



Новые ферритовые материалы обеспечивают передачу данных без искажений в сетях ADSL



ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ РАЗВЕТВИТЕЛЕЙ

Инновационный ферритовый материал N45 компании EPCOS позволяет разработчикам создавать миниатюрные трансформаторы и фильтры для компактных ADSL-разветвителей при минимальных потерях и искажениях сигнала.

АВТОР

ДЕТЛЕФ ЛАНГЕ

Руководитель
отдела разработки
ферритов
в компании EPCOS

В большинстве случаев при использовании технологий ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line — асимметричная цифровая абонентская линия) для разделения высокочастотного сигнала данных и низкочастотного речевого сигнала как на центральных телефонных станциях, так и в оборудовании пользователей применяются разветвители. Разветвитель состоит из фильтра нижних частот (ФНЧ) и фильтра верхних частот (ФВЧ). Характеристики ФНЧ должны соответствовать параметрам канала передачи. Обычно для этого необходимо использовать фильтры высших порядков, которые состоят из нескольких катушек индуктивности, чтобы получить при заданной величине индуктивности минимальное омическое сопротивление.

1 Сравнительные характеристики ферритовых материалов N48, N41 и N45

Параметр	N48	N41	N45
Начальная магнитная проницаемость μ_i	2300	2800	3800
Магнитная индукция насыщения B_S [мТл] при 25→С	420	490	550
Магнитная индукция насыщения B_S [мТл] при 100→С	310	390	440
Температура Кюри T_C [→С]	> 170	> 220	> 225
Относительный температурный коэффициент α_F [$10^{-6}/K$],	0.5	3.5	-2.8
Относительный тангенс угла потерь $\tan \delta/\mu_i$ [10^{-6}] на частоте 10 кГц	2.7	2.6	0.6
Относительный тангенс угла потерь $\tan \delta/\mu_i$ [10^{-6}] на частоте 100 кГц	4.2	6.6	1.6
Постоянная потеря на гистерезис δ_B [$10^{-6}/mT$]	< 0.4	< 1.4	< 0.4

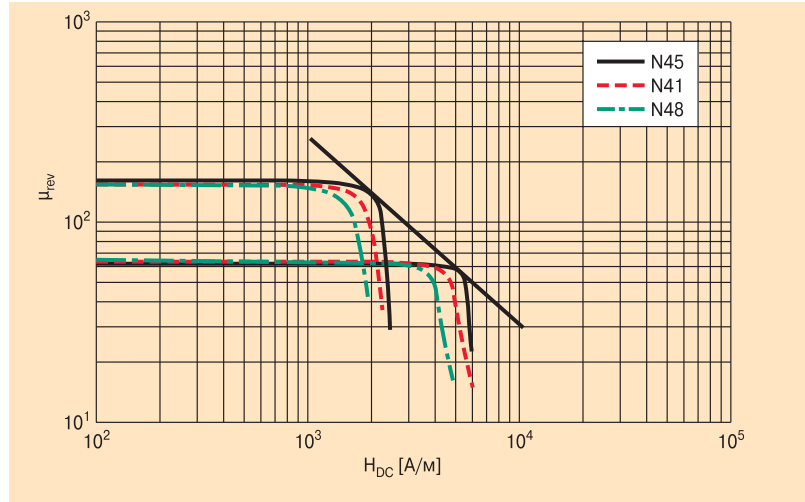
Кроме того, дроссели фильтров должны быть способны работать при постоянном токе 100 мА, которым питаются терминалы ISDN и аналоговых устройств. Миниатюризация АТС и аппаратуры, устанавливаемой в помещении пользователя, требует применения дросселей с меньшими размерами. Благодаря новому ферритовому материалу N45 компании EPCOS можно разрабатывать для разветвителей дроссели оптимальных размеров.

Улучшенные характеристики при работе в режиме малых сигналов и подмагничивании постоянным током

Применяемые в фильтрах ферритовые материалы должны обладать превосходными характеристиками в режиме малых сигналов. До сих пор для фильтров широко использовался материал N48 компании EPCOS. Однако в условиях работы разветвителей, связанных с подмагничиванием постоянным током, требуется высокая магнитная проницаемость и магнитная индукция насыщения, характерные до настоящего времени для силовых материалов, таких как N41. Новый ферритовый материал N45 сочетает достоинства материалов N41 и N48. Его магнитная проницаемость и индукция насыщения выше, чем для N41, в то время как параметры в режиме малых сигналов, такие как относительный тангенс угла потерь $\tan \delta/\mu_i$ и постоянная потеря на гистерезис δ_B не хуже и даже превосходят аналогичные параметры материала N48. Материал N45 компании EPCOS является мировым рекордсменом по магнитной индукции насыщения, составляющей 550 мТл при комнатной температуре. Характеристики всех трех ферритовых материалов приведены для сравнения в таблице 1.

Чтобы дроссель мог работать при постоянном токе 100 мА, ферритовый сердечник должен иметь определенный зазор, соответствующий коэффициенту индуктивного сопротивления A_L . В справочных данных для оценки способности ферритовых материалов работать при подмагни-

2 Рабочие характеристики при подмагничивании постоянным током



чивании постоянным током обычно приводятся графики зависимости обратной магнитной проницаемости μ_{rev} от напряженности постоянного магнитного поля H_{DC} для сердечников с различными воздушными зазорами. График на рисунке 2 демонстрирует превосходные рабочие характеристики материала N45 при подмагничивании постоянным током по сравнению с N41 и N48 при комнатной температуре для двух различных значений эффективной магнитной проницаемости μ_e (μ_e — магнитная проницаемость собранного из двух половин сердечника при отсутствии приложенного постоянного магнитного поля). Огибающая характеристик с различными значениями μ_e соответствует максимальной обратной магнитной проницаемости μ_{rev} для определенных значений H_{DC} и может быть аппроксимирована при помощи следующего выражения:

$$\mu_{rev} = 10^7 \cdot (H_{DC})^{K4} \quad (1)$$

где $g = 5.3$ и $K4 = -0.955$ для материала N45.

Данная аппроксимация может применяться для эффективной магнитной проницаемости в диапазоне от $\mu_{e, min} = 30$ до $\mu_{e, max} = 500$. Эти значения μ_e были получены в результате измерений. Зависимость обратной магнитной проницаемости μ_{rev} от напряженности постоянного магнитного поля H_{DC} в качестве характеристики материала напрямую не используется и для определенных форм сердечников может быть заменена характеристикой коэффициента индуктивного сопротивления A_L от постоянного тока I_{DC} :

$$A_L = \mu_0 \cdot \mu_{rev} \cdot \frac{A_e}{l_e} \quad I_{DC} = \frac{H_{DC} \cdot l_e}{N} \quad (2)$$

где A_e — эффективная площадь сечения, l_e — эффективная длина магнитного пути, N — число витков, $\mu_0 = 1.257 \cdot 10^{-6}$ Гн/м.

Максимальное значение A_L , получаемое при определенном значении постоянного тока, может быть вычислено при

помощи уравнений (1) и (2):

$$A_L = \mu_0 \cdot 10^7 \cdot \left(\frac{N \cdot I_{DC}}{l_e} \right)^{K4} \cdot \frac{A_e}{l_e} \quad (3)$$

Минимизация омического сопротивления

Значение постоянного тока, которое устанавливается в документации разветвителя, обычно составляет 100 мА. При данной величине тока дроссели разветвителя должны иметь максимальную индуктивность L при минимальном омическом сопротивлении R_{DC} . Однако графики, представленные на рисунке 2, и уравнение (3) не дают достаточно информации для начального этапа разработки.

Индуктивность сердечника при подмагничивании постоянным током может быть вычислена как функция напряженности постоянного магнитного поля следующим образом:

$$L(H_{DC}) = \mu_0 \cdot \mu_{rev}(H_{DC}) \cdot N^2 \cdot \frac{A_e}{l_e} \quad (4)$$

С помощью коэффициента сопротивления A_R омическое сопротивление R_{DC} обмотки при коэффициенте заполнения медной обмотки 50% может быть рассчитано аналогично коэффициенту индуктивного сопротивления A_L :

$$R_{DC} = N^2 \cdot A_R \quad (5)$$

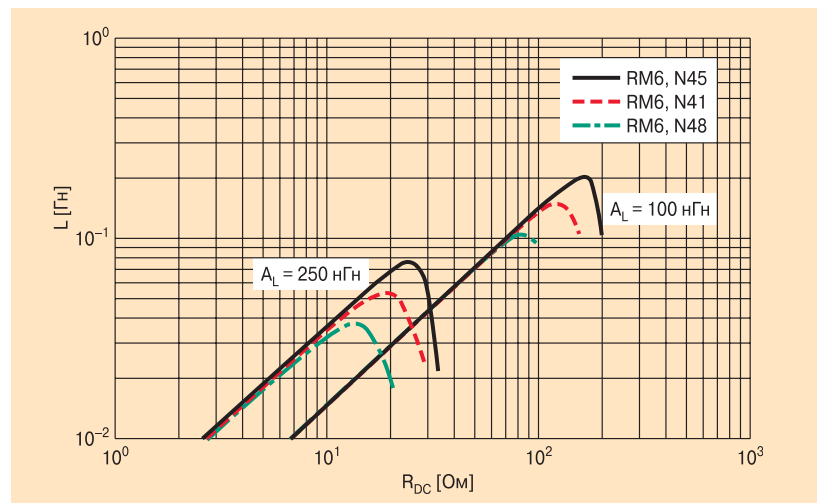
С помощью уравнения (2) при значении постоянного тока $I_{DC} = 100$ мА можно рассчитать омическое сопротивление R_{DC} как функцию H_{DC} :

$$R_{DC}(H_{DC}) = \left(\frac{H_{DC} \cdot l_e}{I_{DC}} \right)^2 \cdot A_R \quad (6)$$

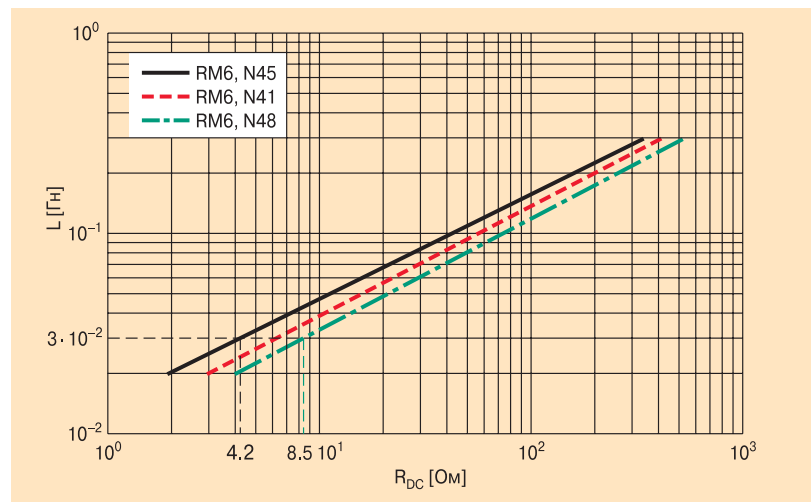
2
Материал N45 имеет превосходные рабочие характеристики при подмагничивании постоянным током по сравнению с N41 и N48

3
Для обоих значений A_L материал N45 демонстрирует значительно лучшие характеристики

3 Зависимость индуктивности от омического сопротивления



4 Минимальное омическое сопротивление



5 Зависимость коэффициента индуктивного сопротивления от температуры

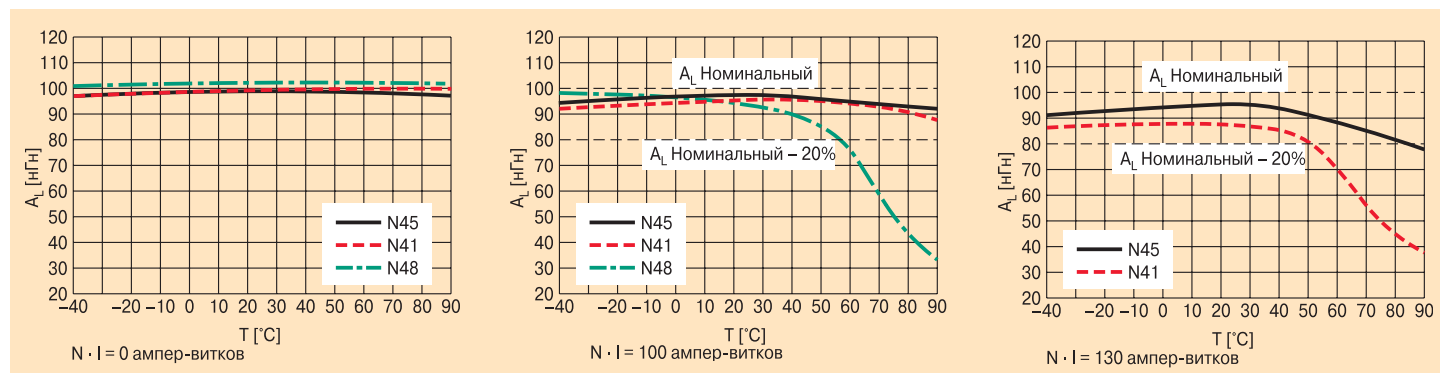


График зависимости $L(H_{DC})$ от $R_{DC}(H_{DC})$ для различных значений A_L подобен кривым Ганна, используемым при расчетах силовых дросселей. Графики, приведенные на рисунке 3, были рассчитаны для сердечников RM6, изготовленных из ферритовых материалов N45, N41 и N48, при коэффициентах индуктивного сопротивления 250 и 100 нГн.

При логарифмическом масштабе по обеим осям максимумы кривых для различных значений A_L можно соединить прямой линией и использовать при определении минимального омического сопротивления для заданной индуктивности. Это продемонстрировано на рисунке 4 для сердечника RM6. При использовании материала N45 минимальное омическое сопротивление для индуктивности 30 мГн составляет 4.2 Ом. Такое же значение индуктивности в случае использования материала N41 может быть получено только при значительно большем сопротивлении — 8.5 Ом.

Для расчета максимально возможного значения индуктивности при определенном значении омического сопротивления и различных формах сердечника можно воспользоваться уравнениями (1), (4) и (6):

$$L = \mu_0 \cdot 10^7 \cdot \frac{A_e}{l_e} \cdot \left(\frac{l_{DC}}{l_e} \right)^{K4} \cdot \left(\frac{R_{DC}}{A_R} \right)^{1 + \frac{K4}{2}} \quad (7)$$

Поскольку омическое сопротивление известно, при помощи уравнения (5) может быть рассчитано необходимое число витков. Зная число витков и величину индуктивности, можно вычислить коэффициент индуктивного сопротивления A_L .

Температурная стабильность индуктивности

Некоторые телекоммуникационные устройства должны работать в диапазоне температур от -40 до $+85 \rightarrow C$. Материал N45 обеспечивает в этом диапазоне температур наилучшую стабильность индуктивности, что может быть продемонстрировано на примере сердечника RM6 с воздушным зазором, соответствующим коэффициенту индуктивного сопротивления 100 нГн. Значение A_L было из-

4 Новый материал N45 позволяет значительно снизить омическое сопротивление

5 Коэффициент индуктивного сопротивления A_L в зависимости от температуры и ампер-витков

мерено в интервале от -40 до $+85 \rightarrow C$ на 100-витковой измерительной обмотке для трех значений $N \cdot I$: при 0, 100 и 130 ампер-витках (см. 5). При 130 ампер-витках и $85 \rightarrow C$ коэффициент индуктивного сопротивления для материала N45 снизился на 20%, в то время как материалы N48 и N41 перешли в насыщение. Коэффициент индуктивного сопротивления ферритового материала N48 значительно снизился уже при 100 ампер-витках, и поэтому данный материал не сравнивался с материалами N45 и N41 при 130 ампер-витках.

www.epcos.com/ferrites

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сочетая достоинства ферритов силового назначения и ферритов для фильтров, новый материал N45 компании EPCOS обеспечивает превосходные технические характеристики дросселей фильтров, применяющихся в ADSL-разветвителях. Материал N45 позволяет разрабатывать дроссели меньших размеров или дроссели с минимальным омическим сопротивлением. Материал N45 также обеспечивает наилучшую стабильность индуктивности для телекоммуникационных устройств во всем диапазоне температур от -40 до $+85 \rightarrow C$. Конструкцию дросселей можно оптимизировать для различных форм сердечников, используя несложные уравнения. Имеются изготовленные из материала N45 образцы сердечников наиболее распространенных форм — RM4, RM5, RM6, EPX7/9 и EPX10.