



Общие указания по монтажу компенсационных датчиков тока на эффекте Холла



Содержание

1.	Предисловие	3
2.	Принцип работы компенсационных датчиков тока	4
3.	Рекомендации	5
3.1.	Наилучшие форма и положение первичного проводника с точки зрения индуктивной связи	5
3.2.	Наилучшее положение обратного проводника первичной цепи	7
3.2.1.	Тороидальный магнитопровод	7
3.2.2.	Прямоугольный магнитопровод	10
3.3.	Другие конфигурации	11
3.3.1.	О применении ферромагнитных монтажных пластин	11
3.3.2.	Близость других проводников	12
3.3.3.	Изменение трехфазных токов	12
3.4.	Эффекты нагрева переменными токами	13
3.5.	Конструкция токовой шины: рекомендации	15
4.	Заключение	16

1. Предисловие

Проводник с током создает вокруг себя магнитное поле, пропорциональное силе протекающего тока (рис. 1). Принцип работы датчиков тока основывается на измерении магнитного поля вокруг проводника, пропущенного через отверстие магнитопровода. Выходной сигнал таких датчиков пропорционален измеряемому току.

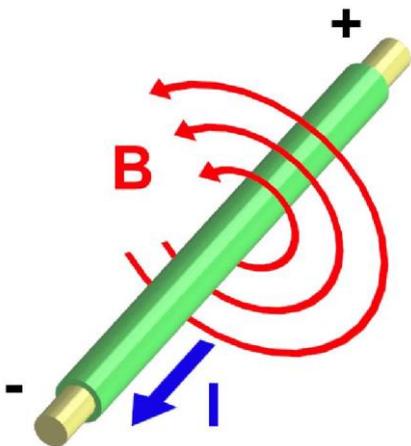


Рис. 1. Магнитный поток, создаваемый током I

Положение обратного проводника первичной цепи может значительно влиять на точность измерения сильных или быстро меняющихся токов (с высоким значением di/dt).

Каждая область применения имеет свои особенности. В этом отчете приведены важные соображения, которые следует учитывать при использовании компенсационных датчиков с элементами Холла для достижения наилучших характеристик.

2. Принцип работы компенсационных датчиков тока

В отличие от датчиков тока прямого усиления, которые просто усиливают напряжение элемента Холла, в компенсационных датчиках это напряжение используется для создания во вторичной обмотке компенсационного тока (рис. 2) такой силы, чтобы суммарный магнитный поток, измеренный элементом Холла, равнялся нулю.

Иными словами, компенсационный ток I_S создает магнитный поток, равный по амплитуде, но противоположный по направлению магнитному потоку измеряемого тока I_P .

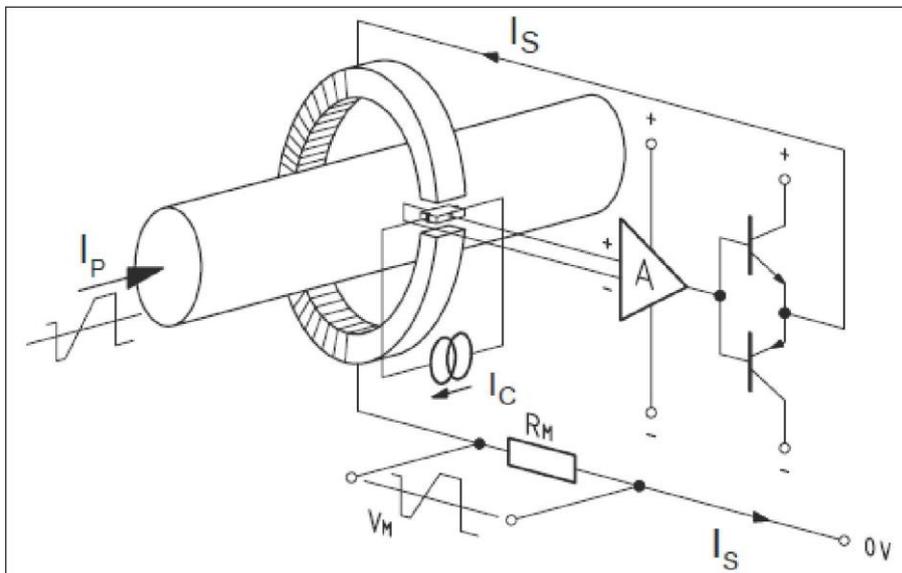


Рис. 2. Принцип работы компенсационного датчика тока

Использование элемента Холла в условиях нулевого магнитного потока радикально повышает точность усиления и дает очень малую погрешность нелинейности. Еще одно достоинство этой конфигурации состоит в том, что на высоких частотах вторичная обмотка действует как трансформатор тока, благодаря чему значительно расширяется полоса частот и сокращается время отклика датчика.

При полностью скомпенсированном магнитном потоке (нулевом суммарном его значении) ампер-витки первичного проводника и вторичной обмотки идентичны. Отсюда

$$N_p \times I_P = N_S \times I_S, \text{ или } I_S = I_P \times N_p / N_S.$$

Следовательно, ток вторичной обмотки I_S точно воспроизводит форму измеряемого тока I_P . На нагрузочном резисторе R_m , включенном последовательно с вторичной обмоткой, создается выходное напряжение, в точности пропорциональное измеряемому току.

3. Рекомендации

3.1. Наилучшие форма и положение первичного проводника с точки зрения индуктивной связи

В области низких частот работа датчика основывается на эффекте Холла. На более высоких частотах вторичная обмотка действует как трансформатор тока. Это иллюстрирует рис. 3.

Ввиду наличия воздушного зазора в магнитопроводе частота f_2 сильно зависит от формы и положения первичного проводника. Эти два параметра определяют индуктивную связь между первичным проводником и вторичной обмоткой.

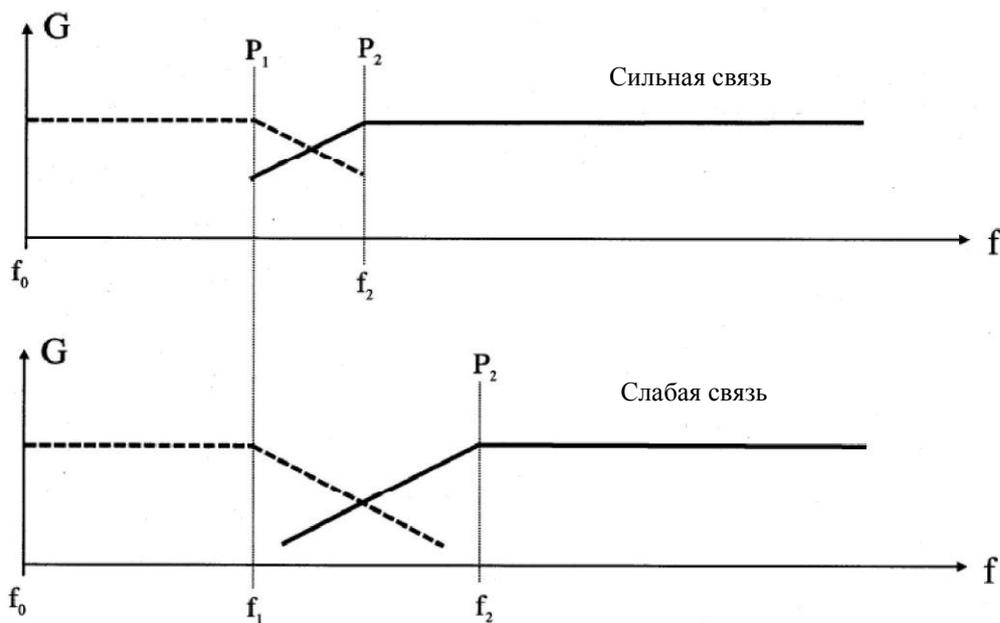


Рис. 3. Индуктивная связь вторичной обмотки с первичным проводником

Чтобы усилить связь, необходимо максимально сократить расстояние между первичным проводником и вторичной обмоткой.

Вывод

Для достижения наилучших динамических характеристик при использовании компенсационного датчика тока в части:

- АЧХ,
- реакции на быстрые изменения входного тока (di/dt),
- реакции на переходные сверхтоки,

LEM рекомендует (рис. 4) выбирать сечение первичного проводника таким, чтобы он максимально заполнял отверстие магнитопровода, и располагать первичный проводник по центру отверстия тороидального магнитопровода или вблизи от элемента Холла, если магнитопровод прямоугольный.

Все паспортные значения приведены для случая, когда **первичный проводник полностью заполняет отверстие магнитопровода.**

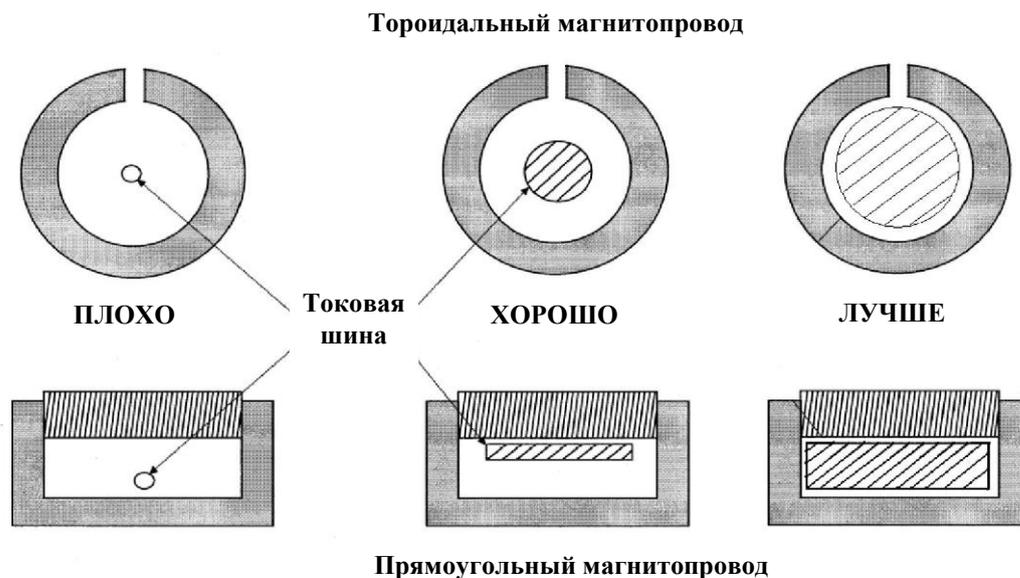


Рис. 4. Рекомендации по выбору формы и положения первичного проводника

3.2. Наилучшее положение обратного проводника первичной цепи

Положение обратного проводника первичной цепи относительно датчика имеет большое значение, ведь он также создает магнитное поле, которое может восприниматься датчиком и вносить дополнительную погрешность в результаты измерений.

Это поле зависит как от взаимной ориентации обратного проводника и элемента Холла, так и от расстояния между обратным проводом и датчиком.

3.2.1. Тороидальный магнитопровод

Обратный проводник под углом 180° :

Обратный проводник первичной цепи расположен под углом 180° к элементу Холла (рис. 5). Можно видеть, что создаваемый им магнитный поток f_R практически полностью пронизывает магнитопровод. Поскольку магнитные потоки обратного проводника первичной цепи (f_R) и первичного проводника (f_P) совпадают по направлению, они складываются. Это означает, что магнитный поток вторичной обмотки f_S будет больше ожидаемого: $f_S = f_R + f_P$.

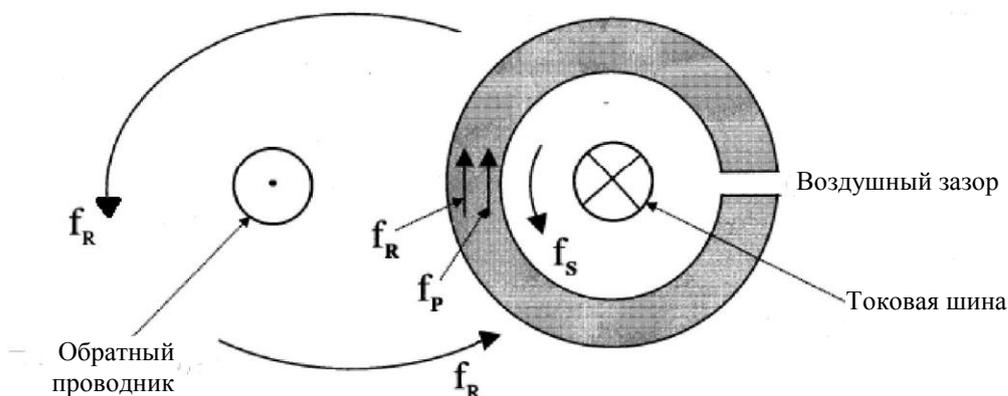


Рис. 5. Влияние обратного проводника первичной цепи, расположенного под углом 180°

Обратный проводник под углом 0° :

Обратный проводник первичной цепи расположен под углом 0° к элементу Холла (рис. 6). Магнитные потоки обратного проводника первичной цепи (f_R) и первичного проводника (f_P) противоположны по направлению, поэтому магнитный поток вторичной обмотки f_S будет меньше ожидаемого: $f_S = f_R - f_P$.

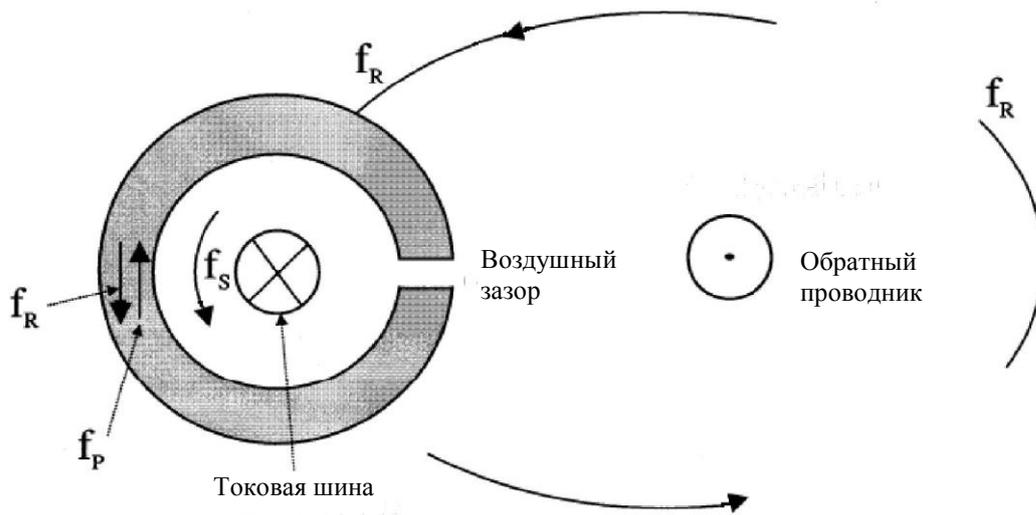


Рис. 6. Влияние обратного проводника первичной цепи, расположенного под углом 0°

Обратный проводник под углом 90° :

Обратный проводник первичной цепи расположен под углом 90° к элементу Холла (рис. 7). Это наилучшая конфигурация, так как магнитный поток обратного проводника f_R делится на две равные части, одна из которых складывается с магнитным потоком первичного проводника f_P , а другая вычитается из него: $f_S = \frac{1}{2} * f_R + f_P - \frac{1}{2} * f_R = f_P$.

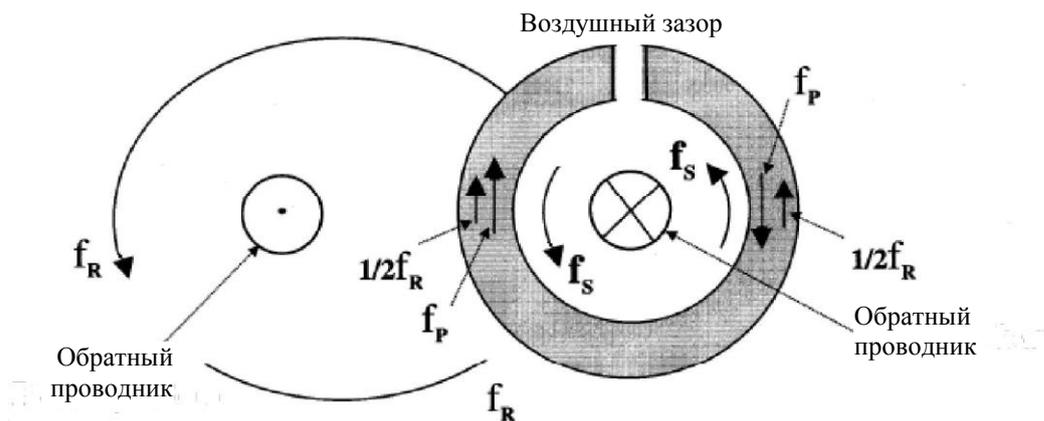


Рис. 7. Влияние обратного проводника первичной цепи, расположенного под углом 90°

Выводы

В случае тороидального магнитопровода обратный проводник первичной цепи, а также другие близлежащие проводники следует располагать относительно элемента Холла так:

Положение проводника относительно элемента Холла	Угол
ЛУЧШЕ ВСЕГО	$\pm 120^\circ$
ХОРОШО	$\pm 90^\circ$
ПРИЕМЛЕМО	180°
ХУЖЕ ВСЕГО	0°

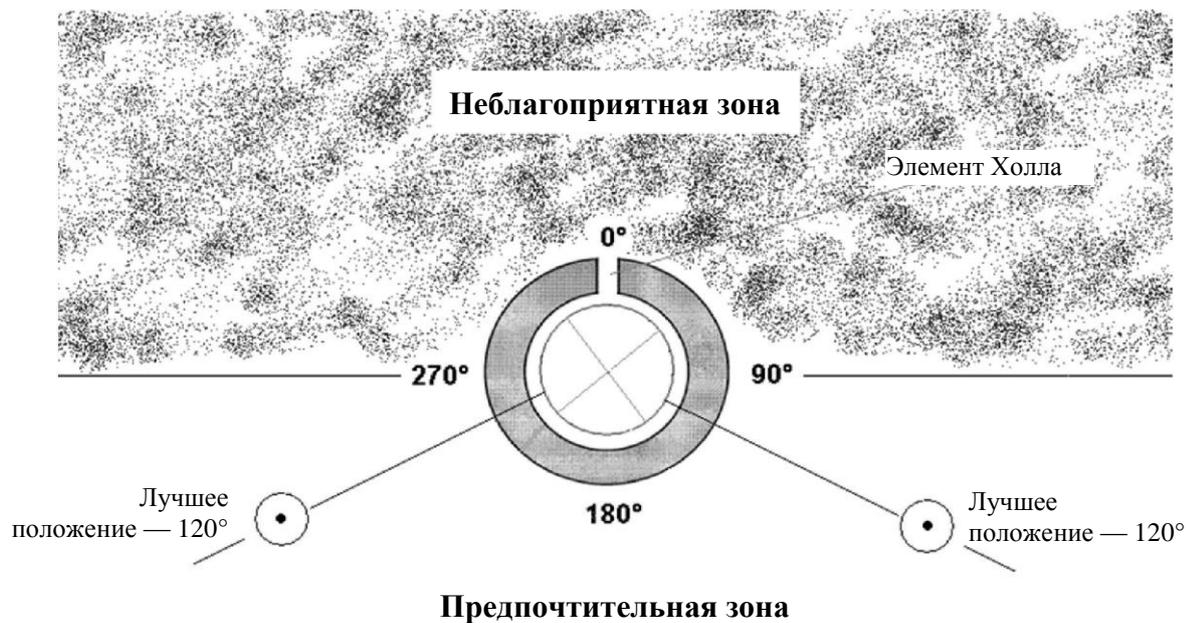


Рис. 8. Рекомендуемое положение обратного проводника первичной цепи

3.2.2. Прямоугольный магнитопровод

Прямоугольный магнитопровод гораздо менее эффективен, чем тороидальный, ввиду наличия острых углов и менее удачного распределения обмотки. У такого магнитопровода гораздо больше рассеяние магнитного потока (рис. 9, 10). Чтобы максимально ограничить рассеяние магнитного потока, рекомендуется применять следующую схему:

Положение проводника относительно элемента Холла	Угол
ЛУЧШЕ ВСЕГО	0°
ПЛОХО	$\pm 90^\circ$
ХУЖЕ ВСЕГО	180°

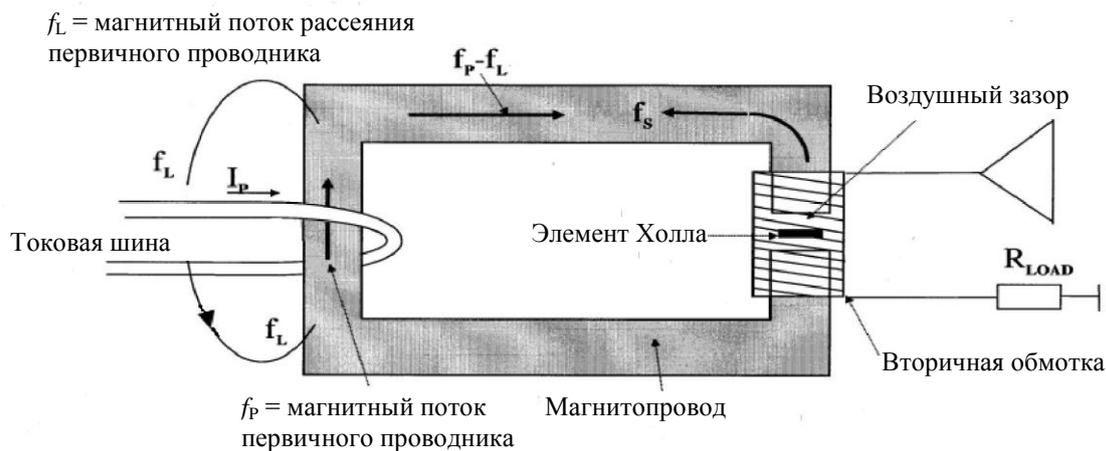


Рис. 9. Рассеяние магнитного потока в прямоугольном магнитопроводе (худший случай)

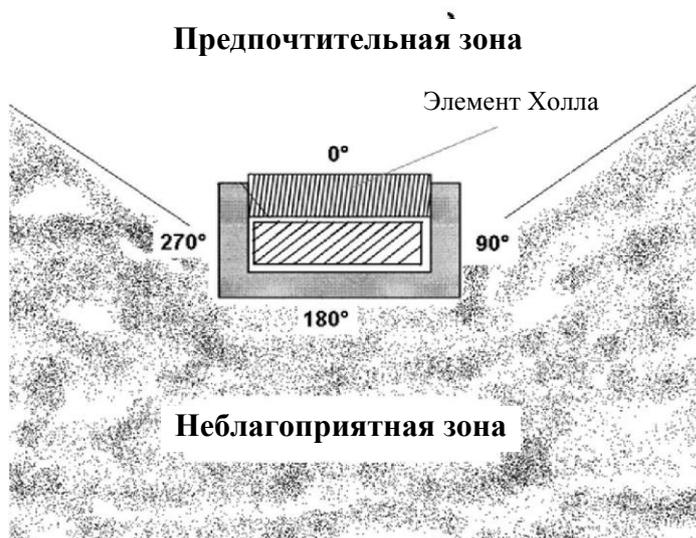


Рис. 10. Рекомендуемое положение обратного проводника первичной цепи

3.3. Другие конфигурации

3.3.1. Об использовании ферромагнитных монтажных пластин

Чтобы максимально ограничить рассеяние магнитного потока, LEM не рекомендует крепить датчик на пластине из ферромагнитного материала. Если через датчик протекает ток высокой частоты, не следует также использовать проводящую пластину. В случае крепления датчика на ферромагнитной пластине следует расположить элемент Холла на противоположной от нее стороне датчика (рис. 11). При этом предпочтительное расположение первичных проводников остается тем же (см. выше).

Это правило важнее соблюдать, если используется прямоугольный магнитопровод.

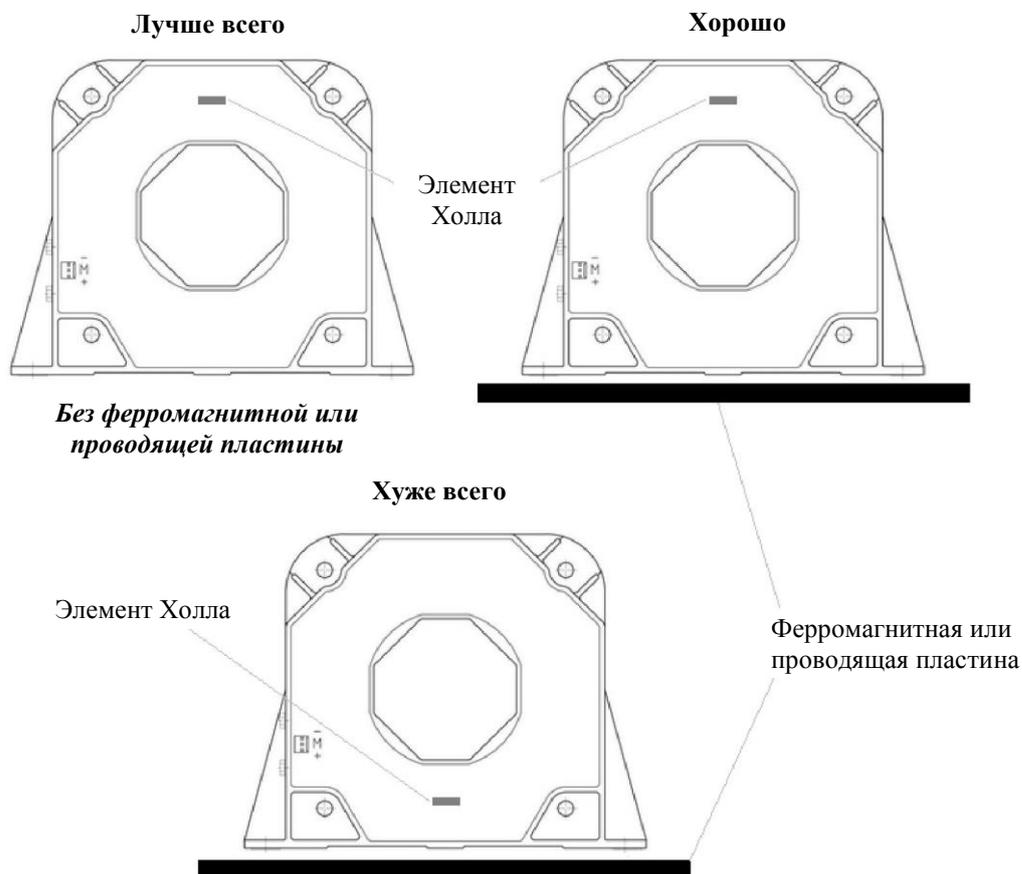


Рис. 11. Расположение элемента Холла при использовании ферромагнитной или проводящей монтажной пластины

3.3.2. Близость других проводников

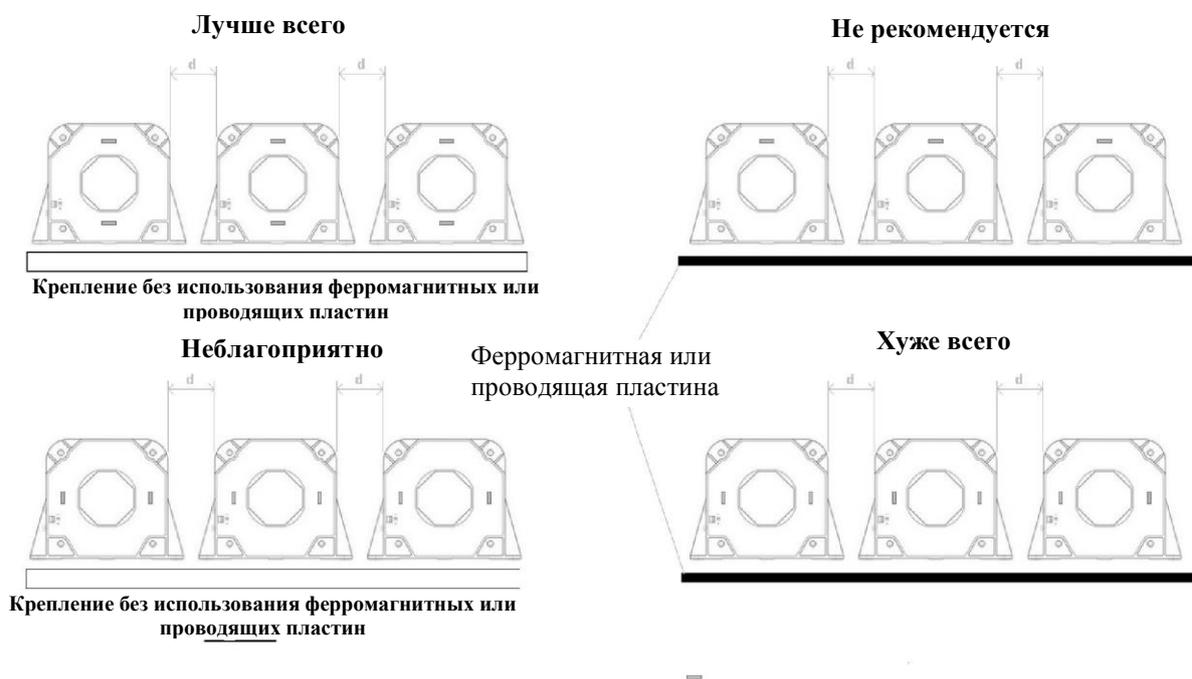
Если токи, протекающие через соседние с датчиком проводники, малы по сравнению с номинальным током, их близость не должна составлять проблемы. Если же они близки к номинальному току или превышают его, следует расположить эти проводники как можно дальше от датчика, иначе они будут вносить погрешность в измерения. Графики, описывающие влияние внешних возмущений на рабочие характеристики датчиков, предоставляются по запросу.

3.3.3. Изменение трехфазных токов

Чтобы ограничить влияние каждой отдельной фазы в трехфазной конфигурации, важно принимать во внимание следующее (рис. 12):

- взаимное расположение элементов Холла,
- минимально рекомендуемое расстояние между тремя фазными проводниками.

В этом случае мы также не рекомендуем использовать ферромагнитные или проводящие монтажные пластины. В отношении этих пластин необходимо учитывать соображения, изложенные в п. 3.3.1.



Обозначения:

- d — минимально рекомендуемое расстояние между датчиками для ограничения влияния других проводников;
- положение элемента Холла обозначается символом \ominus .

Рис. 12. Расположение элементов Холла в трехфазной конфигурации

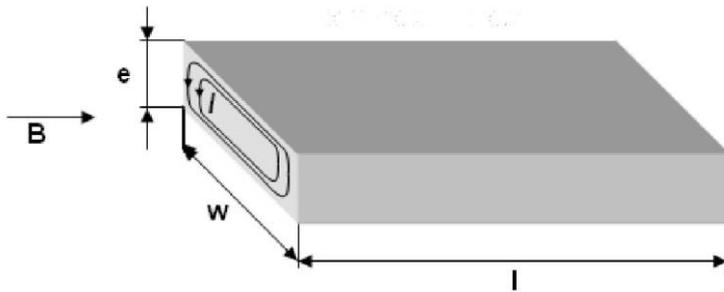
3.4. Эффекты нагрева переменными токами

В идеальном случае компенсационные датчики тока работают при нулевом значении магнитного потока. Но на деле магнитный поток не равняется нулю в точности, иначе нельзя было бы получить компенсационный ток I_s во вторичной обмотке. В сравнении с датчиками прямого усиления магнитный поток компенсационных датчиков чрезвычайно мал.

Приведенные ниже уравнения, в которых учитываются магнитное сопротивление и площадь поперечного сечения S магнитопровода, демонстрируют связь между индукцией B и первичным током I_p :

$$B = \frac{N_p \cdot I_p}{\mathfrak{R} \cdot S} \text{ with } \rightarrow \mathfrak{R} = \frac{l}{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot S} \quad (1)$$

Даже при очень малом магнитном потоке в магнитопроводе будут магнитные потери, обусловленные гистерезисом и вихревыми токами (рис. 13). Эти потери зависят от частоты и от индукции поля; в области высоких частот преобладают потери на вихревые токи.



Для наборного магнитопровода из ламинированных пластин:

$$P_e = \frac{m \cdot \pi^2}{6 \cdot 10^3 \cdot \rho \cdot d} \cdot e^2 \cdot \hat{B}^2 \cdot f^2 \text{ [W/kg]} \quad (2)$$

- P_e : потери на вихревые токи, Вт/кг
- ρ : удельное сопротивление магнитного материала, Ом•м
- e : толщина набора, м
- m : количество пластин в наборе
- B : индукция, Тл
- f : частота, Гц
- d : плотность, кг/м³

Рис. 13. Магнитные потери, обусловленные вихревыми токами

Во избежание перегрева элемента Холла из-за потерь на вихревые токи на высоких частотах необходимо уменьшить как индукцию B , так и толщину пластины e (рис. 13 и формула 2). Так как индукция непосредственно зависит от первичного тока I_p (формула 1), целесообразно рассмотреть возможность снижения номинального значения первичного тока. На рис. 14 приведен пример такого снижения для датчика LT 1005-S.

LT1005-S (залит компаундом)

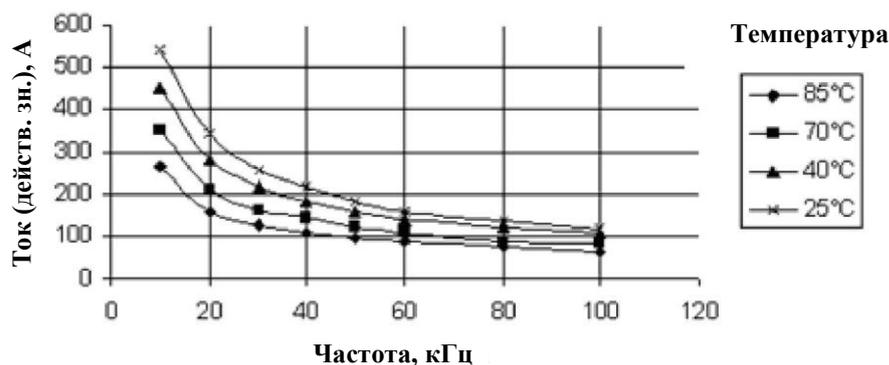


Рис. 14. Пример графиков снижения номинального тока от частоты для датчика LT 1005-S

По графикам снижения номинального тока определяется максимальный ток в зависимости от рабочей частоты, при протекании которого через датчик температура в окрестности элемента Холла остается ниже максимальной (110 °С).

Возможность снижения номинального тока следует рассматривать для датчиков тока любого типа (как компенсационных, так и прямого усиления). В большинстве случаев соответствующие графики могут быть предоставлены по запросу. За более подробной информацией просьба обращаться в отдел технической поддержки LEM.

3.5. Конструкция токовой шины: рекомендации

Известно, что температура токовой шины влияет на датчик во многих отношениях:

- Температура корпуса
 - > Современные корпусные материалы выдерживают температуру до +120...+150 °C
- Температура внутренних компонентов датчика
 - > Температура элемента Холла не должна превышать +110 °C
 - > Температура *p-n*-переходов выходных транзисторов не должна превышать +125 °C (абсолютный максимум — +150 °C)

По этим причинам LEM в общем случае указывает, что температура токовой шины не должна превышать +100°C при данной рабочей температуре окружающего воздуха T_a . Обязанность обеспечить соблюдение этого условия лежит на пользователе. Вот несколько рекомендаций:

- если используется токовая шина стороннего производителя, она должна быть как можно более короткой;
- площадь поверхности токовой шины должна быть максимальной, чтобы обеспечить эффективное рассеяние тепла;
- в случае переменного тока может возникнуть необходимость в использовании нескольких токовых шин (см. ниже);
- следует использовать надежные способы соединения и делать площадь соприкосновения токовой шины с контактными шинами или кабелями как можно большей — это поспособствует охлаждению стыка.

В случае переменного тока следует использовать несколько токовых шин:

- максимальное количество токовых шин — четыре (из-за скин-эффекта ток в центральном проводнике будет меньше, чем в периферийном);
- токовые шины должны идти параллельно и монтироваться вертикально (для максимально эффективного охлаждения);
- расстояние между токовыми шинами должно как минимум равняться толщине шины;
- распределение тока между шинами не должно быть равномерным (распределение Лапласа).

В случае приобретения датчика тока LEM с встроенной токовой шиной необходимо соблюдать правила его монтажа. Подробнее см. в указании по применению «Общие указания по монтажу».

4. Заключение

В этом документе приведены общие рекомендации, призванные помочь пользователям в достижении наилучших рабочих характеристик при использовании компенсационных датчиков тока на эффекте Холла.

Информацию о положении элемента Холла в датчиках тока LEM можно получить в каталогах LEM, доступных на сайте:

http://www.lem.com/images/stories/files/RU/ru/cae130621_1_russian.pdf