

ИЗМЕРЕНИЕ ИМПЕДАНСА ТРАНСФОРМАТОРОВ

РЭЙ РИДЛИ (RAY RIDLEY), президент, Ridley Engineering

Эта статья напоминает разработчикам о важности измерения импедансов всех магнитных компонентов силовой электронной цепи независимо от уровня питания. Измерение трех импедансов упростит процесс разработки, улучшит характеристики системы и обеспечит высокое качество производства.

МАГНИТНЫЕ КОМПОНЕНТЫ

Трансформаторы и дроссели имеют разную форму и размеры. На рисунке 1 показаны два магнитных компонента — трансформатор размерами 3×3 см для приложений на 60...80 Вт и дроссель на 1500 А для приложений мощностью в мегаватты. В обоих случаях разработчик должен измерить импеданс этих компонентов.

На рисунке 2 показана эквивалентная схема силового двухобмоточного трансформатора. Следует заметить, что все элементы схемы, помеченные красным символом Z, являются нелинейными. Значения проволочных сопротивлений R_p и R_s меняются в широком диапазоне в зависимости от частоты — иногда на два порядка в случае использования многослойных обмоток. Потери в сердечнике определяются сопротивлением R_c (см. рис. 2), которое в большой мере зависит от частоты, уровня возбуждения, температуры и — в случае использования некоторых материалов и приложений — от возраста сердечника.

Индуктивность рассеяния L_l в значительной мере зависит от частоты из-за эффектов близости. Индуктивность намагничивания L_m изменяется в зависимости от уровня возбуждения сердечника, и ее значение может заметно

снижаться при его насыщении. В случае применения трансформаторов без зазора и с высокой магнитной проницаемостью L_m на низких частотах также зависит от уровня возбуждения.

Межвитковые емкости C_p , C_s и емкость между первичной и вторичной обмотками C_{ps} зависят от площади поверхности обмоток и изолирующего зазора. Их величины изменяются в зависимости от частоты, но, как правило, считаются константами.

ИЗМЕРЕНИЕ ИМПЕДАНСОВ

В случае с двухобмоточным трансформатором измеряются три импеданса: импеданс первичной обмотки при разомкнутой вторичной цепи; импеданс первичной обмотки при закороченной вторичной цепи и импеданс между первичной и вторичной обмотками, когда они закорочены. (При наличии повышающего трансформато-

ра выполняются измерения импеданса вторичной обмотки). Все три случая схематично изображены на рисунке 2, а результаты измерения представлены на рисунке 3.

Из результатов измерений можно извлечь информацию о компонентах эквивалентной схемы (см. рис. 2). Она очень важна для сравнения различных трансформаторных схем одного и того же приложения либо для оценки компонентов, предлагаемых различными поставщиками.

На рисунке 4 показаны справочные значения для ВЧ-импедансов трансформатора. Следует заметить, что эти значения измеряются только на частотах, где импедансы имеют емкостной характер. Попытка получить значения емкости на низких частотах, где эти компоненты имеют индуктивный характер, приведет к неправильным результатам.



Рис. 1. В силовой электронике используется широкий ряд магнитных компонентов. Рекомендуется измерять их значения во всем диапазоне частот, чтобы получить ценную информацию для успешной разработки

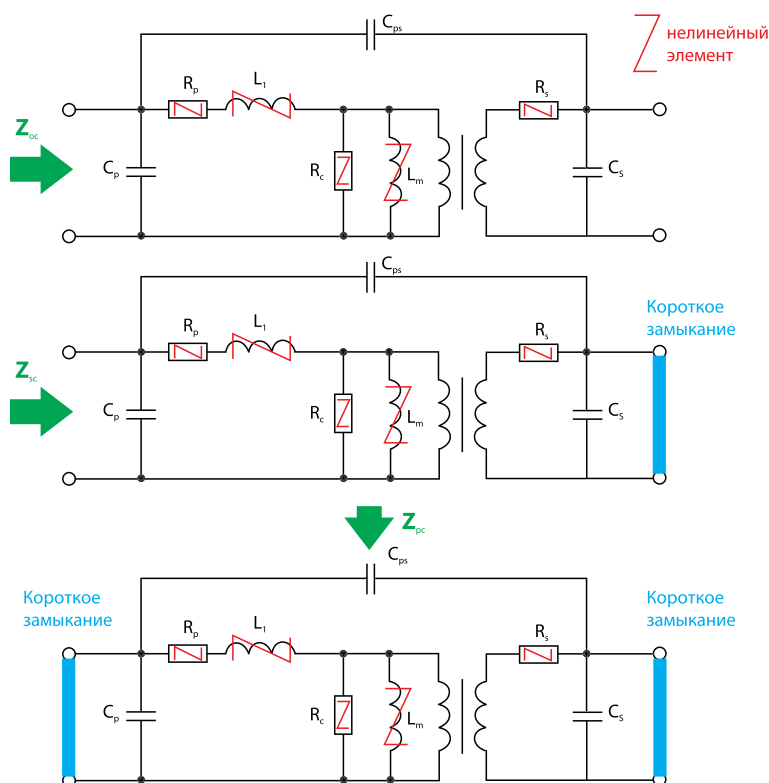


Рис. 2. Приблизительная эквивалентная схема двухобмоточного силового трансформатора. Для этого компонента необходимо измерить три импеданса

Точность измерений должна быть порядка 1 пФ — это нормальное значение для небольших коммутирующих трансформаторов и дросселей. Даже небольшие емкости могут оказать значительное влияние на переключаящие сигналы современных ВЧ-устройств. Следует контролировать емкость между первичной и вторичной обмотками трансформатора, поскольку она существенно влияет на синфазный шум преобразователя. Как правило, это значение емкости выше емкости первичной обмотки и является функцией изоляционного расстояния между обмотками.

РЕЗОНАНСНАЯ ЧАСТОТА И ДРОССЕЛИ

Из рисунка 4, на котором показана кривая импеданса разомкнутой цепи, видно, что резонансная частота трансформатора очень низка — менее 2 МГц для 100-кГц приложения. Резонансное значение совсем не влияет на функционирование системы, — разве что во время включения появляется емкостной ток. Несмотря на то, что абсолютное значение этой резонансной частоты неважно по сравнению с частотой переключения, необходимо, чтобы первая из них оставалась постоянной в разных случаях, чтобы обеспечивалась технологическая совместимость. Необходимо также, чтобы падение резонансного значения импеданса, определяемого индуктивностью рассеяния и выходной емкостью, происходило на большой частоте. В рассматриваемом случае провал на резонансной частоте не наблюдается, т.к. он происходит на частоте выше 30 МГц.

На рисунке 5 представлены справочные значения индуктивности при измерении ВЧ-импеданса. Рекомендуется использовать значения намагничивания и индуктивности рассеяния при частотах, на которых компоненты имеют ярко выраженный индуктивный характер. При измерении короткозамкнутой цепи это явление, как правило, наблюдается на частоте переключения или выше.

Кривая зависимости индуктивности рассеяния трансформатора от частоты показана на рисунке 6. Индуктивность большинства трансформаторов носит частотно-зависимый характер в диапазоне частот переключения, что видно из этого измерения. Необходимо, чтобы индуктивность рассеяния трансформатора была указана при определенной частоте, если требуется компенсировать отклонения от этого значения. Очень часто в документации производителя индуктивность рассеяния определена слишком неточно.

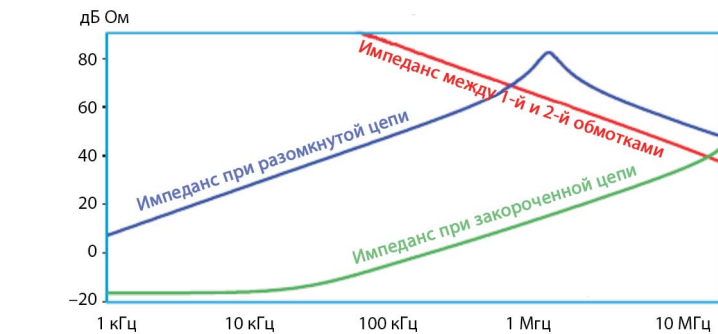


Рис. 3. Типовые результаты измерения импеданса трансформатора

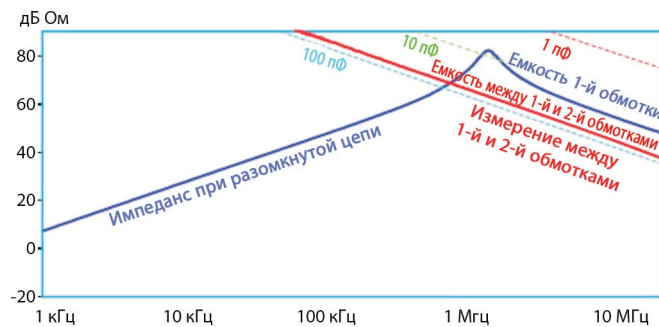


Рис. 4. Справочные значения емкости обмотки

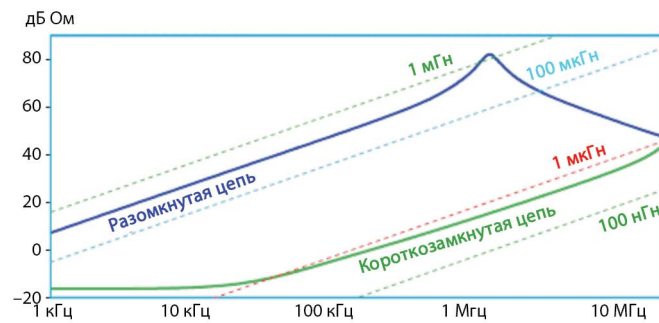


Рис. 5. Справочные значения индуктивности обмотки. Следует заметить, что наклон асимптоты индуктивности рассеяния не достигает 20 дБ на декаду из-за меняющегося значения дросселя

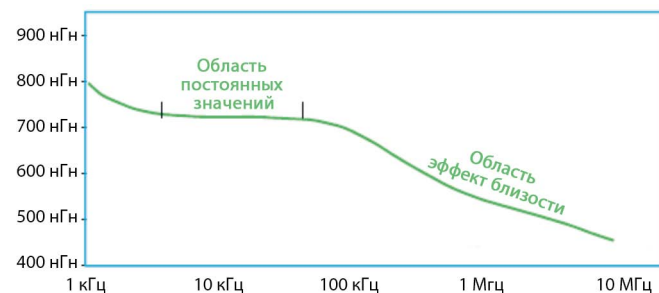


Рис. 6. Зависимость индуктивности рассеяния от частоты

ВЫВОДЫ

Импедансы всех силовых дросселей и трансформаторов должны быть точно указаны во всем диапазоне частот, по крайней мере, вплоть до 10 МГц для типовых частот переключения. Эти данные оказывают огромную помощь в решении проблем, связанных с формой переключаящего сигнала, электромагнитными помехами, расчетом снаберной цепи и харак-

теристиками магнитных элементов. Кроме того, эта информация позволяет выявить ошибки, связанные с неточно указанными параметрами в документации производителей и с качеством изготовления. На какую бы мощность ни были рассчитаны магнитные элементы, важность этих измерений трудно переоценить, поскольку они позволяют сэкономить время и стоимость разработки.