
- 2) Полоса пропускания измерена при малом сигнале - амплитуда 0,5% I_{PN} (пост. ток)
- 3) Все значения ppm относятся к V_{OUT} или I_{OUT} при I_{PN} (пост. ток), кроме ITL 900-T, где они относятся к $I_{OUT}=600$ мА
- 4) Ток смещения + самонамагничивание + влияние магнитного поля Земли при $T_A = + 25^{\circ}\text{C}$

