

УДК 621.318

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДРОССЕЛЕЙ И КАТУШЕЧНЫХ СИСТЕМ В ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ

Минлигареев Н.С., студент гр. ЭРб-241, II курс

Научный руководитель: Черникова Т.М., д.т.н., профессор
Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева
г. Кемерово

Дроссели и катушечные системы являются неотъемлемыми элементами современной электротехники, электроэнергетики и электроники. Они находят широкое применение в источниках питания, преобразователях частоты, фильтрах электромагнитных помех, цепях управления электроприводами, а также в устройствах автоматики и телекоммуникаций [1]. Несмотря на единую физическую основу – явление электромагнитной индукции – конструктивное исполнение и функциональное назначение этих устройств существенно различаются. Неправильный выбор типа индуктивного элемента может привести к снижению эффективности работы устройства, увеличению потерь, ухудшению массогабаритных характеристик и даже к выходу оборудования из строя.

Целью данной работы является проведение сравнительного анализа дросселей и катушечных систем для определения критериев выбора оптимального типа устройства в зависимости от условий эксплуатации.

1. Физические принципы работы и основные параметры.

В основе работы, как дросселей, так и катушечных систем лежит закон электромагнитной индукции, согласно которому при протекании электрического тока по проводнику вокруг него возникает магнитное поле. Основной характеристикой этих устройств является индуктивность – способность элемента накапливать энергию магнитного поля. Чем больше индуктивность, тем больше энергии может накопить устройство и тем сильнее оно противодействует изменениям тока в цепи [1].

Индуктивность зависит от трех основных факторов: количества витков провода, геометрических размеров катушки и свойств среды, в которой создается магнитное поле. При увеличении числа витков или использовании специальных материалов, называемых ферромагнетиками, индуктивность возрастает [2].

2. Конструктивные особенности.

Дроссели представляют собой катушки индуктивности с замкнутым или разомкнутым магнитопроводом, выполненным из ферромагнитных материалов. В качестве материалов сердечников применяются электротехническая сталь, которая используется для силовых дросселей промышленной частоты, ферриты, применяемые для высокочастотных дросселей, а также аморфные и

нанокристаллические сплавы, которые используются в устройствах с повышенными требованиями к потерям [2, 3].

По конструктивному исполнению дроссели подразделяются на несколько типов. Броневые дроссели имеют замкнутый магнитопровод и обеспечивают наименьшее магнитное поле рассеяния. Стержневые дроссели обладают разомкнутым магнитопроводом, что создает воздушный зазор и улучшает линейность характеристик. Тороидальные дроссели имеют кольцевой сердечник и характеризуются минимальными потерями и компактностью [3].

Катушечные системы в широком смысле включают конструкции без ферромагнитного сердечника, которые часто называют воздушными катушками, а также специализированные системы, такие как катушки для измерения тока и катушки индуктивности с экранированием. Основной особенностью катушечных систем является высокая линейность – индуктивность таких катушек практически не зависит от величины протекающего тока. Кроме того, в них отсутствуют потери на перемагничивание, характерные для дросселей с сердечниками [4].

3. Анализ потерь и частотных свойств.

Важнейшими характеристиками при выборе индуктивного элемента являются потери энергии и частотный диапазон работы [5].

В дросселях с ферромагнитным сердечником потери энергии возникают в двух основных элементах. Во-первых, это потери в обмотке, обусловленные активным сопротивлением провода – чем длиннее провод, тем выше потери. Во-вторых, это потери в самом сердечнике, которые делятся на два вида: потери на гистерезис, то есть на перемагничивание, и потери на вихревые токи, также называемые токами Фуко. Потери на гистерезис связаны с тем, что при каждом цикле перемагничивания часть энергии рассеивается в виде тепла. Вихревые токи возникают внутри сердечника под действием переменного магнитного поля и также приводят к нагреву. Для снижения этих потерь сердечники набирают из тонких изолированных листов стали или используют ферритовые материалы с высоким удельным сопротивлением [2, 5].

В катушечных системах без сердечника потери в магнитопроводе полностью отсутствуют, так как нет самого сердечника. Основными потерями являются только омические потери в проводе. Это обеспечивает более высокий коэффициент полезного действия, особенно на высоких частотах. Кроме того, благодаря отсутствию нелинейных элементов такие катушки сохраняют линейность в широком диапазоне токов и частот, что критически важно для измерительных устройств и высокочастотной техники [4].

4. Сравнительный анализ характеристик.

Для наглядности основные параметры дросселей и катушечных систем сведены в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительная характеристика дросселей и катушечных систем

Параметр	Дроссель (с магнитопроводом)	Катушечная система (без сердечника)
Индуктивность при малых габаритах	Высокая	Низкая
Линейность характеристики	Низкая (зависит от тока насыщения)	Высокая (во всем рабочем диапазоне)
Потери в сердечнике	Присутствуют (гистерезис, вихревые токи)	Отсутствуют
Добротность на низких частотах	Высокая	Средняя
Добротность на высоких частотах	Ограничена материалом сердечника	Может быть высокой
Магнитное поле рассеяния	Значительное (особенно у стержневых)	Зависит от геометрии
Чувствительность к внешним полям	Средняя	Высокая
Стоимость производства	Выше (материалы сердечника)	Ниже (простая конструкция)
Температурная стабильность	Зависит от материала сердечника	Высокая

5. Области применения и рекомендации по выбору

На основе проведенного анализа можно сформулировать рекомендации по выбору типа индуктивного элемента.

Дроссели с магнитопроводом предпочтительны в тех случаях, когда требуются компактные размеры при высокой индуктивности. Также их выбирают, если рабочие частоты не превышают десятков килогерц для стальных сердечников или единиц мегагерц для ферритовых. Кроме того, дроссели применяются тогда, когда допустима нелинейность характеристики, то есть небольшие изменения индуктивности при изменении тока. Наконец, эти устройства незаменимы при работе в силовых цепях, таких как источники питания, сглаживающие фильтры, преобразователи частоты и сварочное оборудо-

дование [3, 5]. Наиболее типичными примерами являются сглаживающие дроссели в блоках питания, выходные дроссели импульсных преобразователей и дроссели фильтров электромагнитной совместимости.

Катушечные системы без сердечника целесообразно применять в тех случаях, когда критична линейность и отсутствие искажений сигнала – это особенно важно для измерительной техники, высокочастотных фильтров и радиоприемных устройств. Также их выбирают, если рабочие частоты превышают один-десять мегагерц. Еще одно достоинство катушек без сердечника – они нормально работают при высоких значениях постоянного тока. В таких условиях обычные дроссели с магнитопроводом могут войти в насыщение, что ухудшает их характеристики. Кроме того, у воздушных катушек параметры почти не меняются со временем и при нагреве или охлаждении [4]. На практике такие устройства чаще всего встречаются в высокочастотных генераторах, измерительных трансформаторах тока, согласующих антенных устройствах и в кроссоверах акустических колонок.

Иногда используют промежуточный вариант – дроссели с разомкнутым магнитопроводом. Они дают большую индуктивность, чем обычные воздушные катушки, и при этом ведут себя более линейно, чем дроссели с замкнутым сердечником [3].

В заключении, сравнительный анализ показал, что у каждого типа устройств есть свои сильные и слабые стороны. Дроссели с ферромагнитным сердечником позволяют получить большую индуктивность в маленьком корпусе, но хуже работают на высоких частотах и имеют нелинейную характеристику. Катушки без сердечника, наоборот, отличаются линейностью, стабильностью и хорошо подходят для высоких частот, но при этом получаются крупнее, если нужна большая индуктивность. Выбирать тот или иной вариант нужно исходя из конкретной задачи: важны ли габариты, на каких частотах будет работать устройство, насколько критична линейность и допустимы ли потери.

Список литературы:

1. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники/ Л. А. Бессонов. – 12-е изд., перераб. и доп. – Москва : Юрайт, 2023. – 317 с. – Текст : непосредственный.
2. Петров, В. В. Электротехнические материалы/ В. В. Петров. – 4-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2022. – 280 с. – Текст : непосредственный.
3. Алексеев, А. Г. Проектирование силовых дросселей и трансформаторов / А. Г. Алексеев, А. В. Иванов. – Москва : Издательство МЭИ, 2021. – 156 с. – Текст : непосредственный.
4. Розанов, Ю. К. Силовая электроника / Ю. К. Розанов, Е. И. Рябчинский. – 3-е изд., стер. – Москва : Издательский дом МЭИ, 2020. – 368 с. – Текст : непосредственный.

5. Казовский, Е. Я. Переходные процессы в электрических машинах и аппаратах / Е. Я. Казовский. – Москва : Альянс, 2019. – 304 с. – Текст : непосредственный.