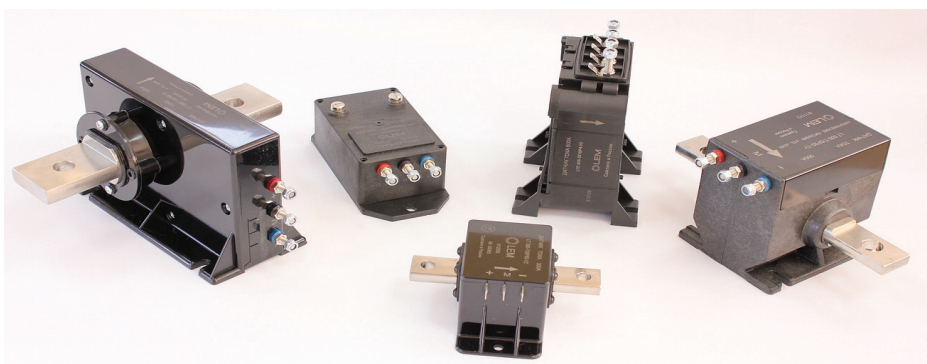


Изолированные датчики тока и напряжения производства ООО «ТВЕЛЕМ» Характеристики - Применение - Расчеты





Введение

ООО «ТВЕЛЕМ» было создано в 1989 году как совместное предприятие Тверского завода электроаппаратуры и фирмы LEM (Швейцария)- мирового лидера в производстве изолированных датчиков-трансформаторов тока и напряжения. Основной задачей СП «ТВЕЛЕМ» было производство современных датчиков-трансформаторов тока и напряжения для нужд народного хозяйства СССР.

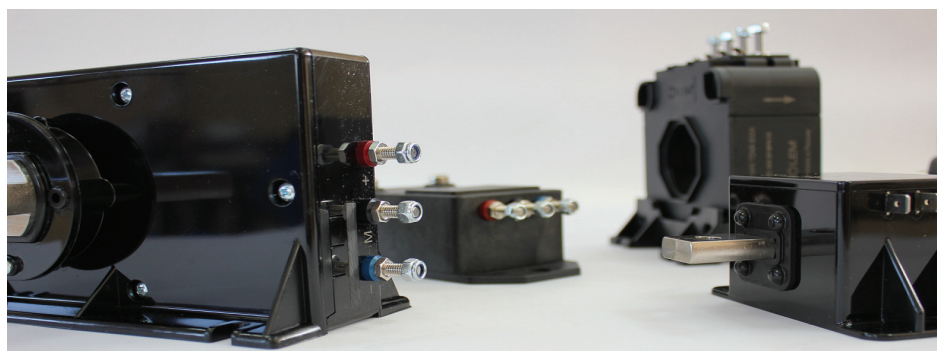
Сегодня 100 % учредителем ООО «ТВЕЛЕМ» является фирма LEM (Швейцария).

Начав работу с производства четырех типов датчиков, «ТВЕЛЕМ» в настоящее время выпускает более 40 типов датчиков на разные токи и напряжения для различных условий применения. Более того, мы можем предложить российскому потребителю более 3000 типов датчиков производства фирмы LEM.

Среди потребителей нашей продукции – производители частотно-регулируемых приводов, скоростных локомотивов и комфортабельных железнодорожных вагонов, современных средств диагностики состояния энергосистем, производители электротехнических и электронных изделий и многие другие.

На предприятии внедрена и сертифицирована Система менеджмента качества на базе требований стандарта ISO 9001: 2008.

Мы надеемся, что Вы найдете в этом каталоге полезные рекомендации по выбору нашей продукции. По всем вопросам Вы можете посетить наш сайт www.lem.com или связаться с нами по телефонам/факсу: + 7 4822 655672, +7 4822 655673 или по электронной почте tvelem@lem.com.



Содержание

Страницы

Введение	2
1. Оптимальные решения с использованием датчиков	4
2. Определяющие параметры для выбора датчиков	5
2.1 Какие основные параметры нужно учитывать	5
2.2 Основные критерии выбора	5
2.3 Дополнительные критерии выбора	5 - 7
3. Датчики, основанные на эффекте Холла	8
3.1 Определение эффекта Холла	8
3.2 Датчики тока компенсационного типа на эффекте Холла	9
3.2.1 Конструкция и принцип действия	9 - 10
3.2.2 Характеристики и свойства	11
- диапазон преобразования	11
- выходной сигнал - нагрузочное сопротивление	11
- точность преобразования	11 - 12
- магнитное смещение	12
- динамические характеристики, частотная характеристика	12
- время отклика и скорость нарастания выходного тока	13
3.2.3 Области применения	13 - 14
3.2.4 Примеры расчётов	14 - 17
3.2.5 Расчёт точности преобразования	17 - 18
3.2.6 Работа с однополярным источником питания	19
3.3 Датчики напряжения компенсационного типа на эффекте Холла	19
3.3.1 Конструкция и принцип действия	19 - 20
3.3.2 Датчик напряжения с внешним первичным резистором	20 - 24
3.3.3 Датчик напряжения со встроенным первичным резистором	24
3.3.4 Типовые применения	24
4. Гарантия ТВЕЛЕМ	25
5. Контакты	26
6. Технические характеристики датчиков ТВЕЛЕМ	27

1. Оптимальные решения с использованием датчиков тока и напряжения

В течение более, чем 20 лет существования (с 1989 года) компания ООО «ТВЕЛЕМ» производит широкий диапазон гальванически изолированных датчиков тока и напряжения компенсационного типа на эффекте Холла, ставших стандартами в различных областях преобразований для промышленности и транспорта, характеристики которых представлены в данном каталоге. Потребитель имеет возможность выбора из ряда моделей для преобразования тока или напряжения (Таблица 1).

Сводная таблица и детальное описание основных характеристик датчиков позволяет выбрать наиболее подходящий датчик для каждого конкретного применения.

При необходимости проконсультируйтесь, пожалуйста, с нашими специалистами, если Ваши требования полностью не удовлетворены. Они предложат Вам датчик, полностью соответствующий специфике применения.

Таблица 1. Основные характеристики датчиков тока и напряжения компенсационного типа.

		Датчики тока компенсационного типа
Измерительный диапазон	I_p	2 - 2000 А
Частотный диапазон	f	0 - 150 кГц
Точность при 25 °С	X	$\pm 0,3\% \div \pm 0,6\%$
Линейность		$\pm 0,1\%$
Время отклика	t_r	< 1 мкс
Рабочая температура	T_a	-50 ... +85 °С

		Датчики напряжения компенсационного типа
Измерительный диапазон	I_p	10 - 4500 В
Точность при 25 °С	X	$\pm 0,7\% \div \pm 0,8\%$
Линейность		$\pm 0,1\% \div \pm 0,2\%$
Время отклика	t_r	20 ... 100 мкс
Рабочая температура	T_a	-50 ... +85 °С

2. Определяющие параметры для выбора датчика

ООО «ТВЕЛЕМ» предлагает датчики тока и напряжения компенсационного типа собственного производства для использования в различных областях силовой электроники и транспорта.

2.1 Какие параметры нужно учитывать?

Выбор датчика связан как с техническими, так и с экономическими параметрами. Поэтому должны быть приняты во внимание все аспекты его применения. Среди технических параметров особое внимание нужно уделить следующим:

- Электрические параметры – номинальное и максимальное измеряемые значения; быстродействие; требования к питанию и т.д.
- Механические параметры – размеры, масса и т.д.
- Температурные параметры – работа в режимах, близких к максимально допустимым.
- Условия эксплуатации – вибрация, окружающая температура, магнитные поля.

На практике часто возникает комбинация нескольких факторов, которые должны быть оценены в своей совокупности для выбора наиболее подходящего варианта датчика. Например, измеряемый ток не является номинальным, имеются магнитные, температурные и механические воздействия, происходят временные перегрузки и т.д. Таким образом, вся совокупность параметров может влиять на точность выбора датчика.

2.2 Основные критерии выбора

Для простого применения датчика, а именно при идеальных условиях эксплуатации, выбор производится исходя из требований по измеряемым параметрам для данного применения, таких как номинальный и максимальный измеряемый ток, напряжение, быстродействие и т.д., на основании сводной таблицы параметров датчиков. Получить более детальную информацию по каждому датчику помогут индивидуальные листы технических данных для каждого изделия.

2.3 Дополнительные критерии выбора

При более сложных условиях применения необходимо также учитывать такие факторы, как:

- Внешние магнитные воздействия;
- Электромагнитные помехи;
- Крутизна фронта импульсов;
- Механические воздействия (вибрация, удары и т.д.)
- Специальные требования по прочности электрической изоляции;
- Совместимость с существующими стандартами;
- Климатические условия эксплуатации
- Другие

Для окончательного выбора датчика может понадобиться дополнительная информация.

В случае затруднений в выборе типа датчика просьба проконсультироваться с нашими специалистами, предоставив нам всю необходимую для анализа Ваших запросов информацию (характеристики измеряемого сигнала, соседние воздействующие элементы, такие как катушки индуктивности, токовые проводники, другие условия эксплуатации).

ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРИ ВЫБОРЕ ДАТЧИКА.

Датчики тока.

Электрические параметры	Критерий выбора
Тип измеряемого тока: переменный, постоянный или сложной формы	Определение амплитудного или эффективного значения измеряемого тока
Диапазон измеряемого тока	Определение постоянного измеряемого пикового тока I_p : - измеряемые временные перегрузки - пиковое значение - продолжительность
Требуемый выходной сигнал	Тип: ток, напряжение Значение при I_{pn} , $I_{pk max}$; определение необходимого измерительного резистора (для токового выхода)
Точность преобразования	Точность при 25 °C (начальное смещение тока + нелинейность) Общая точность в пределах рабочего температурного диапазона
Имеющийся источник питания	Напряжение источника питания Максимально допустимое потребление тока
Электрическая прочность изоляции	Номинальное рабочее напряжение Необходимое испытательное напряжение при проверке электрической прочности изоляции

Динамические параметры	Критерий выбора
Частотный диапазон	Определение рабочего частотного диапазона: - основная рабочая частота - частота регистрируемых помех при необходимости
Скорость нарастания тока	Определение времени отклика и времени задержки выходного сигнала Определение скорости нарастания тока, при неизмеряемой перегрузке, которую датчик должен выдержать.

Параметры окружающей среды	Критерий выбора
Рабочая температура и температура хранения	Температурный режим, при котором будет работать датчик Температурный режим хранения

Механические параметры	Критерий выбора
Электрическое присоединение первичной цепи	Через входное отверстие: определение его размера в зависимости от размеров проводника С использованием встроенной шины На печатную плату
Электрическое присоединение вторичного контура Габаритные размеры Способ установки	Тип подсоединения вторичной цепи Определение максимально допустимых размеров Тип крепления (на печатную плату, на шасси)

Датчики напряжения.

Критерии выбора датчиков напряжения в основном идентичны критериям выбора датчиков тока, так как принцип работы датчиков напряжения основан на измерении тока, протекающего через дополнительный резистор. ТВЕЛЕМ выпускает датчики напряжения без встроенного резистора.

Первичная обмотка таких датчиков выполнена с минимальным количеством витков для уменьшения первичной индуктивности. С другой стороны, с целью обеспечить оптимальную точность, первичная обмотка обеспечивает номинальное количество первичных ампер-витков ($I_p \cdot N_p$), установленное для конкретной модели. Например, модель LV 100 имеет 100 ампер-витков.

Регулирование значения выходного сигнала.

Калибрование значения выходного сигнала может выполняться через внешний резистор R1 или посредством установки измерительного резистора.

Электрические параметры	Критерий выбора
Точность преобразования	Сопротивление первичной обмотки, сопротивление внешнего первичного резистора R1, учитывая его точность и температурный коэффициент.
Максимальное значение рассеиваемой мощности на первичном резисторе	Допустимые максимальные потери мощности в первичной цепи Мощность резистора R1 должна выбираться в несколько раз больше номинальной

Динамические параметры	Критерий выбора
Частотный диапазон или время отклика	Зависит от постоянной времени L/R первичной цепи (индуктивность первичной обмотки и сопротивление входной цепи $R_1 + R_p$)

3. Датчики, основанные на эффекте Холла

3.1 Определение эффекта Холла

Датчики компенсационного типа основаны на использовании эффекта Холла, который был обнаружен в 1879 году американским физиком Эдвином Гербертом Холлом. Эффект Холла вызывается силой Лоренца, которая действует на подвижные носители электрических зарядов в проводнике, когда на них действует магнитное поле перпендикулярно направлению тока.

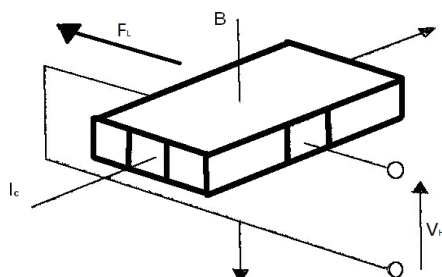


Рис. 1 Пояснение электрических параметров эффекта Холла

Тонкая пластина полупроводника пересекается вдоль управляемым током I_c (Рис.1). Магнитный поток B генерирует силу Лоренца F_L , действующую перпендикулярно направлению подвижных носителей зарядов, которые и образуют ток. Это ведет к изменению числа носителей зарядов на разных концах пластины и создает разность потенциалов, которая является напряжением Холла V_H .

Для систематизации сказанного выше получаем:

$$V_H = (K/d) \times I_c \times B, \text{ где}$$

K - константа Холла для применяемого материала;

d - толщина пластины полупроводника.

Такое устройство (Рис.1) получило название генератора Холла.

Генераторы Холла обладают определенной зависимостью чувствительности и начального выходного напряжения $V_{от}$ от температуры, но она может быть значительно скомпенсирована электронной схемой датчика тока.

3.2 Датчики тока компенсационного типа, основанные на эффекте Холла

Датчики со 100% обратной связью (также называемые компенсационными или датчиками с нулевым потоком) имеют встроенную компенсационную цепь, с помощью которой характеристики датчиков тока, использующих эффект Холла, могут быть существенно улучшены.

3.2.1 Конструкция и принципы действия

В компенсационных датчиках усиленное напряжение с генератора Холла используется для создания компенсационного тока I_s во вторичной обмотке. Создаваемый при этом магнитный поток компенсирует магнитный поток, создаваемый первичным током I_p .

Таким образом, датчик работает практически при нулевом магнитном потоке. Это исключает температурный дрейф коэффициента преобразования датчика. Другим преимуществом датчиков компенсационного типа является то, что вторичная обмотка работает как трансформатор тока на высоких частотах, что значительно расширяет частотный диапазон датчика.

Когда магнитный поток равен нулю (полностью компенсирован), магнитный потенциал (Ампер - витки) двух обмоток идентичен.

Таким образом, $N_p \cdot I_p = N_s \cdot I_s$ или $I_s = N_p \cdot I_p / N_s$, где N_p - количество витков первичной обмотки ($N_p=1$ в случае сквозного прохождения первичного проводника через датчик), N_s - количество витков вторичной обмотки (обычно несколько тысяч).

Следовательно, компенсационный ток I_s вторичной обмотки является точным отображением первичного тока I_p , который нужно измерить. И если включить последовательно со вторичной обмоткой измерительный (нагрузочный) резистор R_M , получим напряжение, пропорциональное первичному току I_p .

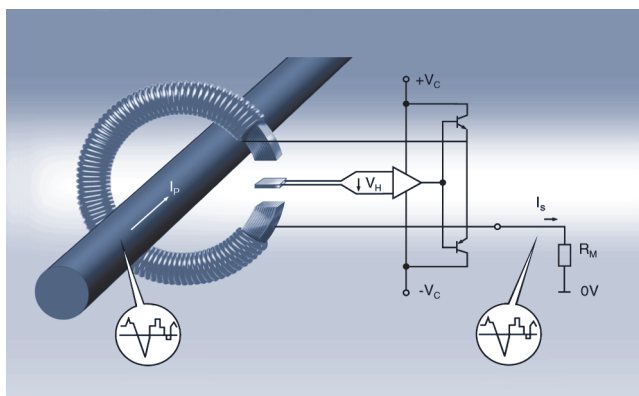


Рис.2 Пояснение принципа работы датчика тока компенсационного типа.

Приведем для примера преобразование постоянного тока в 100 А. Количество витков $N_p = 1$, потому, что проводник ведет прямо к магнитной цепи, тем самым, составляя один виток. Вторичная катушка имеет 1000 витков ($N_s = 1000$). Соотношение витков составляет 1:1000.

Как только I_p примет положительное значение, в сквозном отверстии магнитного сердечника возникает индукция B_p , создавая напряжение Холла V_H в элементе Холла. Это напряжение преобразуется в ток с помощью генератора тока, каскад усилителя которого обеспечивает протекание тока сквозь вторичную обмотку (катушку). Таким образом, создается индукция B_s , которая компенсирует индукцию B_p .

Следовательно, окончательный вторичный ток будет следующим:

$$I_s = (N_p * I_p) / N_s = (1 * 100) / 1000 = 100 \text{ мА}$$

I_s - это точное отображение I_p . Это преобразование тока и используется для целей потребителей.

Диапазон преобразования тока

Диапазон компенсационных датчиков ЛЕМ позволяет измерять номинальные токи I_{PN} от нескольких ампер до нескольких тысяч ампер, с точностью около 0,5 %.

Достоинства

Компенсационные датчики способны измерять постоянный ток, переменный ток и токи иной формы с гальванической развязкой.

- Отличная точность.
- Очень хорошая линейность.
- Малый температурный дрейф.
- Очень быстрое время отклика и широкий частотный диапазон.
- Отсутствуют потери в измерительной цепи.
- Высокая помехоустойчивость благодаря токовому выходу.
- При необходимости выходной ток очень легко преобразовать в напряжение.
- Датчики выдерживают перегрузки тока без повреждений.

Эти датчики особенно хорошо подходят для промышленного применения, когда требуется высокая точность и широкий частотный диапазон. Основные недостатки этой технологии в необходимости источника питания. Благодаря использованию современных технологий производства и опыту ЛЕМ в этой области, датчики компенсационного типа являются относительно недорогими, особенно для диапазона низких токов.

3.2.2 Характеристики и свойства

Диапазон преобразования.

Максимальный измеряемый (пиковый) ток датчиков компенсационного типа, как правило, составляет 150% - 300% от номинального.

На низких частотах и постоянном токе, максимальный измеряемый ток определяется электроникой датчика, выходной каскад которой обеспечивает компенсационный ток. Момент вхождения выходного каскада в режим насыщения и определяет максимальный измеряемый ток.

При больших входных токах магнитная система также может входить в режим «магнитного насыщения», что не дает электронике компенсировать входной магнитный поток.

Для импульсных токов на высоких частотах датчик работает в режиме трансформатора тока. В этом режиме входной ток может достигать больших значений, ограничиваемый максимально допустимой длительностью (в Ампер - секундах) и частотой (в Ампер - Герцах) из-за возможности перегрева магнитной системы. В некоторых случаях, перегрузка током длительностью более 1мс вызывает перегрев демпфера, защищая датчик от перегрузки. В техническом паспорте не отражены подобные режимы, и в случае нестандартных применений следует проконсультироваться с нашими специалистами.

Выходной сигнал – нагрузочное сопротивление

Большинство датчиков имеют токовый выход, который легко преобразуется в напряжение подключением нагрузочного (измерительного) резистора.

Значение измерительного резистора должно находиться в пределах диапазона, указанного в техническом паспорте: от $R_{M \min}$ (рассчитанного по допустимой мощности рассеивания в электронных компонентах схемы) до $R_{M \max}$ (рассчитанного по электрическому насыщению выходной цепи).

Следует отметить, что в Техническом паспорте указаны значения R_M , относящиеся к номинальному режиму работы и диапазону преобразования. Примеры других режимов работы приведены в п. 3.2.4.

Точность преобразования

Исходя из принципа работы датчиков тока компенсационного типа (нулевой магнитный поток), датчики LEM имеют отличную линейность и минимальный дрейф коэффициента передачи в широком диапазоне температур и входных токов при этом общая ошибка преобразования, как правило, менее 1%.

При нормальной температуре ошибка преобразования складывается из:

- Смещения выходного сигнала при $I_p=0$
- Нелинейности генератора Холла, электроники и магнитной системы
- Точности измерительного резистора R_M (внешнего или встроенного).

Отклонения температуры от нормальной добавляют:

- Дрейф начального выходного тока
- Дрейф сопротивления измерительного резистора R_M .

Все это верно для постоянного тока, для синусоидального сигнала и сигналов сложной формы добавляются дополнительные факторы, влияющие на точность, вызванные неравномерностью АЧХ и фазовыми сдвигами.

Для получения наилучших характеристик необходим грамотный монтаж датчика с целью обеспечения оптимальной магнитной связи между первичным и вторичным контуром при работе датчика на высоких частотах в режиме трансформатора тока. При этом необходимо обращать внимание на расположение первичного и возвратного проводников относительно корпуса датчика. На высоких частотах также важны компоновка и монтаж вторичных цепей с целью минимизации паразитных емкостей.

Магнитное смещение

В стандартных условиях эксплуатации датчики компенсационного типа работают при нулевом магнитном потоке как в режиме Холла на низких частотах, так и на высоких частотах в режиме трансформатора тока. Однако, это не значит, что не может возникать постоянное магнитное смещение в магнитной системе датчика. При одном из следующих условий может произойти магнитное смещение (намагничивание), приводящее к дополнительной ошибке преобразования:

- на низких и средних частотах при превышении входным током максимального уровня (который зависит от напряжения питания, параметров датчика и значения нагрузочного резистора) электроника не может более обеспечивать требуемый компенсационный ток для поддержания нулевого магнитного потока
- отсутствует напряжение питания (одной или обеих полярностей)
- когда внешний проводник проходит в непосредственной близости от магнитного сердечника, создавая локальное магнитное насыщение в части сердечника.

В этом случае необходимо размагничивание магнитной системы датчика. При этом необходимо учитывать возможность влияния компенсационной цепи датчика на процесс размагничивания. По идее, выход надо отключать от нагрузки, чтобы разомкнуть контур обратной связи (компенсации). Если это невозможно, следует отключить питание датчика, при условии, что размагничивание производится низкочастотным током (для предотвращения эффекта трансформации).

Динамические характеристики

Частотная характеристика

Датчики компенсационного типа имеют отличные частотные характеристики. Обычно частотный диапазон находится в пределах от 0 Гц до 200 кГц.

Но значение номинального входного тока применимо не для всего частотного диапазона. С ростом частоты номинальный входной ток необходимо пропорционально уменьшать в связи с наличием внутренних потерь в датчике на гистерезис и вихревые токи. Таким образом, использовать датчики на высоких частотах и больших токах надо с осторожностью.

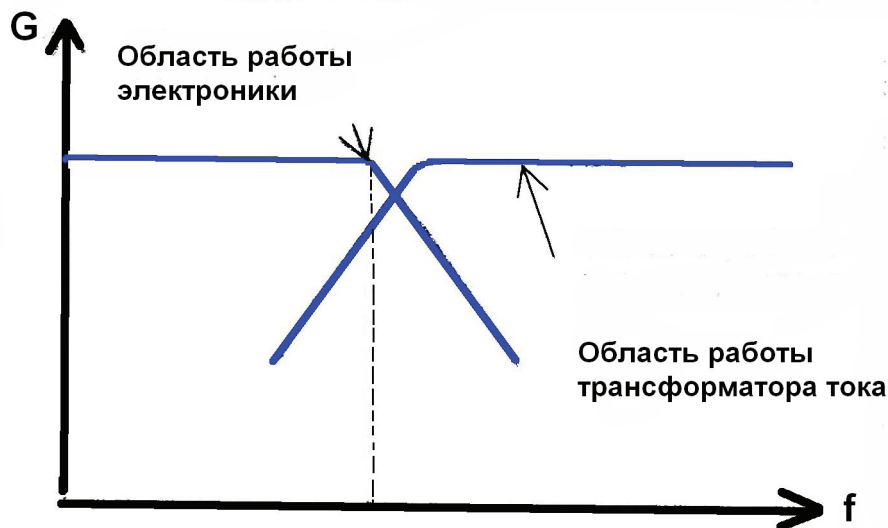


Рис.3. При увеличении рабочей частоты датчик работает как трансформатор тока.

Время отклика и скорость нарастания выходного тока

Время отклика определяется несколькими параметрами, среди которых: время реакции, время нарастания выходного сигнала до уровня $0.9 I_N$, время задержки. Время отклика также характеризует способность датчика повторять форму входного тока типа «ступенька» с определенной скоростью нарастания без искажений, что называется – способность отслеживания di/dt . Время реакции для датчиков компенсационного типа – меньше 1 мс.

Способность отслеживания di/dt зависит от внутренней конструкции датчика и правильности разводки дорожек (монтажа) высокочастотных цепей измерительной схемы. В зависимости от модели, di/dt может быть от 50 до 400 А/мкс, что позволяет использовать датчики в цепях защиты электроники от короткого замыкания.

3.2.3 Области применения

Датчики компенсационного типа используются в промышленных установках для преобразования и контроля электрического тока, там, где необходима высокая точность, широкий частотный диапазон и малое время отклика.

Среди областей применения датчиков можно выделить следующие:

- частотные преобразователи и трехфазные приводы для контроля тока в фазах, в шинах постоянного тока, для защиты в случае коротких замыканий
- преобразователи для частотных сервоприводов, использующихся в робототехнике
- электрическое сварочное оборудование (для контроля сварочного тока)
- ИБП и другое оборудование, использующее батареи (для контроля зарядного и разрядного тока)
- электрический транспорт, транспортные преобразователи и управление зарядными устройствами
- системы городского электрического транспорта: транспортные и вагонные преобразователи, тяговые подстанции
- преобразователи для ветроэнергетических установок
- специальные источники тока для радаров

Можно упомянуть и другие области применения, такие как: системы телемеханики, автоматики энергосистем; высоковольтные выключатели, лазеры, выпрямители для электрохимических процессов; использование в лабораторных исследованиях.

3.2.4 Примеры расчетов

Следующие примеры предназначены для того, чтобы помочь потребителям оценить, исходя из применения датчика, ограничения рабочих характеристик датчиков компенсационного типа и определить подходящий нагрузочный резистор. При этом могут быть использованы два подхода для определения величины нагрузочного резистора: основанный на диапазоне измерений, указанном в техническом описании или основанный на допустимых рабочих значениях, но вне диапазона, указанного в техническом описании. В некоторых случаях возможно измерение токов выше максимальных токов из технического описания, что продемонстрировано на двух примерах расчетов.

Пример 1: Компенсационные датчики LA 55-P/SP43

а) Найдём максимальное значение выходного напряжения при следующих параметрах:

- входной ток $I_p = 70 \text{ A}$
- температура окружающей среды $T_A = 70^\circ \text{C}$
- напряжение питания $V_{\text{пит}} = \pm 15 \text{ V}$

Соотношение витков равно 1:1000, что определяет вторичный ток

$$I_s = I_p \cdot N_p / N_s = 70 \text{ mA}$$

В техническом паспорте указано:

$$R_{\text{max}} = 90 \text{ } \Omega \text{ отсюда } V_M = R_M \cdot I_s = 90 \text{ } \Omega \times 70 \text{ mA} = 6.3 \text{ V}$$

б) Используя следующие параметры, найдем сопротивление нагрузки для получения выходного напряжения в 3.3В при номинальном первичном токе:

- номинальный входной ток $I_p = 50 \text{ A}$
- температура окружающей среды $T_A = 85^\circ \text{C}$
- напряжение питания $V_{\text{пит}} = \pm 12 \text{ V}$
- выходной ток $I_{\text{SN}} = I_{\text{PN}} \cdot N_p / N_s = 50 \text{ mA}$

$$\text{Мы имеем } R_M = V_M / I_s = 3.3 \text{ V} / 50 \text{ mA} = 66 \text{ } \Omega$$

Для данных параметров в техническом паспорте рекомендуется использовать нагрузочное сопротивление в пределах:

$R_{\text{min}} = 60 \text{ } \Omega$ и $R_{\text{max}} = 95 \text{ } \Omega$, поэтому сопротивление $66 \text{ } \Omega$ в данном случае может быть использовано.

в) Для тех же параметров, что и в б) можно ли получить выходное напряжение в 6В? $R_M = V_M / I_s = 6 \text{ V} / 50 \text{ mA} = 120 \text{ } \Omega$

Так как измерительное сопротивление превышает допустимое максимальное значение R_M , при использовании рассчитанного напряжения ток в 50 А не будет измеряться. Допустимое значение сопротивления R_{Mmax} , равное 95Ω , обеспечивает максимальное измерительное напряжение $50 \text{ мА} \cdot 95 \Omega = 4,75 \text{ В}$. При использовании резистора 120Ω максимально измеряемый ток составит 43,9 А.

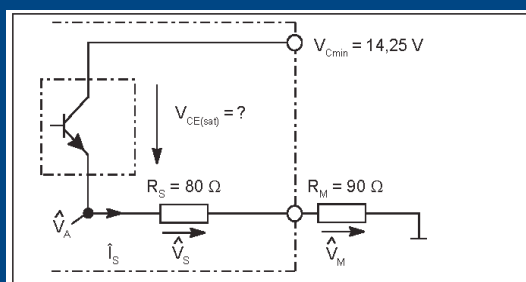


Рис. 4. Диаграмма для расчета выходного напряжения V_A на выходе усилителя

Пример 2: Работа LA 55-P/SP43 за пределами номинальных параметров технического описания

При работе на токах меньше номинального можно увеличить выходное напряжение путем выбора значения нагрузочного резистора больше чем указано в техническом описании. Также при работе с напряжением питания, отличным от указанного в техническом описании, измерительный диапазон может быть ограничен.

а) Найдем максимальное выходное напряжение на выходе усилителя:

На рис.4 показана часть схемы выходного каскада датчика компенсационного типа. Выходное напряжение зависит от величины падения напряжения на каждом элементе схемы и определяется следующими параметрами: максимальным напряжением выходного каскада (V_A), падением напряжения на транзисторе (V_{CE}), сопротивлением вторичной катушки (R_S) и сопротивлением нагрузочного резистора (R_M). Зная величину V_A , можно определить диапазон входных измеряемых токов. Для этого рассмотрим худший случай, когда рабочая температура максимальна, а напряжение питания минимально.

Используя по данным технического описания значения пикового тока (70 А), сопротивления катушки (80Ω при 70°C) и максимальное нагрузочное сопротивление (90Ω при 70°C при питании $\pm 15 \text{ В}$), имеем:

$$V_A = I_S \cdot (R_S + R_M) = 0,07 \text{ А} \cdot (80 \Omega + 90 \Omega) = 11,9 \text{ В}$$

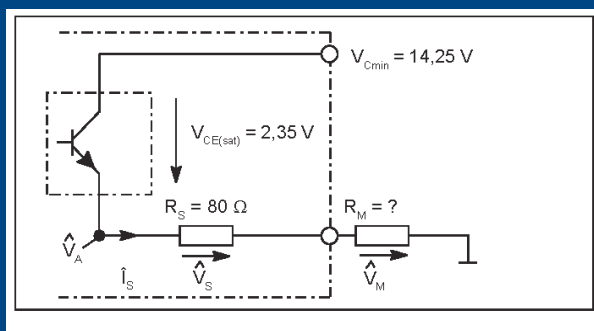


Рис. 5. Эквивалентная схема для расчета нагрузочного резистора R_M

б) Найдем максимальное выходное напряжение при первичном токе $I_p=60A$, температуре окружающей среды $T_A=70^{\circ}C$, напряжении питания $V_c=\pm 15V(\pm 5\%)$, и выходном токе $I_s=60mA$:

Используя результаты примера а), максимальное напряжение выходного каскада V_A при тех же условиях, при минимальном напряжении питания 14,25 В (15В – 5%), равно 11,9 В. Мы можем рассчитать максимальное выходное напряжение V_M и, затем, максимальное значение нагрузочного резистора.

$$R_{M\ MAX} : V_M = V_A - R_S \cdot I_S = 11,9 - 80\ \Omega \cdot 60mA = 7,1\ В$$

$$R_{M\ MAX} = V_M / I_S = 7,1V / 60mA = 118\ \Omega$$

Пример 3: Может ли датчик измерять значения тока, выходящие за пределы указанного в техническом паспорте диапазона?

Для каждого датчика указаны рабочие условия для диапазона преобразования, который обычно составляет от 1.5 до $2 \cdot I_N$. Если необходимо получить диапазон преобразования больший, чем указано в техническом паспорте, должны учитываться следующие два условия:

- сопротивление измерительного резистора не должно быть менее указанного в техническом паспорте для конкретного типа датчика R_{Mmin} , которое определяет максимальную допустимую мощность транзистора выходного каскада. Значение R_{Mmin} , в зависимости от типа датчика, различно; в некоторых случаях оно равно нулю.
- максимальная температура первичного проводника не должна превышать значения, указанные в техническом паспорте (т.е. $100^{\circ}C$), чтобы не повредить используемые в производстве датчика пластиковые материалы.

Ниже приведены примеры расчета максимального измеряемого тока для различных типов датчиков.

а) Случай, когда значение $R_{m\ min}$ не равно нулю.

Например, для датчика LA 55 – P/SP43.

Какое максимальное значение тока может быть измерено, используя нагрузочное сопротивление R_{Mmin} ?

$$V_c = \pm 15\ В\ (\pm 5\%),\ T_A = +70^{\circ}C,\ R_S = 80\ \Omega$$

$$R_{m\ min} = 50\ \Omega\ V_A = 11,9V\ (\text{рассчитано в примере выше}).$$

$$\text{Максимальный выходной ток: } I_s = V_A / (R_S + R_{m\ min}) = 11,9\ В / (80 + 50)\ \Omega = 91,5\ мА.$$

Соответственно, максимальный первичный ток равен 91,5 А

б) Случай, когда $R_{m\ min} = 0$

Пример по датчику LA305-S

$$V_c = \pm 15\ В\ (\pm 5\%),\ T_A = +70^{\circ}C,\ R_S = 35\ \Omega\ (\text{при } +70^{\circ}C),\ I_p = 300\ А,$$

$$R_{Mmin} = 0\ \Omega; \text{соотношение витков} = 1:2500$$

Датчики тока компенсационного типа, основанные на эффекте Холла

Если R_m равно нулю, то датчик на выходе будет обеспечивать непосредственно ток. Если необходимо на выходе получить напряжение, то выходную цепь должен быть включен нагрузочный резистор R_m . Причем, чем меньше сопротивление резистора, тем больше максимальный измеряемый ток, но при этом меньше выходное напряжение. Прежде всего, определим максимальное значение напряжения на выходе усилителя, V_A :

$$V_A = (R_s + R_{m \max}) \times I_s$$

$$R_{m \max} = 75 \Omega \text{ (при } 300 \text{ A, } V_C = \pm 15 \text{ B)}$$

$$I_s = 300 \text{ A} / 2500 = 120 \text{ mA}$$

$$V_A = (35 + 75) \Omega \times 120 \text{ mA} = 13,2 \text{ B}$$

Максимальное значение выходного тока зависит от выбранной величины измерительного резистора R_m :

$$I_s = V_A / (R_s + R_m)$$

При $R_m = 5 \Omega$ имеем

$$I_s = 13,2 \text{ B} / (35 + 5) \Omega = 330 \text{ mA}$$

Следовательно, диапазон измеряемого первичного тока составит $330 \text{ mA} \times 2500 = 825 \text{ A}$ – это соответствует измеряемому диапазону $2,75 \times I_{PN}$.

В этом случае выходное напряжение будет:

$$V_m = 330 \text{ mA} \times 5 \Omega = 1,65 \text{ B}$$

При $R_m = 2 \Omega$ имеем $I_s = 357 \text{ mA}$ максимальный измеряемый ток $3 \times I_{PN}$ (892 A) и маленькое выходное напряжение 0,71 В.

При нулевом измерительном резисторе, датчик обеспечивает $I_s = 377 \text{ mA}$, что соответствует $3,14 \times I_{PN}$ (943 A). При этом выходное напряжение равно нулю, следовательно, необходим дополнительный преобразователь ток-напряжение на выходе датчика. Таким образом, выбор значения R_m за пользователем.

3.2.5 Расчёт точности измерения

Расчет точности измерения:

Ниже представлены примеры расчетов максимальной погрешности измерения для датчиков компенсационного типа. Важно понимать, что существуют четыре области работы датчиков:

- область работы, когда первичный ток близок к нулю, характеризуется параметром - смещение выходного сигнала
- область работы, когда первичный ток близок к номинальному току, характеризуется параметром - точность измерения
- область между этими двумя характеризуется параметром – нелинейность преобразования
- четвертая область работы – вблизи максимального измеряемого тока, когда может возникать насыщение.

Максимальная погрешность учитывает все эти факторы, принимая во внимание наихудший случай для каждого из них.

Датчик тока LA 55-P/SP43

Пример расчета для постоянного тока при питании ± 15 В.

Из техпаспорта:

$I_{PN}=50A$; $I_{SN}=50mA$, точность преобразования (при $25^{\circ}C$ и ± 15 В питания) составляет $\pm 0,65\%$ от I_{PN} .

Точность суммируется из таких параметров как нелинейность ($< 0,15\%$), начального тока смещения ($I_o=0,2mA$) и выходной температурный дрейф ($I_o=0,6mA$ для диапазона температур 60K: от 25° до $85^{\circ}C$).

При $I_p=50A$ (выходной ток 50mA) точность складывается из:

- Точность при $25^{\circ}C$ $\pm 0,65\%$ от I_{PN} $\pm 0,65\%$
- Температурный дрейф $\pm 0,6mA/50mA$ $\pm 1,20\%$

Наихудший случай ($+85^{\circ}C$) $\pm 1,85\%$

Таким образом, наибольшая ошибка измерения при токе 50A составляет $\pm 1,85\% \times 50A = \pm 0,93$ А.

В случае, когда надо измерить ток 40 А (выходной тока 40 mA), погрешность будет :

- Точность при $25^{\circ}C$ $\pm 0,65\%$ от I_{PN} для 40A $\pm 0,81\%$
- Температурный дрейф $\pm 0,6mA/40mA$ $\pm 1,50\%$

Наихудший случай ($+85^{\circ}C$) $\pm 2,31\%$

В наихудшем случае при 40A погрешность составляет $\pm 2,31\% \times 40A = \pm 0,93$ А.

Погрешность при измерении малых токов увеличивается (в процентах к измеряемому току) из-за наличия начального смещения выходного сигнала (тока). В техническом паспорте указаны параметры: начальный выходной ток $I_o=\pm 0,2$ mA и остаточный ток смещения после токовой перегрузки (магнитное смещение) $I_{OM}=\pm 0,3$ mA. Эти значения можно интерпретировать таким образом: при входном токе 0A на выходе может быть $\pm 0,2$ mA, что соответствует $\pm 0,2$ А на входе или $\pm 0,4\%$ от I_{PN} . Вдобавок, после токовой перегрузки 300% (150 А), может появиться дополнительное смещение выходного сигнала $\pm 0,3$ mA, что дает в сумме $\pm 0,5$ mA или 1% от I_{PN} , в данном случае $\pm 0,5$ А.

Смещение выходного сигнала из-за остаточного намагничивания

Когда ток I_p значительно превышает номинальное значение и ампер-витки больше не могут компенсироваться выходной цепью, магнитная индукция В отклоняется от нуля и начинается цикл гистерезиса. Сердечник намагничивается, и генератор Холла вырабатывает некоторое напряжение V_H при $I_p = 0$. Тот же эффект может быть достигнут при отсутствии одного из двух напряжений питания. В этом случае электронная схема не способна обеспечить достаточную компенсацию тока и сердечник начинает намагничиваться. Это явление устраняется путем размагничивания магнитного сердечника переменным током, постепенно снижаемым до нуля, обеспечивая предварительное отключение источника питания датчика или выходной цепи.

3.2.6 Работа с однополярным источником питания

Большинство датчиков могут использовать однополярное напряжение питания для преобразования однонаправленных токов. В этом случае во внимание должно быть принято следующее:

1. Напряжение однополярного питания должно быть равно сумме положительного и отрицательного напряжений, указанных в техническом паспорте (т.е. для $V_c = \pm 15$ V напряжение питания должно быть + 30 V).
2. Нагрузочное сопротивление должно быть рассчитано таким образом, чтобы не допустить превышения рассеиваемой мощности в выходном каскаде датчика. При этом оценка наихудшего случая не является столь очевидной. В первом приближении не требуется дополнительных расчетов, если первичный ток не превышает половины номинального первичного тока для конкретного типа датчика.

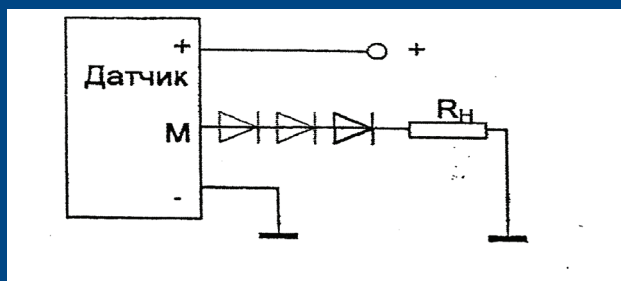


Рис.6 Включение диодов при однополярном питании датчиков

3. Так как усилитель датчика разработан для двуполярного источника питания, а используется однополярным, в измерительную цепь должны быть встроены диоды, как показано на Рис.6. Это позволит компенсировать остаточное напряжение через неиспользуемый выходной транзистор и обеспечить отсутствие выходного тока при нулевом входном.

3.3 Датчики напряжения компенсационного типа на эффекте Холла

3.3.1 Конструкция и принцип действия

Датчики напряжения, основанные на эффекте Холла, основаны на тех же принципах, что и датчики тока. Практически они собраны на базе датчиков тока, а главное отличие состоит в первичной цепи, катушка которой изготовлена с большим количеством витков. Это позволяет иметь необходимое количество ампер-витков для создания первичной индукции при минимальном значении первичного тока, обеспечивая, таким образом, минимальное потребление из входной цепи (цепи преобразуемого напряжения).

Поэтому для измерения напряжения достаточно обеспечить первичный ток, эквивалентный этому напряжению, который и будет преобразовывать датчик. Это достигается с помощью резистора, последовательно соединенного с первичной обмоткой.

Таким образом, принципом действия является основанное на эффекте Холла компенсационного типа измерение малого тока прямо пропорционального измеряемому напряжению. Используя добавочный резистор большого сопротивления R_1 в первичной цепи, получаем малый ток I_{MES} , который может быть измерен «оптимизированным» датчиком тока, позволяющим точно измерить малый ток I_{MES} , при этом, имея малый входной импеданс для обеспечения приемлемой точности и достаточного частотного диапазона.

Резистор R_1 может быть внешним (для датчиков ТВЕЛЕМ) или встроенным в конструкцию датчика (для некоторых датчиков ЛЕМ).

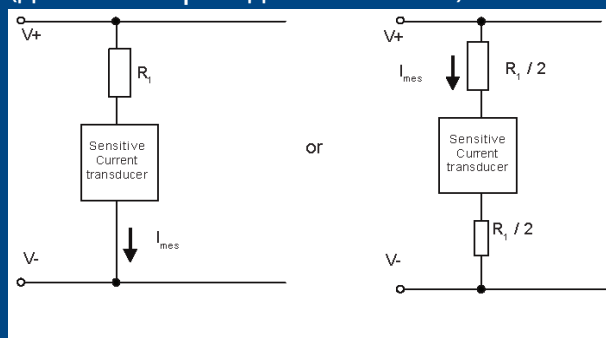


Рис 7. Принцип измерения напряжения

3.3.2 Датчик напряжения с внешним первичным резистором

Так как в таком датчике напряжения используется тот же принцип работы, что и в датчике тока, описанном ранее, для определения значения выходного напряжения и сопротивления нагрузочного резистора подходят те же правила. Дополнительно должно быть рассчитано значение R_1 (Рис.8)

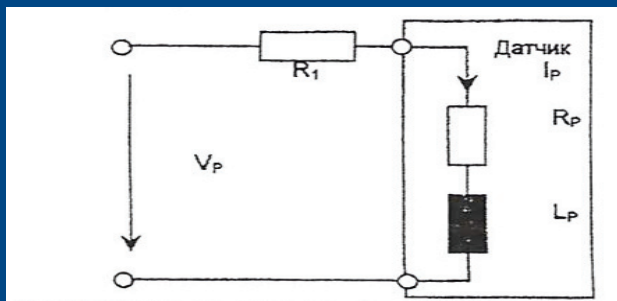


Рис 8. Эквивалентная схема для расчета внешнего резистора R_1

Пример 1: расчет R_1 для датчика LV 100/SP83:

Каким должно быть значение внешнего резистора R_1 для преобразования номинального напряжения $V_{PN} = 230V$ переменного тока с пиковым значением напряжения 500 В и какая будет точность преобразования?

а) Определение значения первичного резистора R_1 исходя из техпаспорта:

Номинальный ток: $I_{PN} = 10 \text{ mA}$

Диапазон преобразования $I_p = 20 \text{ mA}$

Сопротивление первичной обмотки $R_p = 1900 \Omega$ (при $+70^\circ\text{C}$)

$$R_1 = V_{PN} / I_{PN} - R_p = (230 / 10 \times 10^{-3}) - 1900 = 21000 \Omega$$

$$R_1 = 21.2 \text{ кОм}$$

Ближайшее стандартное значение резистора 21,0 кОм. Общее сопротивление первичной цепи составит 22,9 кОм при 70°C.

Номинальное значение мощности P_N , рассеиваемой в резисторе R_1 :

$$P_N = I_{PN}^2 \times R_1 = (V_{PN} / (R_1 + R_p))^2 \times R_1 = 0,012^2 \times 21000 = 2.1 \text{ Вт}$$

Чтобы избежать чрезмерного температурного дрейфа резистора R_1 и для повышения надежности работы схемы необходимо выбирать номинальную мощность резистора в 3 – 4 раза выше расчетной. В данном случае желательно выбрать: $R_1 = 21,0 \text{ кОм} / 8\text{Вт}$.

б) Можно ли измерить значение импульсного напряжения в 500В с таким резистором R_1 ?

- изменение 500 В возможно при условии, что среднее значение первичного тока держится на уровне 10 мА (что определяется условиями рассеивания мощности). Если это правило не выполняется, то R_1 должен быть пересчитан в большую сторону для меньшего первичного тока
- первичный ток при большом входном напряжении не должен превышать значение максимального диапазона преобразования для данного типа датчика (20mA для LV 100/SP83)

В нашем случае мы предположим, что принимается среднеквадратичное значение. Рассчитаем значение первичного тока I_p :

$$I_p = (V_p / R_p) = 500 \text{ В} / 22,9 \text{ кОм} = 21,8 \text{ мА}, \text{ что выходит за границы диапазона.}$$

Поэтому, для определения возможности данного измерения, необходима проверка со стороны вторичной (измерительной) части схемы датчика:

соотношение витков составляет 10000/2000, откуда $I_s = 5 \times 21,8 \text{ мА} = 109 \text{ мА}$. Аналогично расчету для датчиков тока (пример 2), R_{max} определяется следующим образом:

расчет значения V_A по данным из технического паспорта:

$$V_A = (R_s + R_{\text{Mmax}}) \times I_s = (60 + 150) \Omega \times 109 \text{ мА} = 10.5 \text{ В}$$

Вычисление R_{Mmax} :

$$R_{\text{Mmax}} = (V_A / I_s) - R_s = (10.5 \text{ В} / 109 \text{ мА}) - 60 \Omega = 36.3 \Omega$$

Вывод: преобразование напряжения 500 В возможно, если использовать R_M не более 36,3 Ω .

с) Влияние R_1 и R_p на точность преобразования,

Любое изменение R_1 и R_p влияет на стабильность первичного тока I_{MES} , а, следовательно, и на величину выходного сигнала.

Ниже приведен пример расчёта точности преобразования, с учётом погрешности R_1 и R_p в худшем случае, для температурного диапазона от +20°C до +70°C.

Эталонный случай: эталонное значение измеряемого тока I_{MES} определяется для условий температуры + 70°C и номинальных значений резисторов R_1 и R_p ($R_1 = 21,0 \text{ кОм}$, как рассчитано ранее, при +70°C; и $R_p = 1,9 \text{ кОм}$ согласно техническому паспорту). Полученный ток I_{MES} равен $230\text{В} / (21+1,9) \text{ кОм} = 10 \text{ мА}$.

Максимальная погрешность

Сопротивления резисторов при +20°C меньше, чем при +70°C. Для худшего случая дополнительно принимается во внимание погрешность из-за допуска резисторов при определении минимального значения сопротивлений.

Для резистора R_1 типовое значение температурного дрейфа и допуска 50 ppm/°C и $\pm 0,5\%$ соответственно.

Минимальное значение получается $R_1 = 21000 \times (1 - 50 \times 50 \times 10^{-6}) \times (1 - 0,005) = 20942 \Omega$.

Величина сопротивления катушки R_p из медного провода, в зависимости от температуры, выражается следующей зависимостью:

$$R_{pF} = R_{p20} \times (1 + \alpha \Delta T), \text{ где}$$

R_{pF} – сопротивление при конечной температуре (+70°C)

R_{p20} – сопротивление при начальной температуре (+20°C)

α – температурный коэффициент меди равен 0,004 K⁻¹

ΔT – разность температур (конечная температура минус начальная 20°C).

Заметим, что реальная температура медной обмотки, как правило, выше температуры окружающей среды из-за дополнительного разогрева обмотки.

В нашем случае:

$$R_{p20} = 1900 / (1 + 0,004 \times 50) = 1538 \Omega$$

Получаемый ток $I_{MES} = 230V / (20942 + 1538) = 10,21 \text{ mA}$, что соответствует погрешности +2,1 %.

d) Какова погрешность преобразования датчика?

В нашем случае мы принимаем, что значение R_1 выбрано для получения первичного тока $I_{PN} = 10 \text{ mA}$. В соответствии с техническим паспортом LV 100/SP83, ошибка преобразования при 25°C равна $\pm 0,7\%$ от I_{PN} . Температурный дрейф начального выходного тока равен $\pm 0,3 \text{ mA max}$. При коэффициенте преобразования 10000:2000 входной ток 10 mA соответствует 50 mA на выходе. Значения погрешности будут:

Ошибка при 25°C	$\pm 0,7\%$ от I_{PN}	$\pm 0,7\%$
Температурный дрейф	$\pm 0,3\% \text{ mA} / 50 \text{ mA}$	$\pm 0,6\%$
Максимальная ошибка преобразования тока		$\pm 1,3\%$

e) Какова полная погрешность преобразования?

Погрешности, рассчитанные в примерах c) и d), определяют погрешность преобразования тока. Типовая схема включения предполагает наличие измерительного резистора R_M на выходе для преобразования выходного тока в напряжение.

Принимая для R_M типовые значения допуска $\pm 0,5\%$ и температурного коэффициента 50ppm/K, получаем ошибку 0,225% при изменении температуры от 20°C до 70°C.

Общая погрешность R_M составляет $0,5 + 0,225 = 0,725\%$.

Для датчика LV 100/SP83 полная погрешность для номинального напряжения 230 В, температурного диапазона от 25°C до 70°C состоит из погрешностей с), d) и R_M :

$$2,1\%+1,3\%+0,725\%=4,125\%$$

Пример 2:

Каким будет значение внешнего резистора при преобразовании номинального значения напряжения $V_{PN} = 1000V$ и какова будет точность преобразования?

а) Расчет внешнего резистора в техническом паспорте указано:

Номинальный ток:

$$I_{PN} = 10 \text{ мА}$$

Диапазон преобразования:

$$I_p = 20 \text{ мА или } 2 \times I_{PN}$$

Сопротивление первичной обмотки:

$$R_p = 1900 \text{ } \Omega \text{ (при } +70^\circ\text{C)}$$

$$\text{или } R_p = 1615 \text{ } \Omega \text{ (при } +25^\circ\text{C)}$$

$$R_1 = (V_{PN} / I_{PN}) - R_p = (1000 / 10 \times 10^{-3}) - 1615 = 98385 \text{ } \Omega$$

Номинальная мощность, рассеиваемая в R_1 :

$$P_{1N} = I_{PN}^2 \times R_1 = 10^2 \text{ мА} \times 98385 \text{ } \Omega = 9.8 \text{ Вт и, как упоминалось ранее, необходимо выбирать мощность резистора с трех-четырёх кратным запасом.}$$

Выберем значение мощности, равное 40 Вт. Полное сопротивление первичной цепи будет следующим:

$$R_{TOT} = R_p + R_1 = 100,3 \text{ кОм}$$

б) Расчет точности преобразования:

Влияние выбора R_1 на точность преобразования и изменение R_p в зависимости от рабочей температуры. Расчет производится по той же методике, что и для 230 В:

R_1 при допуске 0,5% и температурном дрейфе 50 ppm/K

$$R_{1MAX} = 98385 \text{ } \Omega \times 1,005 \times 1,00225 = 99099 \text{ } \Omega$$

$$\text{и } R_{1Min} = 98385 \text{ } \Omega \times 0,995 \times 0,99875 = 97771 \text{ } \Omega$$

Максимальное значение R_p для 70°C равно 1,9 кОм тогда как, минимальное значение для 20°C:

$$R_{pMIN} = R_{p70^\circ\text{C}} / (1 + 0,004 \times 50) = 1583 \text{ } \Omega$$

Общее первичное сопротивление R_{TOT} находится между:

$$R_{TOTmin} = 97771 + 1538 = 99354 \text{ } \Omega \text{ и}$$

$$R_{TOTmax} = 99099 + 1900 = 100999 \text{ } \Omega$$

Диапазон первичного тока

От $1000V / 100999 \text{ } \Omega = 9,90 \text{ мА}$ до $1000V / 99354 \text{ } \Omega = 10,07 \text{ мА}$, что можно интерпретировать, как $9,985\text{мА} \pm 0,085 \text{ мА}$, что соответствует разбросу $\pm 0,85\%$.

с) Погрешность преобразования тока рассчитывается аналогично 1d) выше и составляет 1,3%;

d) для LV 100/SP83 полная погрешность преобразования при 1000В номинального напряжения на входе, для диапазона рабочих температур от 20°C до 70°C, при тех же предположениях для R_M , что и в примере 1е, составляет:

$$0,85\%+1,3\%+0,725\%=2,875\%.$$

Выводы:

Как мы видим из этих двух примеров, общая точность преобразования существенно выше для больших напряжений, так как менее заметно влияние изменения сопротивления первичной катушки R_p от температуры при большем значении R_1 для большего напряжения. Для получения лучшей точности при измерении малых напряжений необходимо выбирать датчики с большим коэффициентом преобразования (с меньшим количеством витков первичной катушки). Однако, при этом увеличивается рассеиваемая мощность в первичной цепи и, соответственно, потребление энергии от первичной цепи. Преимуществом датчиков напряжения с меньшим количеством витков первичной катушки также является более широкий частотный диапазон, т.к. уменьшается индуктивность L_p .

В конечном итоге, если необходимо, калибровка выходного сигнала датчика напряжения может быть выполнена подстройкой значения резистора R_1 или, как и для датчиков тока, подстройкой значения резистора R_M .

3.3.3 Датчик напряжения со встроенным первичным резистором

В датчиках напряжения серии LV производства LEM применены встроенные резисторы R_1 мощностью 10 Вт. Встроенные резисторы позволяют осуществлять заводскую калибровку, что позволяет получить большую точность.

Диапазон измерения ограничен значением 150% от номинального напряжения, за исключением измерения импульсов напряжения, где действует правило не превышения средней рассеиваемой мощности на резисторе 10 Вт.

Методика расчета выходной (измерительной) цепи для датчиков напряжения (выбор измерительного резистора R_M и расчет выходного напряжения) аналогична методике для датчиков тока и была описана выше.

3.3.4 Типовые применения

Датчики напряжения компенсированного типа на эффекте Холла широко используются в промышленности и на транспорте для обнаружения, контроля и регулирования напряжений на входе, выходе и выпрямленном и отфильтрованном выходе частотных инверторов, где точность измерения и гальваническая изоляция между силовой и измерительной цепями имеют первостепенное значение.

Гарантия ТВЕЛЕМ 5 ЛЕТ ГАРАНТИИ

на датчики-трансформаторы тока и напряжения производства ООО “ТВЕЛЕМ” (ТВЕЛЕМ).

ТВЕЛЕМ производит для своих потребителей датчики-трансформаторы тока и напряжения, разработанные швейцарской компанией ЛЕМ и характеризующиеся высоким качеством и высокой надежностью.

Начиная с 1990 года, мы поставили сотни тысяч датчиков-трансформаторов тока и напряжения. Большинство из них до сих пор функционирует на транспортных средствах, промышленном оборудовании и во многих других установках индустриального и научно-технического назначения, требующих соблюдения высоких технологических стандартов.

Гарантия предоставляется на датчики-трансформаторы тока и напряжения, произведенные ТВЕЛЕМ на период до 5 лет (60 месяцев) начиная отсчет с даты их поставки (продажи).

В течение этого периода мы будем заменять или ремонтировать все дефектные части (с условием, что дефект обусловлен несовершенством материала или квалификацией выполненной работы).

Претензии сверх этого периода, также как и претензии о компенсации повреждений, произошедших не по вине ТВЕЛЕМ, не обеспечиваются (не покрываются) этой гарантией.

Мы должны быть извещены обо всех дефектах немедленно, а вышедшая из строя продукция должна быть возвращена на предприятие с описанием дефекта.

Гарантийные ремонты и/или замены выполняются с пониманием нашей ответственности перед потребителем.

Потребитель несет транспортные затраты. Расширение гарантийного периода последующего за выполненным ремонтом не разрешается.

Гарантия будет не действительной, если покупатель модифицировал или отремонтировал или произвел ремонт посредством привлечения третьей стороны без письменного согласия компании ТВЕЛЕМ.

Гарантия не распространяется на любые повреждения, причиненные неправильными условиями эксплуатации и полученными в результате форс-мажорных обстоятельств.

В этих случаях обязательства не будут применяться, исключая законные требования, относящиеся к обязательным требованиям к продукции.

Гарантия исключает все претензии за исключением выше перечисленных.

Изолированные датчики тока и напряжения производства ООО "ТВЕЛЕМ"								
Технические характеристики								
Тип датчика	Номинальное значение тока I_n (А)	Диапазон значений тока I_{max} (А)	Напряжение питания (В)	Точность при 25°C	Частотный диапазон (кГц)	Рабочий диапазон температур (°C)	Размеры (мм)	Тип исполнения
Датчики тока, промышленное исполнение								
LT 100-P/SP67	100	+/-150	+/-15	+/-0,5%	DC - 150	-25/+70	45x35x33	на печатную плату
LT 100-S/SP96	100	+/-200	+/-12...18	+/-0,5%	DC - 150	-25/+70	76x50x48	на панель
LT 100-T/SP96	100	+/-200	+/-12...18	+/-0,5%	DC - 150	-25/+70	76x50x100	на панель+токовая шина
LT 200-S/SP48	200	+/-300	+/-12...18	+/-0,5%	DC - 150	-25/+70	93x52x50	на панель
LT 200-T/SP48	200	+/-300	+/-12...18	+/-0,5%	DC - 150	-25/+70	93x52x112	на панель+токовая шина
LT 300-S/SP49	300	+/-500	+/-12...18	+/-0,5%	DC - 150	-25/+70	93x52x50	на панель
LT 300-T/SP49	300	+/-500	+/-12...18	+/-0,5%	DC - 150	-25/+70	93x52x112	на панель+токовая шина
LT 500-S/SP92	500	+/-1000	+/-15...24	+/-0,3%	DC - 150	-25/+70	116,5x84x64	на панель
LT 500-T/SP92	500	+/-1000	+/-15...24	+/-0,3%	DC - 150	-25/+70	116,5x180x64	на панель+токовая шина
LTC 600-SF/SP4	500	+/-1500	+/-15...24	+/-0,7%	DC - 100	-25/+85	130x100x82	на панель
LTC 600-TF/SP4	500	+/-1500	+/-15...24	+/-0,7%	DC - 100	-25/+85	130x100x185	на панель+токовая шина
LTC 1000-SF/SP20	1 000	+/-2400	+/-15...24	+/-0,4%	DC - 100	-25/+85	130x100x82	на панель
LTC 1000-TF/SP20	1 000	+/-2400	+/-15...24	+/-0,4%	DC - 100	-25/+85	130x100x185	на панель+токовая шина
LT 1000-SI/SP98	1 000	+/-1500	+/-15	+/-0,3%	DC - 100	-25/+70	169x74x102	на панель
LT 1000-TI/SP98	1 000	+/-1500	+/-15	+/-0,3%	DC - 100	-25/+70	169x180x102	на панель+токовая шина
LT 1000-SI/SP100	1 000	+/-2000	+/-24	+/-0,3%	DC - 100	-25/+70	169x74x102	на панель
LT 1000-TI/SP100	1 000	+/-2000	+/-24	+/-0,3%	DC - 100	-25/+70	169x180x102	на панель+токовая шина
Датчики тока, транспортное исполнение								
LA 25-NP/SP44	5...25	+/-36	+/-15	+/-0,6%	DC - 150	-40/+85	29,2x26x20,8	на печатную плату
LA 55-P/SP43	50	+/-70	+/-12...15	+/-0,65%	DC - 200	-40/+85	36,5x14,45x32,1	на печатную плату
LA 125-P/SP15	125	+/-200	+/-12...15	+/-0,6%	DC - 100	-50/+85	48,4x38,6x21,4	на печатную плату
LA 200-P/SP11	200	+/-300	+/-12...15	+/-0,4%	DC - 100	-50/+85	48,4x38,6x21,4	на печатную плату
LT 100-P/SP68	100	+/-150	+/-15	+/-0,5%	DC - 150	-50/+85	45x35x33	на печатную плату
LT 100-S/SP97	100	+/-200	+/-12...18	+/-0,5%	DC - 150	-50/+70	76x50x48	на панель
LT 100-T/SP97	100	+/-200	+/-12...18	+/-0,5%	DC - 150	-50/+70	76x50x100	на панель+токовая шина
LT 300-S/SP50	300	+/-500	+/-12...18	+/-0,5%	DC - 150	-50/+70	93x52x50	на панель
LT 300-T/SP50	300	+/-500	+/-12...18	+/-0,5%	DC - 150	-50/+70	93x52x112	на панель+токовая шина
LT 500-S/SP93	500	+/-1000	+/-15...24	+/-0,3%	DC - 150	-50/+85	116,5x84x64	на панель
LT 500-T/SP93	500	+/-1000	+/-15...24	+/-0,3%	DC - 150	-50/+85	116,5x180x64	на панель+токовая шина
LTC 600-SF/SP3	500	+/-1500	+/-15...24	+/-0,7%	DC - 100	-50/+85	130x100x82	на панель
LTC 600-TF/SP3	500	+/-1500	+/-15...24	+/-0,7%	DC - 100	-50/+85	130x100x185	на панель+токовая шина
LTC 1000-SF/SP21	1 000	+/-2400	+/-15...24	+/-0,4%	DC - 100	-50/+85	130x100x82	на панель
LTC 1000-TF/SP21	1 000	+/-2400	+/-15...24	+/-0,4%	DC - 100	-50/+85	130x100x185	на панель+токовая шина
LT 1000-SI/SP99	1 000	+/-1500	+/-15...24	+/-0,3%	DC - 100	-50/+85	177x74x102	на панель
LT 1000-TI/SP99	1 000	+/-1500	+/-15...24	+/-0,3%	DC - 100	-50/+85	177x180x102	на панель+токовая шина
Тип датчика	Номинальное значение напряжения (V_{PN}) , В	Номинальное значение тока, мА	Напряжение питания (В)	Точность при 25°C	Время задержки (мкс)	Рабочий диапазон температур (°C)	Размеры (мм)	Тип исполнения
Датчики напряжения, промышленное исполнение								
LV100/SP83	100...2500	10	+/-15	+/-0,7%	20...100	-25/+70	138x45,5x62	на панель,внеш. резистор
Датчики напряжения, транспортное исполнение								
LV 25-P/SP20	10...500	10	+/-15	+/-0,8%	40	-40/+85	29,2x26x20,95	на печ. плату, внеш. резистор
LV100/SP84	100...4500	10	+/-15...24	+/-0,7%	20...100	-50/+70	138x45,5x62	на панель, внеш. резистор



ООО „ТВЕЛЕМ“
170040, г. Тверь, Старицкое шоссе, д.15
Тел.: +7 4822 655672, Факс: +7 4822 655673
e-mail: tvelem@lem.com; www.lem.com