

# Как показать номинальный ток

## В наилучшем свете

**Индукторы используются в импульсных преобразователях в качестве силовых дросселей. Такие параметры, как индуктивность, номинальный ток, ток насыщения и омическое сопротивление R<sub>DC</sub>, определяются и указываются производителями точных изделий в технических спецификациях. На практике следует сравнивать катушки одинаковой конструкции, что позволяет сделать выбор для применения в конкретном импульсном устройстве. Но при этом часто возникает вопрос к производителям: почему величина номинального тока может отличаться для индукторов одинаковой конструкции, произведенных разными компаниями?**

Стефан Клейн (Stefan Klein)

appnotes@we-online.de

### Влияние номинального тока на рабочую температуру

Величина допустимой рабочей температуры электронного компонента играет очень важную роль. Если она будет превышена, то появляется риск разрушения компонента, в лучшем случае срок его службы значительно сокращается. Рабочая температура  $T_{Op}$  состоит из двух составляющих: температуры окружающей среды  $T_{Amb}$  и температуры перегрева  $\Delta T$ :

$$T_{Op} = T_{Amb} + \Delta T.$$

«Саморазогрев» является следствием потерь мощности  $P_{Loss}$  и зависит от способности компонента к отводу тепла. Эффективность тепловыделения определяется произведением площади поверхности компонента  $A_{Comp}$  и зависимой от продукта константы  $k_{Comp}$ , которая отражает, кроме прочего, свойства материала:

$$\Delta T = \left( \frac{P_{Loss}}{A_{Comp} \times k_{Comp}} \right)^{0,833}.$$

Причиной саморазогрева дросселя являются омические потери, вызванные наличием у проводов сопротивления  $R_{DC}$ , во многом определяющего эксплуатационные пределы. Величина сопротивления измеряется четырехполюсным методом с помощью LCR-метра и может существенно различаться от компонента к компоненту. Для заданной константы материала  $\rho$  сопротивление медного провода  $R_{DC}$  определяется его длиной  $l$  и площадью поперечного сечения  $A$ :

$$R_{DC} = \rho \times l/A.$$

Во избежание перегрева и повреждения катушки указанное значение номинального тока не должно быть превышено. Номинальный ток  $I_R$  ограничен величиной сопротивления  $R_{DC}$  обмотки, создающего потери мощности  $P_{DCLoss}$ :

$$P_{DCLoss} = I^2 \times R_{DC}.$$

Омические потери мощности дросселя растут пропорционально квадрату тока и приводят к нежелательному перегреву. Как правило, допустимый перегрев компонента указывается в его технической спецификации, и он определяет величину номинального тока. Для пассивных компонентов, как правило, указывается величина саморазогрева 40 градусов по шкале Кельвина, т. е. если указанный номинальный ток течет через катушку, то она нагревается на 40 К. Существуют некоторые отклонения от производителя к производителю, поскольку нет единого мирового стандарта, определяющего повышение температуры, при которой определяется величина номинального тока.

### Установка для определения номинального тока

Чтобы результаты измерений не искажались из-за конвекции воздуха, необходимо использование специального испытательного стенда. Испытательная камера Würth Elektronik eiSos, показанная на рис. 1 и соответствующая требованиям EN60512-5-2, выполнена из не-теплоотражающего материала. В стандарте EN60512 описана методика испытаний соединителей для электронного оборудования, он выбран в качестве референтного, поскольку подобных методик для индукторов не существует. Термоэлемент контактирует с поверхностью катушки через термопасту, обеспечивающую точное измерение темпера-

туры компонента. Испытательная установка автоматизирована, источник тока управляется программным обеспечением, разработанным специально для этой цели.

Номинальный ток определяется при пропуске постоянного тока через индуктор. Когда система, состоящая из катушки и измерительного оборудования, приходит в установившееся состояние, перегрев компонентов и температура окружающей среды измеряются с помощью датчиков. Если повышение температуры составляет менее 40 К, то величина DC тока увеличивается ступенчато до тех пор, пока нагрев не составит 40 К. При достижении этого состояния производится считывание тока через дроссель, полученная величина рассматривается как номинальное значение  $I_R$ .

**Воздействие внешних факторов на результаты измерений**

Даже в тестовой камере присутствует влияние внешних факторов, которые могут существенно исказить результат измерения. Во время измерения способ подключения индуктора к источнику тока имеет решающее значение, поскольку излишнее тепловыделение может повлиять на полученные результаты. По этой причине Würth Elektronik eiSos принимает специальные меры, направленные на снижение тепловой связи между тестируемым компонентом и окружающей средой во время измерения. На рис. 2 показаны различные методы подключения измерительной аппаратуры к индуктору.

Для описываемого эталонного измерения Würth Elektronik eiSos использует катушки WE-LHMI серии 744373460082 в корпусе 7030 при величине измерительного тока 9 А. Способ подключения влияет на результат измерения: чем больше масса контактов, тем больше тепла они могут отвести и тем ниже относительное изменение температуры катушки. Первый пример эталонных измерений показывает, например, что дроссель WE-LHMI в корпусе 7030 нагревается на 30,9 К, если он соединен паяными проводами, а подключение осуществляется посредством больших зажимов.

При использовании меньших зажимов и том же токе температура поднимается на 35,8 К, однако этот способ не является практичным. В своих технических спецификациях Würth Elektronik eiSos рекомендует третий метод подключения каждой катушки, показанный на рис. 2, который служит основой для таких измерений. Для того чтобы процесс измерения соответствовал стандартам, печатная плата FR4 толщиной 1,5 мм используется в качестве материала подложки, медные дорожки толщиной 35 мкм имеют химическое золочение. Номинальный ток измеряется четырехполюсным методом, благодаря чему сопротивление цепи подключения к источнику питания имеет минимально возможное значение. Это также позволяет избежать высокого нагрева измерительных кабелей.

В нашем примере используется третий вариант подключения (рис. 2) с помощью печатной платы с катушкой WE-LHMI в корпусе 7030.

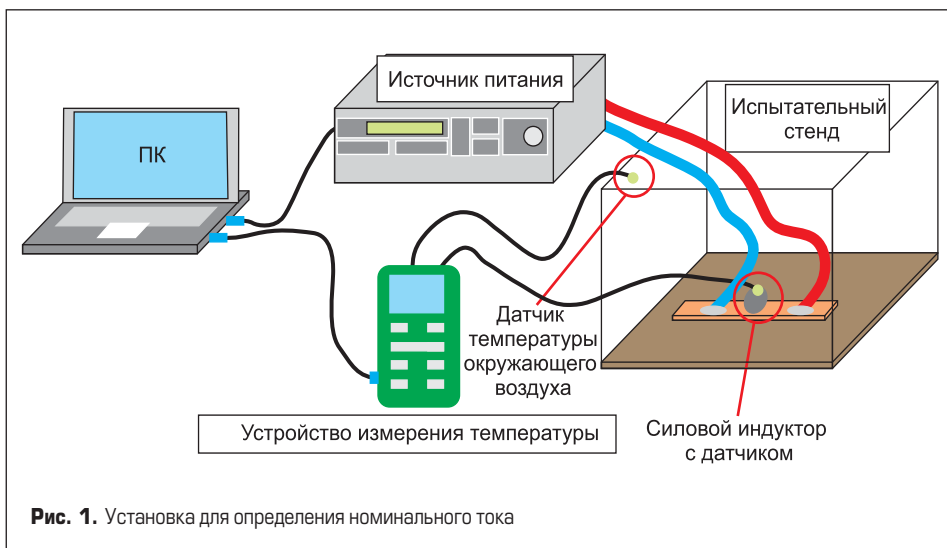


Рис. 1. Установка для определения номинального тока

При токе 9 А дроссель нагревается на 40 К, это эталонное измерение показывает, что разница температур может достигать 9,1 К. Как правило, производители дросселей не указывают способ подключения, поэтому метод измерения не может быть воспроизведен точно. Однако в том случае, если две катушки одинаковой конструкции от разных производителей исследуются с использованием одного и того же метода измерения и подключения, должны быть получены одинаковые результаты.

**Сравнение индукторов**

Далее сравним индукторы Würth Elektronik eiSos семейства WE-LHMI с аналогичной катушкой другого производителя. Оба дросселя содержат обмотки, выполненные круглым проводом и запрессованные в сердечник из железного порошка. Параметры компонентов сравниваются в таблице.

Интересно, что номинальный ток идентичных индукторов отличается на 4 А.

Таблица. Сравнительные характеристики индукторов

| Обозначение           | Корпус | Индуктивность L, мкГн | Номинальный ток I <sub>R</sub> , А | Сопротивление R <sub>DC, Typ</sub> , мОм |
|-----------------------|--------|-----------------------|------------------------------------|--|
| 744373460082          | 7030   | 0,82                  | 9                                  | 6,7                                      |
| Конкурирующее изделие |        |                       | 13                                 |  |

| Подключение к индуктору  | ΔT @ 9 А |
|--|----------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- WE-LHMI 7030</li> <li>- 74437346220</li> <li>- Индуктор на проводах</li> <li>- Большие зажимы</li> </ul>    | 30,9 К   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- WE-LHMI 7030</li> <li>- 74437346220</li> <li>- Индуктор на проводах</li> <li>- Маленькие зажимы</li> </ul>  | 35,8 К   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- WE-LHMI 7030</li> <li>- 74437346220</li> <li>- Индуктор на плате</li> <li>- Рекомендуемый способ</li> </ul> | 40 К     |

Рис. 2. Сравнение способов подключения

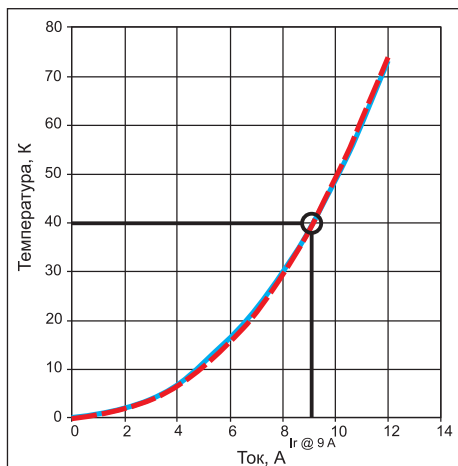


Рис. 3. Характеристические кривые номинальных токов катушек

Теоретически, не должно быть никакой разницы, учитывая одинаковый тип корпуса и одинаковое значение  $R_{DC}$ . В качестве эксперимента было измерено номинальное значение тока обеих катушек с использованием измерительной установки Würth Elektronik eiSos и проведено их сравнение. Для обоих элементов использован один и тот же испытательный стенд, одинаковый способ подключения и одинаковая измерительная плата. На рис. 3 показано, что характеристическая кривая эталонной катушки (голубая линия) практически совпадает с кривой, полученной для дросселя WE-LHMI 744373460082 (красная пунктирная линия).

### Уловки при определении номинального тока

На рис. 4 показан тепловой профиль обеих катушек, измеренный с помощью тепловизора. Температура левой катушки WE-LHMI при номинальном токе 9 А за вычетом комнатной

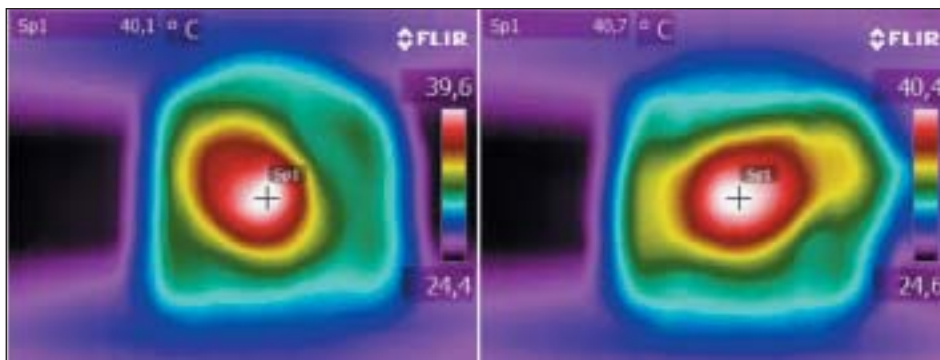


Рис. 4. Тепловой профиль сравниваемых катушек

температуры составляет +40,1 °C. Более высокий номинальный ток может быть достигнут при использовании индукторов Würth Elektronik eiSos семейства WE-MAPI.

Справа на рис. 4 приведен тепловой профиль другой катушки, полученный при том же номинальном токе за вычетом температуры в помещении. Перегрев достигает 40,7 °C. Разница между двумя измеренными значениями температуры составляет всего 0,6 К, что находится в пределах допусков. Обе характеристические кривые показывают саморазогрев на уровне 40 К при номинальном токе 9 А. Кроме того, обе катушки имеют одинаковый тип корпуса и одинаковое сопротивление  $R_{DC} = 6,7$  мОм. В результате они должны иметь и одинаковые потери мощности  $P_{DCLoss}$ :

$$P_{DCLoss} = I^2 \times R_{DC}$$

$$P_{DCLoss} = 9^2 \text{ A} \times 6,7 \text{ мОм} = 0,5427 \text{ Вт.}$$

Этот факт предполагает, что номинальный ток другого компонента был определен методом, предусматривающим более высокий уровень тепловыделения. Небольшие отклонения в характеристических кривых связаны с разбросом параметров компонентов. Они

возникают даже при сравнении индукторов одинаковой конструкции, одного типа и производимых одной и той же фирмой.

### Интерпретация результатов

Измерения показывают, что величина номинального тока зависит от внешних воздействий во время измерений. Хороший отвод тепла может исказить результат и привести к получению необъяснимо высоких значений  $I_R$ . При сравнении индукторов Würth Elektronik eiSos с другими компонентами следует обратить внимание на особенности конструкции корпуса и идентичность сопротивлений  $R_{DC}$ . Предполагается, что величина номинального тока определяется при одинаковом уровне саморазогрева. Если конструкция корпуса и сопротивление  $R_{DC}$  совпадают, то номинальный ток индукторов также должен быть одинаковым.

### Литература

1. [www.we-online.com/app-notes](http://www.we-online.com/app-notes)
2. [www.we-online.com/component-selector](http://www.we-online.com/component-selector)
3. [www.we-online.com/toolbox](http://www.we-online.com/toolbox)
4. <http://katalog.we-online.de/en/>