

Справка

по русской версии программы

«Design tools pulse
transformers 4.0.0.0»

О программе

Перед Вами русская версия программы «Design tools pulse transformers 4.0.0.0», позволяющая рассчитывать трансформаторы для двухтактных импульсных источников питания. Программа написана по оригинальной методике, созданной автором и являющейся его исключительной собственностью. Методика расчёта является коммерческой.

Автор программы — Москатов Евгений Анатольевич из города Таганрога Ростовской области, Россия.

Web site: <http://www.moskatov.narod.ru/>.

Для вывода формул в основном были использованы литературные источники [8], [29], [69], [133], [136] и [204].

Автору при создании программы помогали Казаков Александр Константинович, Одородько Анатолий Алексеевич, Шевченко Михаил Павлович.

Системные требования

Рекомендуемые требования к оборудованию

Компьютер с процессором семейств Intel® Pentium® / Celeron® или совместимым с ними процессором, тактовая частота которого составляет не менее 200 МГц, или более мощным.

Оперативная память: 32 Мбайт.

Свободное место на диске: 2 Мбайт.

Видеоплата и монитор с разрешением не менее 800 × 600 точек.

Клавиатура, мышь или другое указательное устройство.

Рекомендуемые требования к системному программному обеспечению

Операционная система Microsoft Windows© 98 Second Edition, Microsoft Windows© Millennium, Windows© 2000 Professional, Windows© XP Home Edition, Windows© XP Professional, Windows© 2003 Server, Windows© Vista Starter, Windows© Vista Home Basic, Windows© Vista Home Premium, Windows© Vista Business, Windows© Vista Enterprise, Windows© Vista Ultimate.

Так как программа имеет русскоязычный интерфейс, операционная система должна обеспечивать необходимую языковую поддержку.

Требования к исходным данным

Минимальное постоянное напряжение, питающее преобразователь, В	> 3,5 ... 2000
Максимальное постоянное напряжение, питающее преобразователь, В	> 3,5 ... 2000
Напряжение насыщения транзисторов, В	> 0 ... 10
Эффективная индукция магнитопровода, Тл	> 0 ... 100
Эффективная магнитная проницаемость магнитопровода	> 0 ... 1000000
Удельная мощность полных потерь в магнитопроводе, Вт/кг	> 0 ... 10000
Частота преобразования, кГц	0,4 ... 20000
Скважность импульсов	1 ... 1000
Число жил в проводе первичной обмотки	1 ... 1000
Число жил в проводах вторичных обмоток на 1, 2, 3, 4, 5, 6 и 7 выходах	0 ... 1000
Амплитуды напряжений вторичных обмоток на 1, 2, 3, 4, 5, 6 и 7 выходах, В	0 ... 15000
Амплитуды токов вторичных обмоток на 1, 2, 3, 4, 5, 6 и 7 выходах, А	> 0 ... 5000

Лицензия на русскоязычную версию программы «Design tools pulse transformers 4.0.0.0»

1. Все права, не оговоренные в настоящем лицензионном соглашении, сохраняются за Москатовым Евгением Анатольевичем.
2. Авторские права на «Design tools pulse transformers 4.0.0.0» принадлежат исключительно автору — Москатову Евгению Анатольевичу.
3. Москатов Е. А. предоставляет лицензию на свободное использование данного программного обеспечения (русскоязычная версия «Design tools pulse transformers 4.0.0.0»), однако приветствует оплату. Программа «Design tools pulse transformers 4.0.0.0» распространяется по лицензии donationware (класс freeware), то есть программа распространяется свободно и оплата не обязательна. Но автор не откажется от материального вознаграждения за свой труд. В связи со сложным материальным положением многие пользователи не имеют возможности покупать программное обеспечение легальным путём. Именно поэтому оплата не обязательна, но желательна.
4. «Design tools pulse transformers 4.0.0.0» не имеет заблокированных

функций, то есть данная программа полностью функциональна.

5. «Design tools pulse transformers 4.0.0.0» РАСПРОСТРАНЯЕТСЯ НА УСЛОВИЯХ «AS IS». Москатов Евгений Анатольевич НЕ БЕРЁТ НА СЕБЯ И НЕ ПОДРАЗУМЕВАЕТ КАКИХ-ЛИБО ГАРАНТИЙНЫХ ОБЯЗАТЕЛЬСТВ. ВЫ ИСПОЛЬЗУЕТЕ «Design tools pulse transformers 4.0.0.0» НА СВОЙ РИСК. АВТОР НЕ БЕРЁТ НА СЕБЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ЗА ПОТЕРЮ ДАННЫХ, УЩЕРБ, ПОТЕРЮ ПРИБЫЛИ ИЛИ ЛЮБЫЕ ДРУГИЕ ПОТЕРИ, ПРОИЗОШЕДШИЕ ВО ВРЕМЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИЛИ НЕПРАВИЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ.

6. Вы не можете эмулировать, создавать новые версии, сдавать в наём или аренду, продавать, изменять, декомпилировать, вскрывать технологию, дизассемблировать, изучать код программы другими способами, передавать программу или любые из её составляющих иначе, чем определено настоящим лицензионным соглашением. Любое такое нелегальное использование означает автоматическое и немедленное прекращение действия настоящего соглашения и может преследоваться по закону. Исключение составляет случай, в котором указанные действия явно разрешены законодательством, несмотря на наличие в лицензионном соглашении данного ограничения.

7. Условия настоящего соглашения, равно как и дизайн интерфейса, могут быть изменены в последующих версиях программы Design tools pulse transformers.

8. В настоящей программе «Design tools pulse transformers 4.0.0.0» нет «шпионских» вкладок, всплывающих окон и рекламы.

9. При распространении «Design tools pulse transformers 4.0.0.0» должны соблюдаться следующие условия: (а) дистрибутив должен включать только оригинальный инсталлятор, предоставленный Москатовым Евгением Анатольевичем. Дистрибутив программы лицензируется как единое изделие. Вы не имеете права изменять, удалять или добавлять файлы в оригинальный дистрибутив. Составляющие части программы запрещается изымать из дистрибутива для отдельного использования; (б) вы не имеете права брать плату за программу, за исключением разумной суммы за носитель данных, каналы связи и т.п.

10. Принимая данное лицензионное соглашение, Вы соглашаетесь с тем, что случае судебных разбирательств вне зависимости от решения суда и воли сторон максимальная взимаемая с Москатова Евгения Анатольевича денежная сумма не будет превышать 1 рубль. В случае иска на Москатова Евгения Анатольевича все судебные издержки обеих сторон оплачивает истец.

11. Автор придерживаемся строгих правил по секретности информации о своих пользователях и НЕ собирает персонально-идентифицируемой информации о своих пользователях, за исключением случаев, когда она была добровольно ему сообщена.

12. Если Вы не согласны с условиями настоящего лицензионного соглашения или если условия настоящего соглашения противоречат законам Вашей страны, Вы должны немедленно удалить файлы «Design tools pulse transformers 4.0.0.0» с Ваших устройств хранения информации и прекратить пользоваться данным программным продуктом.

13. Установка и использование «Design tools pulse transformers 4.0.0.0» означает принятие условий настоящего лицензионного соглашения.

Благодарю Вас за использование «Design tools pulse transformers 4.0.0.0»!

Copyright © 2002 — 2008 Москатов Евгений Анатольевич.

Поддержать материально

Как уже указывалось в лицензии, оплата русской версии данной программы «Design tools pulse transformers 4.0.0.0» всё ещё является добровольной. Осуществить материальную поддержку автора, переведя ему 1500 рублей, можно следующим образом. Заходите на форум программы <http://narod.yandex.ru/userforum/?owner=moskatov> и оставляете сообщение об оплате и свой e-mail (для всеобщего просмотра они отображаться не будут). На Ваш e-mail я вышлю реквизиты для перевода. Спасибо за Вашу поддержку!

Терминология обозначений некоторых данных

Под эффективной индукцией магнитопровода подразумевается размах индукции при частном цикле петли гистерезиса в материале магнитопровода, при фиксированном значении мощности, потребляемой трансформатором. Часть этой мощности передается в нагрузку. Эффективную индукцию магнитопровода обычно принимают на уровне не более 50% ... 75% от индукции насыщения. Для преобразователей с не насыщающимся трансформатором эффективная индукция магнитопровода должна быть обязательно меньше, чем индукция насыщения. В противном случае преобразователь выйдет из строя. Если Вы не знаете точно эффективную индукцию или эффективную магнитную проницаемость, то их значения следует предположить минимальной величи-

ны. Если не знаете и минимальную величину, то оставляйте значения из примеров расчёта на близкой частоте.

Эффективная сила переменного тока — это такая сила тока, которая производит одинаковый эффект (тепловой, магнитный) с численно равной силой постоянного тока [169, с. 66].

Полагаем, что номинальное напряжение питания преобразователя находится как раз на половине между минимальным и максимальным напряжениями питания. Если нужно выполнить расчёт при строго фиксированном номинальном напряжении питания, то в поля ввода минимального и максимального постоянных напряжений следует ввести численное значение номинального напряжения.

Треугольная составляющая тока первичной обмотки — это ток холостого хода трансформатора. Чем он меньше, тем лучше.

Если скважность равна единице, то это означает, что в двухтактной последовательности импульсов нет паузы на нуле и через транзисторы течёт сквозной ток. Чем больше пауза на нуле, тем больше скважность.

Программа рассчитывает общее число витков первичной обмотки трансформатора со средней точкой. Если в результате расчёта получилось 16 витков, то это следует понимать как 8 + 8 витков с отводом от середины обмотки.

Замечания и разъяснения

1. По мнению автора, специализированная программа «Design tools pulse transformers 4.0.0.0» рассчитывает импульсные трансформаторы во много раз точнее, чем универсальные симуляторы, например, базирующиеся на SPICE. Дело в том, что в этом расчёте основную роль играет геометрия, параметры и характеристики магнитопровода — для тороидального магнитопровода одно число витков, для горшкообразного — другое, для одной индукции одно, а для другой — другое. Не учитываются в универсальных симуляторах потери на эффект близости и скин-эффект — для универсальных симуляторов всё равно, какова глубина проникновения тока в толщу проводника, каковы потери на гистерезис в магнитопровode, каковы потери на токи Фуко в проводах обмоток, каков шаг намотки, из скольких жил состоит провод, число слоёв обмотки, толщина изоляции и прочее. А ведь от этого зависит ряд важнейших параметров и характеристик трансформатора — например, его КПД. Ошибка на высоких частотах может быть от единиц до сотен раз. Вот поэтому инженерам, конструирующим импульсные источники

питания, просто необходима программа, учитывающая все эти тонкости.

2. Основные результаты расчётов, отображаемые на форме, нужны только для того, чтобы быстро оценить полученный результат. Все результаты расчётов можно узнать из файла, полученного в результате сохранения данных.

При расчёте задаёмся предположением, что провод обмоток медный круглого сечения и его температура составляет 100 °С.

При расчёте полагаем, что плотность материала магнитопровода составляет 4,5 г/см³, что соответствует плотности феррита [133, с. 133].

Программа не производит тепловой расчёт трансформатора в связи с отсутствием информации об условиях охлаждения (естественная конвекция или принудительная), веществе окружающей среды и температуре окружающей среды.

В программе задаёмся тем, что первичная обмотка наматывается первой. На неё наматывается первая вторичная обмотка. А на неё наматывается вторая вторичная обмотка. И так до последней седьмой вторичной обмотки.


В программе заданы толщины изоляций: межслоевой — 0,2 мм; межобмоточной — 0,3 мм. Это соответствует рекомендуемой толщине изоляции от 0,1 мм до 0,36 мм согласно книге [133, с. 128]. Толщина материала гильзы с обмотками, надеваемой на керн — 1 мм.

3. Расчёт диаметров проводников в обмотках ведётся через действующую плотность тока. Плотность тока однозначно связана с величиной потерь на скин-эффект, коэффициентом близости, частотой, температурой нагрева проводника, коэффициентом теплопроводности материала, эффективным током через обмотку (то есть с учётом скважности), удельной проводимостью материала проводника, числом проводников в жиле (для литцендрата), конфигурацией и размерами сечения проводника, теплоотдачей в окружающую среду (естественная или принудительная конвекция, вещество среды, в которой находится проводник). Именно плотность тока определяет нагрев провода, а не наоборот. Расчёт ведётся исходя из условия, что плотности токов во всех обмотках трансформатора одинаковы.

4. На принципиальных схемах для упрощения показана одна вторичная обмотка у рассчитываемого трансформатора, но в расчёте их может быть от одной до семи. Если, например, трансформатор должен иметь две вторичные обмотки, то в поля ввода исходных данных первой и вто-

Справка по программе «Design tools pulse transformers 4.0.0.0»

рой вторичных обмоток вписываем число жил, токов и напряжений для этих двух обмоток, а во всех оставшихся полях ввода оставляем нули.

5. В основном окне программы расположены поля ввода числовых значений. Расчёт импульсного трансформатора осуществляется после нажатия на кнопку «Расчитать!»  или после нажатия на клавиатуре клавиши F9. После заполнения всех полей ввода при нажатии на кнопку расчёта в нижней части окна появятся результаты вычислений или будет выдано сообщение о невозможности реализации трансформатора. Вызвать файл справки можно, нажав на клавиатуре клавишу F1. Внешний вид работающей программы показан на рис. 1.

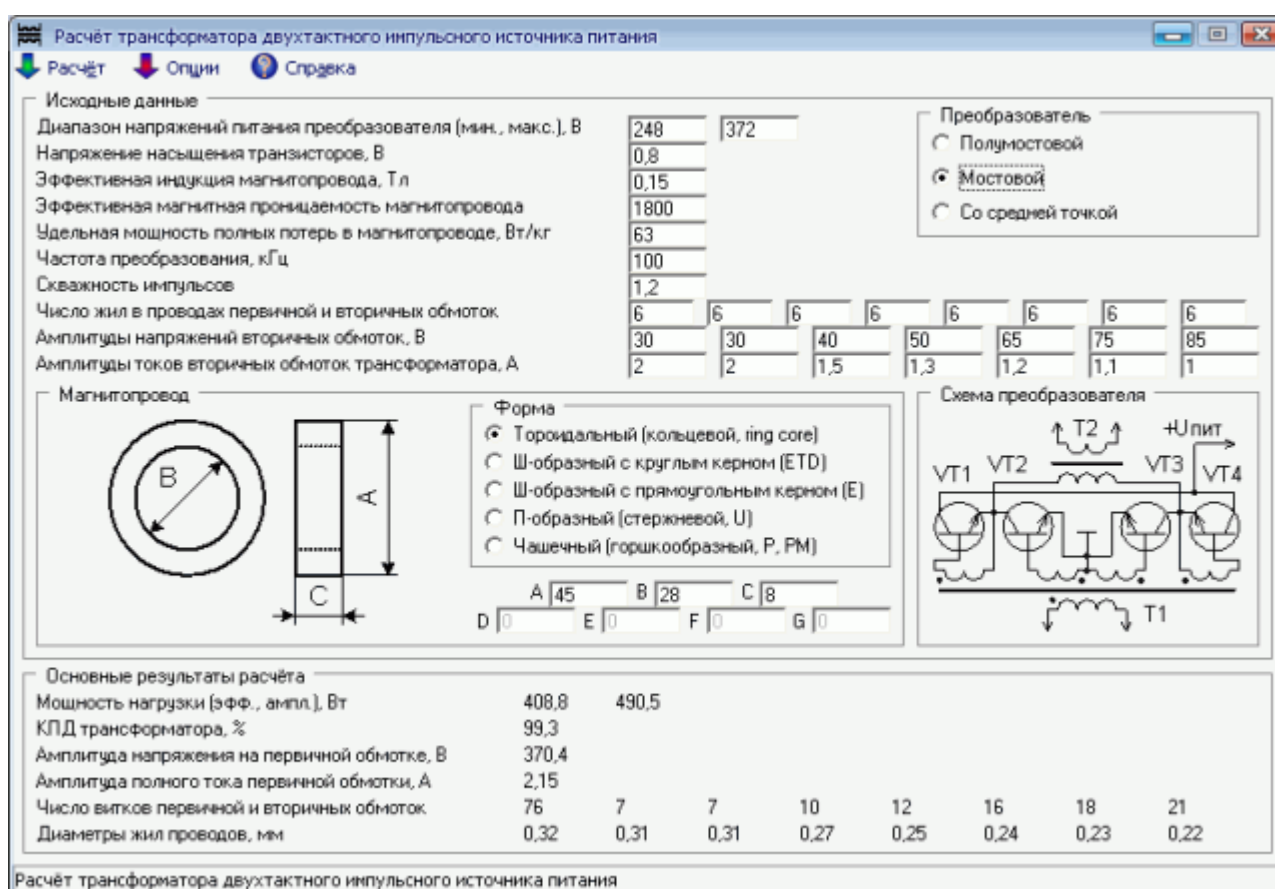





Рис. 1. Скриншот основного окна программы.

Программа позволяет сохранять в текстовый файл исходные данные и результаты расчётов. Для того, чтобы вызвать диалог сохранения, необходимо после осуществления расчёта нажать на кнопку «Сохранить как...»  или на клавиатуре нажать Ctrl + S.

6. При нажатии на одну из кнопок меню «Примеры»  в поля ввода будут записаны типичные значения исходных данных. При нажатии на кнопку «Очистка данных»  исходные данные и результаты расчёта

будут стёрты, а программа переведена в исходное состояние.

7. В поля ввода исходных данных записываются целые и дробные числа. Вводить значение чисел текстом (например, «тысяча») не допускается — в противном случае программа выведет окно, в котором сообщит об ошибке ввода. Сообщение об ошибке не будет выведено при попытке ввести значение со знаком «+» перед цифрами. При вводе знак «плюс» подразумевается, его писать не нужно. При расчёте отрицательные числа не используются, их вводить не следует.

Операционные системы Windows с русской локализацией по умолчанию используют для отделения дробной части числа от целой разделительную запятую. Однако операционную систему можно настроить так, что разделительной будет точка. Международные (англоязычные) версии Windows по умолчанию используют разделительную точку. Если операционная система использует разделительную запятую, то и в программе «Design tools pulse transformers 4.0.0.0» следует пользоваться запятой, а если система использует точку — то точкой. Исходя из вышесказанного, при вводе чисел следует учитывать настройки Вашей операционной системы.

Определить тип разделительного знака можно, введя дробное число в стандартную программу «Калькулятор».

8. Программа «Design tools pulse transformers 4.0.0.0» использует 10 динамических библиотек производства корпорации Майкрософт:

- advapi32.dll (613 Кбайт) — расширенная библиотека API Windows 32;
- comctl32.dll (544 Кбайт) — common controls library;
- comdlg32.dll (272 Кбайт) — библиотека общих диалоговых окон;
- gdi32.dll (244 Кбайт) — GDI client DLL;
- kernel32.dll (914 Кбайт) — библиотека клиента Windows NT BASE API;
- ole32.dll (1,22 Мбайт) — Microsoft OLE для Windows;
- oleaut32.dll (556 Кбайт) — Microsoft OLE 3.50 for Windows NT^(TM) and Windows 95^(TM) Operating Systems;
- shell32.dll (7,96 Мбайт) — общая библиотека оболочки Windows;
- user32.dll (547 Кбайт) — библиотека клиента USER API Windows XP;
- version.dll (16 Кбайт) — version checking and file installation libraries.

Размер библиотек указан для системы Windows XP Home Edition.

Общий размер библиотек 12,82 Мбайт. Все эти библиотеки являются системными и присутствуют в Вашей операционной системе сразу после типовой инсталляции последней. Если какой-либо из библиотек в системе нет — значит, с операционной системой не всё в порядке.

Рекомендации по намотке импульсных трансформаторов

На высокой частоте старайтесь использовать провод с как можно более тонкими жилами. Это может позволить снизить потери на скин-эффект и вихревые токи.

Межобмоточную и межслоевую изоляции старайтесь использовать как можно меньшей толщины, однако такой, чтобы обеспечить запас по электрической прочности.

Витки нужно размещать равномерно на предназначенной для этого части магнитопровода, на одинаковом расстоянии друг от друга, для предотвращения локального намагничивания магнитопровода. Если нужно намотать обмотку с двумя и более слоями, то витки в первом, самом близком к керну магнитопровода, слое наматывают виток к витку, а в последнем — сколько останется. Это позволяет несколько снизить коэффициент близости (R_{AC}/R_{DC}) и, как следствие, нагрев обмотки.

Литцендрат выполняют специальным переплетением изолированных жилок таким образом, что невозможно установить, какая жила находится ближе к поверхности, а какая ближе к середине провода по всей его длине. Ввиду этого импеданс каждой жилки в проводе усреднён, а токи через каждую жилу равны друг другу. Значит, скин-эффект минимален. Использование «косички» из скрученных вместе изолированных проводников не заменяет литцендрат. Дело в том, что в «косичке» на высокой частоте импеданс жил различен, ввиду того, что часть жил располагается ближе к поверхности, а часть — ближе к центру провода. В результате ток течёт только по тем жилам, которые находятся ближе к поверхности, а по внутренним жилам ток не течёт.

Литцендрат обладает наибольшей эффективностью примерно до частоты 500 кГц, а на более высоких частотах его эффективность снижается в связи с повышением ёмкости между жилами [110, с. 207]. Поэтому использование литцендрата не является универсальным средством для снижения потерь в обмотке на высокой частоте.

В случае использования экранов между обмотками их необходимо выполнять как можно более тонкими.

При использовании магнитопровода закрытого типа, например, горшкообразного, закрывающего концы обмоток, дивергенция поля снижается, и соответствующие потери уменьшаются. Но возрастают потери на гистерезис в связи с увеличением объёма материала магнитопровода.

В случае использования разборных магнитопроводов, состоящих из двух частей (Ш-образный с круглым керном, Ш-образный с прямоугольным керном, П-образный, чашечный) половинки магнитопровода должны быть тщательно притёрты друг к другу. Зазор в магнитопроводах недопустим. Если между половинками магнитопровода есть хоть маленький зазор, то необходимо либо его сточить, либо применить другой, более подходящий магнитопровод.

Обязательно первой на магнитопровод наматывают первичную обмотку, затем поверх неё размещают остальные обмотки. Желательно, чтобы вторичные обмотки, по которым будет течь самый большой ток, были расположены как можно ближе к первичной обмотке и магнитопроводу. Все обмотки укладывают равномерно по периметру магнитопровода в целое число слоёв. Обмотки со средней точкой выполняются двумя сложенными вместе проводами [69, с. 115].

Приложение 1. Справочные данные некоторых никель-цинковых ферритов

Таблица 1. Справочные данные никель-цинковых ферритов [101, с. 8, 9].

Параметр	Марка феррита				
	2000НН	1000НН	600НН	400НН	200НН
Начальная магнитная проницаемость $\mu_{нач}$	2000 +400 -200	1000	600 +200 -100	400 +100 -50	200 +50 -70
Относительный температурный коэффициент начальной магнитной проницаемости в интервале температур от 20 до 70 °С · 10 ⁻⁶ град ⁻¹	3 ... 9	5 ... 15	6 ... 15	5 ... 15	4 ... 10
Граничная частота при $\text{tg } \delta \leq 0,1$, МГц	0,02	0,4	1,2	2,0	3,0
Граничная частота при $\text{tg } \delta \leq 0,02$, МГц	—	—	0,2	0,7	1,0

Справка по программе «Design tools pulse transformers 4.0.0.0»

Параметр	Марка феррита				
	2000НН	1000НН	600НН	400НН	200НН
Магнитная индукция В при Нм = 800 А / м, Тл	0,25	0,32	0,31	0,23	0,17
Максимальная магнитная проницаемость $\mu_{\text{макс}}$	7000	3000	1600	800	300
Напряжённость магнитного поля Н при $\mu_{\text{макс}}$, А / м	12	32	56	80,0	160
Остаточная магнитная индукция В _r (не более), Тл	0,12	0,15	0,14	0,12	0,1
Точка Кюри (не ниже), °С	70	110	110	100	100

Приложение 2. Справочные данные некоторых марганец-цинковых ферритов

Таблица 2. Справочные данные марганец-цинковых ферритов [101, с. 10, 11].

Параметр	Марка феррита					
	6000НМ	4000НМ	3000НМ	2000НМ	1500НМ	1000НМ
Начальная магнитная проницаемость $\mu_{\text{нач}}$	6000	4000 +800 -500	3000 ± 500	2000 +500 -300	1500 +200 -300	1000 ± 200
Относительный температурный коэффициент начальной магнитной проницаемости в интервале температур от 20 до 70 °С · 10 ⁻⁶ град ⁻¹	0,2 ... 1,5	0,5 ... 1,5	1,0 ... 2,0	От -2 до +4,5	От -1,1 до +7,0	От -0,5 до +8,5
Граничная частота при $\text{tg } \delta \leq 0,1$, МГц	0,005	0,1	0,2	0,45	0,6	1,0

Справка по программе «Design tools pulse transformers 4.0.0.0»

Параметр	Марка феррита					
	6000НМ	4000НМ	3000НМ	2000НМ	1500НМ	1000НМ
Граничная частота при $\text{tg } \delta \leq 0,02$, МГц	—	0,005	0,015	0,08	0,15	0,5
Магнитная индукция В при $H_m = 800$ А / м, Тл	0,35	0,36	0,38	0,39	0,35	0,35
Максимальная магнитная проницаемость $\mu_{\text{макс}}$	10000	7000	3500	3500	—	1800
Напряжённость магнитного поля Н при $\mu_{\text{макс}}$, А / м	12	16	20	20	—	40
Остаточная магнитная индукция B_r (не более), Тл	0,11	0,13	0,15	0,14	—	0,11
Точка Кюри (не ниже), °С	110	140	140	200	200	200

Таблица 3. Справочные данные ферритов марок 2500НМС1 и 2500НМС2, предназначенных для сильных магнитных полей [147, с. 33].

Параметр	Марка феррита	
	2500НМС1	2500НМС2
Начальная магнитная проницаемость при индукции 0,2 Тл и частоте 16 кГц	4500 (при 20 °С) 4100 (при 120 °С)	4500 (при 20 °С) 4100 (при 120 °С)
Критическая частота, МГц	0,4	0,4
Магнитная индукция при $H = 240$ А / м, Тл	0,29	0,33
Индукция насыщения, Тл	0,45	0,47
Точка Кюри (не ниже), °С	200	200
Коэрцитивная сила, А / м	16	16

Приложение 3. Удельные потери и коэффициенты удельных потерь различных материалов

Таблица 4. Ориентировочные значения удельных потерь в магнитомягких материалах при нормированных значениях магнитной индукции и частоты и значения эмпирических коэффициентов α и β для прямоугольной формы напряжения.

Марка материала	Частота, кГц	Индукция, Тл	Толщина ленты, мм	Удельные потери, Вт / кг	α	β	Литература
34НКМП	1	1	0,1	8,8	1,65	1,65	[2, с. 55], [17, с. 29]
	1	1	0,05	6,3	1,40	1,65	[2, с. 55], [17, с. 29], [65, с. 33]
40НКМП	1	1	0,1	16	1,40	1,25	[2, с. 55], [17, с. 29]
	1	1	0,05	8,2	1,40	1,40	[2, с. 55], [17, с. 29]
50НП	1	1	0,05	14,7	1,30	1,30	[2, с. 55], [17, с. 29], [65, с. 33]
	1	1	0,02	7,1	1,30	1,35	[2, с. 55], [17, с. 29]
68НМП	1	1	0,05	7,1	1,55	1,55	[2, с. 55], [17, с. 29]
79НМ	1	1	0,1	5,0	1,80	2,00	[2, с. 55], [17, с. 29]
	1	1	0,05	4,2	1,60	2,00	[2, с. 55], [17, с. 29], [65, с. 33]
	1	1	0,02	3,5	1,40	2,00	[2, с. 55], [17, с. 29]
80НХС	1	0,5	0,1	1,25	1,7	2,0	[69, с. 77]
	1	0,5	0,05	1,0	1,5	2,0	[69, с. 77]
1500НМЗ	40	0,12	—	18,28	1,2	2,2	[133, с. 118], [133, с. 132]

Справка по программе «Design tools pulse transformers 4.0.0.0»

Марка материала	Частота, кГц	Индукция, Тл	Толщина ленты, мм	Удельные потери, Вт / кг	α	β	Литература
1500HM3	40	0,15	—	29,80	1,2	2,2	[133, с. 118], [133, с. 132]
1500HM3	40	0,18	—	44,60	1,2	2,2	[133, с. 118], [133, с. 132]
1500HM3	40	0,20	—	56,20	1,2	2,2	[133, с. 118], [133, с. 132]
1500HM3	1	1	—	23,2	1,2	2,2	[147, с. 54]
2000HM1	20	0,2	—	21	1,25	2,6	[69, с. 77]
2000HM-A	1	1	—	35,5	1,2	2,4	[147, с. 54]
2000HM1-17	1 ... 30	0,05 ... 0,2	—	68,0	1,2	2,8	[136, с. 36]
2000HM1-17	0,4 ... 100	0,37	—	63	1,2	2,85	[65, с. 33]
2000HM1-17	40	0,12	—	15,02	1,2	2,8	[133, с. 132]
2000HM1-17	40	0,15	—	28,05	1,2	2,8	[133, с. 132]
2000HM1-17	40	0,18	—	47,70	1,2	2,8	[133, с. 132]
2000HM1-17	40	0,20	—	62,00	1,2	2,8	[133, с. 132]
2000HM3	20	0,2	—	23	1,1	2,4	[69, с. 77]
2000HM3	1	1	—	44,6	1,3	2,7	[147, с. 54]
2000HM3	40	0,12	—	17,61	1,3	2,7	[133, с. 118], [133, с. 132]
2000HM3	40	0,15	—	32,10	1,3	2,7	[133, с. 118], [133, с. 132]
2000HM3	40	0,18	—	52,60	1,3	2,7	[133, с. 118], [133, с. 132]
2000HM3	40	0,20	—	69,95	1,3	2,7	[133, с. 118], [133, с. 132]
2500HMC1	20	0,2	—	24	1,05	1,45	[69, с. 77]
2500HMC1	40	0,12	—	22,70	1,4	1,9	[133, с. 118], [133, с. 132]
2500HMC1	40	0,15	—	34,70	1,4	1,9	[133, с. 118], [133, с. 132]
2500HMC1	40	0,18	—	49,10	1,4	1,9	[133, с. 118], [133, с. 132]

Справка по программе «Design tools pulse transformers 4.0.0.0»

Марка материала	Частота, кГц	Индукция, Тл	Толщина ленты, мм	Удельные потери, Вт / кг	α	β	Литература
2500НМС1	40	0,20	—	60,00	1,4	1,9	[133, с. 118], [133, с. 132]
2500НМС2	40	0,12	—	26,20	1,2	1,7	[133, с. 118], [133, с. 132]
2500НМС2	40	0,15	—	38,20	1,2	1,7	[133, с. 118], [133, с. 132]
2500НМС2	40	0,18	—	52,10	1,2	1,7	[133, с. 118], [133, с. 132]
2500НМС2	40	0,20	—	62,30	1,2	1,7	[133, с. 118], [133, с. 132]
3000НМ-А	1	1	—	52,0	1,2	2,8	[147, с. 54]
ГМ412А	20	0,2	—	10	—	—	[159, с. 88]
ГМ412В	20	0,2	—	3	—	—	[159, с. 88]
ГМ414	20	0,2	—	4,5	—	—	[159, с. 88]
ГМ440А	20	0,2	—	30	—	—	[159, с. 88]
ГМ440В	20	0,2	—	8	—	—	[159, с. 88]
ГМ501	20	0,2	—	3,6	—	—	[159, с. 88]
ГМ503А	20	0,2	—	8,5	—	—	[159, с. 88]
ГМ503В	20	0,2	—	2,6	—	—	[159, с. 88]
ГМ515А	20	0,2	—	60	—	—	[159, с. 88]
ГМ515В	20	0,2	—	12	—	—	[159, с. 88]
МП-60	1 ... 30	0,05 ... 0,2	—	1140	1,1	2,9	[136, с. 36]
МП-140	1 ... 30	0,05 ... 0,2	—	453	1,3	2,9	[136, с. 36]
ТЧ-60	1 ... 30	0,05 ... 0,2	—	7090	1,0	3,0	[136, с. 36]
Э-350	1	1	0,08	22	1,4	1,8	[2, с. 55], [17, с. 29]
ЭП-61	1	1	0,05	5,5	1,47	2,00	[17, с. 29]

Литература

(в данных книгах и статьях есть сведения по трансформаторам: конструкциям, измерениям их параметров, математическим моделям, методикам расчёта и т.п.)

1. Антик И. В. О выборе условно положительных направлений напряжений и токов при анализе работы трансформаторов. «Электричество», 1985, №11, с. 59 — 60.
2. Апаров А. Б. и др. Транзисторные преобразователи для низковольтных источников энергии. / Апаров А. Б., Еременко В. Г., Негневицкий И. Б. — М.: Энергия, 1978. — 96 с., ил.
3. Артамонов В. В. Маломощные выпрямители. (Основы теории и расчёт). — М.: Связь, 1970. — 240 с., ил.
4. Бабис Р. С. Циркулирующие токи в многоходовых винтовых обмотках трансформаторов. «Электричество», 1972, №2, с. 56 — 63.
5. Бабис Р. С., Лейтес Л. В. Расчёт сопротивлений короткого замыкания пары ходов многоходовой винтовой обмотки трансформатора. «Электротехническая промышленность». Аппараты высокого напряжения, трансформаторы, силовые конденсаторы. 1971, вып. 10, с. 21 — 25.
6. Балбашова Н. Б. Миниатюрные импульсные трансформаторы на ферритовых сердечниках. — М.: Энергия, 1976. — 120 с., ил.
7. Бальян Р. Х., Обрусник В. П. Оптимальное проектирование силовых высокочастотных ферромагнитных устройств. — Томск: Изд-во Томского университета, 1987. — 168 с., ил.
8. Бальян Р. Х. Трансформаторы для радиоэлектроники. — М.: Изд-во «Советское радио», 1971. — 720 с., ил.
9. Бамдас А. М., Савиновский Ю. А. Дроссели переменного тока радиоэлектронной аппаратуры (катушки со сталью). — М.: Советское радио, 1969. — 248 с., ил.
10. Барзилович В. М. Высоковольтные трансформаторы тока. — М., — Л.: ГЭИ, 1962. — 248 с., ил.
11. Бачурин Н. И. Трансформаторы тока. — М., — Л.: Энергия, 1964. — 376 с., ил.
12. Белицкая М. С., Лиманов Е. А. Трансформаторы постоянного тока и напряжения. — М., — Л.: Энергия, 1964. — 236 с., ил.
13. Белопольский И. И., Гейман Г. В., Краус Л. А., Лапиров-Скобло М. М., Тихонов В. И. Проектирование источников электропитания радиоаппаратуры. — М.: Энергия, 1967. — 304 с., ил.
14. Белопольский И. И., Каретникова Е. И., Пикалова Л. Г. Расчёт

- трансформаторов и дросселей малой мощности. — М.: Энергия, 1973. — 400 с., ил.
15. Белопольский И. И., Пикалова Л. Г. Расчёт трансформаторов и дросселей малой мощности. — М., — Л.: Госэнергоиздат, 1963. — 272 с., ил.
 16. Бенедиктов Г. Л., Гой А. И. К расчёту импульсного трансформатора для работы в режиме малой скважности. «Вопросы радиоэлектроники», сер. 12, 1964, вып. 29.
 17. Бертинов А. И., Кофман Д. Б. Тороидальные трансформаторы статических преобразователей. — М.: Энергия, 1970. — 96 с., ил.
 18. Браун М. Источники питания. Расчёт и конструирование.: Пер. с англ. — К.: «МК-Пресс», 2005. — 288 с., ил. (Brown Marty. Power supply cookbook. Second edition. — Elsevier science, 2001).
 19. Булгаков Н. И. Расчёт трансформаторов. Госэнергоиздат, 1950.
 20. Буль Б. К. Основы теории и расчёта магнитных цепей. — М., — Л.: Энергия, 1964. — 464 с., ил.
 21. Бунин А. Г., Виногреев М. Ю. Об одном методе расчёта индуктивностей круговых колец прямоугольного сечения. «Электричество», 1985, №4, с. 52 — 55.
 22. Бунин А. Г., Виногреев М. Ю. Расчёт распределения токов в трансформаторах с многопараллельными винтовыми обмотками в установившихся режимах. «Электромеханика», Изв. вузов. 1985, №4, с. 77 — 85.
 23. Бунин А. Г., Виногреев М. Ю., Конторович Л. Н. Расчёт распределения токов и напряжений в обмотках трансформаторов. «Электротехника», 1977, №4, с. 8 — 11.
 24. Бунин А. Г., Конторович Л. Н. Расчёт импульсных напряжений в обмотках трансформаторов с учётом влияния магнитопровода. «Электричество», 1975, №7, с. 50 — 54.
 25. Вавин В. Н. Трансформаторы напряжения и их вторичные цепи. — М.: Энергия, 1967. — 102 с., ил.
 26. Васильев Д. В. Расчёт трансформаторов. Ленинградская военно-электротехническая академия РККА им. С. М. Будённого, 1933.
 27. Васильев Д. В. О потерях в железе для трансформаторов и других электромагнитных механизмов. «Электричество», 1935, №15.
 28. Васильева И. К. и др. Расчёт потерь в стали при несинусоидальной форме кривой напряжения питания. «Электротехника», 1970, №11.
 29. Васютинский С. Б. Вопросы теории и расчёта трансформаторов. — Л.: Энергия, 1970. — 432 с., ил.
 30. Васютинский С. Б., Нагаенко Г. П. Определение сопротивлений

- индуктивно связанных однослойных обмоток, работающих в широком диапазоне частот. «Электричество», 1965, №12, с. 49 — 52.
31. Васютинский С. Б., Пиотровский Л. М. Учебное пособие по расчёту трансформаторов. Издательство Ленинградского политехнического института, 1955.
 32. Векслер Г. С. Расчёт электропитающих устройств. — Киев: Техника, 1978. — 208 с., ил.
 33. Вересов Г. П. Электропитание бытовой радиоэлектронной аппаратуры. — М.: Радио и связь, 1983. — 128 с., ил.
 34. Вдовин С. С. Проектирование импульсных трансформаторов. — 2-е изд., перераб. и доп. — Л.: Энергоатомиздат. Ленинградское отделение, 1991. — 208 с., ил.
 35. Видмар М. Трансформаторы. — М., — Л.: ГНТИ, 1931. — 592 с., ил.
 36. Вонсовский С. В., Шур Я. С. Ферромагнетизм. — М.; — Л.: ГИИТЛ, 1948. — 816 с., ил.
 37. Вонсовский С. В. Магнетизм. — М.: Наука, 1971. — 1031 с., ил.
 38. Гельперин Б. Б. Добавочные потери в обмотках трансформаторов от несовершенства транспозиций. «Вестник электропромышленности», 1936, №6, с. 22 — 25.
 39. Гельперин Б. Б. Добавочные потери в обмотках трансформаторов от несовершенства транспозиций. «Вестник электропромышленности», 1954, №5, с. 14 — 17.
 40. Гельперин Б. Б. О наиболее выгодных размерах меди обмоток трансформатора для получения минимального окна. «Электричество», 1935, №15.
 41. Гоголицын Л. З. Влияние скорости нарастания фронта входного импульса в импульсных трансформаторах. «Радиотехника», 1959, № 11.
 42. Гоголицын Л. З. Высоковольтный импульсный трансформатор с кольцевым сердечником. — Изв. вузов. «Радиоэлектроника», 1973, №3.
 43. Гольдфайн И. А. Векторный анализ и теория поля. — М.: Наука, 1968. — 128 с.
 44. Григорова Г. С., Суханов В. М., Шафир Ю. Н. Оптимальное расположение транспозиций для многопараллельных обмоток мощных трансформаторов. Электромашиностроение и электрооборудование. — Киев: Техника, 1973, с. 121 — 126.
 45. Грязнов Н. М. Трансформаторы и дроссели в импульсных устройствах. — М.: Радио и связь, 1986. — 112 с., ил.
 46. Дачев А. Потери от циркулирующих токов в обмотках трансформа-

- торов с транспозицией де-Бюда при произвольном числе параллельных ветвей. «Электричество», 1975, №5, с. 78 — 82.
47. Дачев А. П. Способ перестановки одноходовых однослойных обмоток сверхмощных трансформаторов. «Электротехника», 1968, №7, с. 23 — 26.
 48. Дачев А. П. Циркулирующие токи в обмотках трансформаторов с аксиально расположенными параллельными ветвями. Доклад на научно-технической конференции СЭВ. — М.: Электро—72, 1972.
 49. Дель Г. В., Кутявин И. Д. Об определении основных размеров трансформаторов. «Известия вузов», «Электромеханика», 1963, №5.
 50. Дискин С. И., Харинский А. Л. Силовые маломощные трансформаторы с обмотками из алюминиевой фольги. «Электропромышленность и приборостроение», 1960, №19.
 51. Дмоховская Н. И. Расчёт импульсного трансформатора для импульсов произвольной формы. — Изв. ЛЭТИ, 1964, вып. 52.
 52. Дружинин В. В. Магнитные свойства электротехнической стали. — М.: Энергия, 1974.
 53. Дружинин В. В., Бурдакова Ю. П. О соотношении потерь на гистерезис и вихревые токи в электротехнической стали. «Электричество», 1956, №8.
 54. Дружинин В. В., Куренных Л. К. О сравнении кривых намагничивания электротехнической стали, снятых в постоянном и переменном полях. «Электричество», 1962, №4.
 55. Дульнев Г. Н. Тепло- и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре. — М.: Высшая школа, 1984. — 247 с., ил.
 56. Дымков А. М. Трансформаторы напряжения. — М., — Л.: ГЭИ, 1963. — 192 с., ил.
 57. Дымков А. М., Кибель В. М., Тишенин Ю. В. Трансформаторы напряжения. — М.: Энергия, 1975. — 200 с., ил.
 58. Ермолин Н. П. Как рассчитать маломощный силовой трансформатор. Госэнергоиздат, 1961.
 59. Ермолин Н. П., Ваганов А. П. Расчёт маломощных трансформаторов. — М., — Л.: Госэнергоиздат, 1957. — 144 с., ил.
 60. Ермолин Н. П. Расчёт трансформаторов малой мощности. — Л.: Энергия, 1969.
 61. Ермолин Н. П., Швец Г. Г. Расчёт силовых трансформаторов. — Л.: Ленинградский электротехнический институт им. В. И. Ульянова (Ленина), 1964. — 250 с., ил.
 62. Жучков В. Расчёт трансформатора импульсного блока питания. «Радио», №11, 1987, с. 43.

63. Задерей Г. П., Заика П. Н. Многофункциональные трансформаторы в средствах вторичного электропитания. — М.: Радио и связь, 1989. — 176 с., ил.
64. Золотухин И. В. Физические свойства аморфных металлических материалов. — М.: Металлургия, 1986. — 176 с., ил.
65. Иванов-Цыганов А. И., Хандогин В. И. Источники вторичного электропитания приборов СВЧ. — М.: Радио и связь, 1989. — 144 с., ил.
66. Ионов И. П. Магнитные элементы дискретного действия. — М.: Высшая школа, 1968. — 280 с., ил.
67. Исаев Э. А. Полупроводниковые преобразователи напряжения. — М.: Воениздат, 1962. — 112 с., ил.
68. Источники электропитания на полупроводниковых приборах. Проектирование и расчёт. Под ред. Додика С. Д. и Гальперина Е. И. — М.: Советское радио, 1969. — 448 с., ил.
69. Источники электропитания радиоэлектронной аппаратуры: Справочник / Г. С. Найвельт, К. Б. Мазель, Ч. И. Хусаинов и др.; под ред. Г. С. Найвельта. — М.: Радио и связь, 1986. — 576 с., ил.
70. Иццоки Я. С. Импульсная техника. — М.: Советское радио, 1949. — 296 с., ил.
71. Иццоки Я. С. Импульсные трансформаторы. — М.: Советское радио, 1950. — 745 с., ил.
72. Иццоки Я. С. Импульсные устройства. — М.: Советское радио, 1959. — 728 с., ил.
73. Иццоки Я. С. Минимальный объём импульсного трансформатора. «Радиотехника», 1957, №10.
74. Калантаров П. Л., Цейтлин Л. А. Расчёт индуктивностей. Справочная книга. — Л.: Энергоатомиздат, 1986.
75. Каменноостский Я. А. Анализ выражения потерь и магнитной проницаемости от индукции и частоты. «Заводская лаборатория», 1963, №3.
76. Каменноостский Я. А. Влияние частоты на основные электромагнитные параметры трансформаторов. «Электротехника», 1964, №3.
77. Каретникова Е. И., Рычина Т. А., Ермаков А. И. Трансформаторы питания и дроссели фильтров для радиоэлектронной аппаратуры. — М.: Советское радио, 1973. — 171 с., ил.
78. Кауфман М., Сидман А. Г. Практическое руководство по расчётам схем в электронике: Справочник. В 2-х томах. Том 1: Пер. с англ. / Под ред. Ф. Н. Покровского. — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 368 с., ил.

79. Киреев В. Т. Влияние некоторых технологических факторов на магнитные свойства сердечников. Сборник трудов XI Всесоюзного совещания по магнитным элементам. Изд-во «Советское радио», 1968.
80. Китаев В. Е., Бокуняев А. А. Проектирование источников питания устройств связи. Учебное пособие. — М., Связь, 1972. — 200 с., ил.
81. Кифер И. И. Испытания ферромагнитных материалов. — М., — Л.: Госэнергоиздат, 1962. — 544 с., ил.
82. Кифер И. И., Пантюшин В. С. Испытания ферромагнитных материалов. Госэнергоиздат, 1962.
83. Кифер И. И. Характеристики ферромагнитных сердечников. Изд-во «Энергия», 1967.
84. Косенко С. Расчёт импульсного трансформатора двухтактного преобразователя. «Радио», №4, 2005, с. 35 — 37, 44.
85. Кризе С. Н. Выходные трансформаторы. — М., — Л.: ГЭИ, 1953. — 32 с., ил.
86. Кризе С. Н. Расчёт маломощных силовых трансформаторов и дросселей фильтров. Госэнергоиздат, 1950.
87. Кузнецов В. К., Оркин Б. Г., Русин Ю. С. Трансформаторы усилительной и измерительной аппаратуры. — Л.: Энергия, 1969. — 152 с., ил.
88. Ланге В. Эффективное напряжение в сети переменного тока. «Квант», 2001, №3, с. 40 — 41.
89. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Электродинамика сплошных сред. — М.: Наука, 1982. — 624 с.
90. Лейтес Л. В. Добавочные потери. Энергетика за рубежом. Трансформаторы. — М.: Госэнергоиздат, 1960, выпуск 5, с. 148 — 168.
91. Лейтес Л. В. О добавочных потерях в обмотках трансформаторов. «Вестник электропромышленности», 1960, №10, с. 23 — 27.
92. Лейтес Л. В., Пинцов А. М. Схемы замещения многообмоточных трансформаторов. — М.: Энергия, 1974. — 192 с., ил.
93. Лейтес Л. В. Токи в параллельных ветвях обмоток трансформаторов и реакторов. «Электричество», 1966, №2, с. 36 — 42.
94. Лейтес Л. В. Токи в параллельных ветвях обмоток трансформаторов и реакторов. «Электричество», 1973, №4, с. 73 — 77.
95. Лейтес Л. В. Эквивалентные схемы многообмоточных трансформаторов. — М.: Информстандартэлектро, 1968.
96. Лейтес Л. В. Электромагнитные расчёты трансформаторов и реакторов. — М.: Энергия, 1981. — 392 с., ил.
97. Мазель К. Б. Теория и расчёт выпрямителя, работающего на ём-

- кость, с учётом индуктивности рассеяния трансформатора. — М.: Госэнергоиздат, 1957.
98. Мазель К. Б. Трансформаторы электропитания. — М.: Энергоиздат, 1982. — 80 с., ил.
99. Манькин Э. А., Морозов Д. Н., Алферова А. В. Добавочные потери на вихревые токи в обмотках трансформаторов. «Электротехника», 1965, №10, с. 16 — 19.
100. Марквардт Е. Г. Электрические расчёты трансформаторов. — М., — Л.: ОНТИ НКТП, 1938. — 136 с., ил.
101. Матвеев Г. А., Хомич В. И. Катушки с ферромагнитными сердечниками. — М.: Энергия, 1967. — 64 с., ил.
102. Матханов П. Н. К инженерному расчёту мощных импульсных трансформаторов. «Радиотехника», 1951, №5.
103. Матханов П. Н. Проектирование импульсных трансформаторов на большие мощности. — Изв. ЛЭТИ, 1959, вып. 37.
104. Матханов П. Н., Гоголицын Л. З. Расчёт импульсных трансформаторов. — Л.: Энергия. Ленинградское отделение, 1980. — 112 с., ил.
105. Матханов П. Н., Петров Ю. А. Расчёт цепи, корректирующей спад импульса в импульсных трансформаторах. — Изв. ЛЭТИ, 1961, вып. 46.
106. Микросхемы для импульсных источников питания и их применение. 2-е издание, исправленное и дополненное. — М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2001. — 608 с., ил.
107. Мирский Г. Я. Электронные измерения: 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Радио и связь, 1986. — 440 с., ил.
108. Моин В. С. Оптимальный расчёт трансформатора преобразовательной установки. «Электротехника», 1967, №4.
109. Москатов Е. Методика и программа расчёта импульсного трансформатора двухтактного преобразователя, Радио, №6, 2006, с. 35 — 37.
110. Мэк Р. Импульсные источники питания. Теоретические основы проектирования и руководство по практическому применению / Пер. с англ. — М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2008. — 272 с., ил. (Серия «Силовая электроника»).
111. Намитоков К. К. и др. Влияние растягивающих напряжений на магнитные свойства электротехнических сталей. «Энергетика и электротехническая промышленность», Киев, 1964, №1.
112. Наседкин Л. П. Исследование теплового режима теплостойких маломощных трансформаторов. «Известия вузов», «Электромеханика», 1963, №5.

113. Наседкин Л. П. Оптимальные соотношения теплостойких мало-мощных силовых трансформаторов. «Известия вузов», «Электромеханика», 1964, №3.
114. Наяшков И. С., Карасев В. В. Расчёт полей рассеяния трансформаторов. «Вестник электропромышленности», 1963, №4, с. 8 — 13.
115. Немцов М. В. Справочник по расчёту параметров катушек индуктивности. — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 192 с., ил.
116. Нейман Л. Р. Поверхностный эффект в ферромагнитных телах. Госэнергоиздат, 1949.
117. Никитский В. З. Маломощные трансформаторы. — М.: Энергия, 1968. — 88 с., ил.
118. Норденберг Г. М. Трансформаторы для радиоэлектронной аппаратуры. — Л.: Энергия, 1970. — 240 с., ил.
119. Оптимизация полупроводниковых преобразовательных устройств. Сборник научных трудов. — К.: Наукова думка, 1979. — 188 с., ил.
120. Орехов В. Н. и др. Низковольтные сильноточные источники вторичного электропитания РЭА / В. И. Орехов, М. Е. Куцко, В. Н. Груздев. — М.: Радио и связь, 1986. — 104 с., ил.
121. Парселл Э. Электричество и магнетизм. — М.: Наука, 1975. — 440 с., ил.
122. Пентегов И. В. Определение оптимальных размеров трансформаторов. «Известия вузов», «Электромеханика», 1960, №8.
123. Петров Г. Н. Трансформаторы, т. 1. Основы теории. Энергоиздат, 1934.
124. Петров Г. Н. Проблемы повышения частоты и трансформаторостроение. «Электричество», 1936, №2.
125. Петров Г. Н. Электрические машины. Ч. 1. Введение. Трансформаторы. — М., — Л.: ГЭИ, 1956. — 224 с., ил.
126. Петров Г. Н. Расчёт индуктивных параметров рассеяния микро-трансформаторов. Труды МЭИ, 1962, вып. 38.
127. Поливанов К. М. Ферромагнетики. — М., — Л.: ГЭИ, 1957. — 256 с., ил.
128. Попов И. Н., Генев С. И. Определение оптимальных размеров силовых трансформаторов. Изд-во «Энергия», 1967.
129. Порто Д. Н. К вопросу о тепловом режиме маломощных трансформаторов. «Вестник электропромышленности», 1958, №2.
130. Порто Д. Н., Назарова Г. Н. Тепловые свойства и критерий оценки конструкций маломощных силовых трансформаторов. «Вестник электропромышленности», 1960, №6.
131. Постников И. М. Выбор оптимальных геометрических размеров в

- электрических машинах. Госэнергоиздат, 1952.
132. Преображенский А. А. Теория магнетизма, магнитные материалы и элементы. — М.: Высшая школа, 1972.
133. Проектирование источников электропитания электронной аппаратуры: Учебник / О. К. Березин, В. Г. Костиков, Е. М. Парфенов и др.; Под ред. В. А. Шахнова. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. — 504 с., ил.
134. Рабинович С. И. Условия соразмерности и КПД трансформаторов. «Электричество», 1946, №6.
135. Расчёт импульсных устройств на полупроводниковых приборах / Под ред. Т. М. Агаханяна. — М.: Советское радио, 1975.
136. Расчёт электромагнитных элементов источников вторичного электропитания / А. Н. Горский, Ю. С. Русин, Н. Р. Иванов, Л. А. Сергеева. — М.: Радио и связь, 1988. — 176 с., ил.
137. Рогацкий М. А., Амромин А. Л. Зависимость тока параллельно соединённых катушек трансформаторов от их геометрических размеров. «Электротехническая промышленность». Аппараты высокого напряжения, трансформаторы, силовые конденсаторы. 1972, №1, с. 25, 26.
138. Рогинский В. Ю. Электропитание радиоустройств. — Л.: Энергия, 1970. — 320 с., ил.
139. Рогинский В. Ю. Расчёт устройств электропитания аппаратуры электросвязи. — М.: Связь, 1972. — 360 с., ил.
140. Русин Ю. С. К определению сопротивления обмоток с учётом влияния эффекта близости и поверхностного эффекта. «Электросвязь», 1965, №2.
141. Русин Ю. С. К расчёту паразитных параметров широкополосных трансформаторов. «Радиотехника», 1967, №1.
142. Русин Ю. С. Определение перегрева трансформаторов и дросселей. «Известия вузов», «Электромеханика», 1965, №12.
143. Русин Ю. С. Определение собственной ёмкости обмоток. «Радиотехника», 1964, Т. 19, №2, с. 64 — 66.
144. Русин Ю. С. Трансформаторы звуковой и ультразвуковой частоты. — Л.: Энергия, 1973. — 152 с., ил.
145. Русин Ю. С. и др. Электромагнитные элементы радиоэлектронной аппаратуры: Справочник / Ю. С. Русин, И. Я. Гликман, А. Н. Горский. — М.: Радио и связь, 1991.
146. Русин Ю. С., Чепарухин А. М. Проектирование индуктивных элементов приборов. — Л.: Машиностроение, 1981. — 172 с., ил.
147. Семёнов Б. Ю. Силовая электроника: от простого к сложному. —

- М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2006. — 416 с., ил. (Серия «Библиотека инженера»).
148. Сидоров И. Н., Биннатов М. Ф., Шведова Л. Г. Индуктивные элементы радиоэлектронной аппаратуры: Справочник. — М.: Радио и связь, 1992. — 289 с., ил.
149. Сидоров И. Н., Мукосеев В. В., Христинин А. А. Малогабаритные трансформаторы и дроссели: Справочник. — М.: Радио и связь, 1985. — 416 с.
150. Сидоров И. Н., Скорняков С. В. Трансформаторы бытовой радиоэлектронной аппаратуры: Справочник. — М.: Радио и связь, 1999. — 332 с., ил.
151. Справочная книга радиолюбителя-конструктора: В 2-х книгах. Книга 1. А. А. Бокуняев, Н. М. Борисов, Е. Б. Гумеля и др.; под ред. Н. И. Чистякова. — 2-е издание, исправленное. — М.: Радио и связь, 1993. — 336 с., ил. — (Массовая радиобиблиотека; выпуск 1195).
152. Справочник по радиоэлектронным устройствам. В 2-х томах. Т. 2 / Варламов Р. Г., Додик С. Д., Иванов-Цыганов А. И. и др.; Под ред. Д. П. Линде. — М.: Энергия, 1978. — 328 с., ил. (Радиоэлектроника).
153. Справочник по электротехническим материалам / Под ред. Ю. В. Корицкого — М.: Энергия, 1974.
154. Справочные материалы по расчёту выпрямительных устройств и электронных стабилизаторов напряжения и тока. Составил Мазель К. Б. — Министерство радиопромышленности СССР, 1967. — 108 с., ил.
155. Стародубцев Ю. Н., Белозеров В. Я. Магнитные свойства аморфных и нанокристаллических сплавов. — Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2002. — 384 с.
156. Стародубцев Ю. Н., Зеленин В. А., Белозеров В. Я., Кейлин В. И. Аппроксимация кривой намагничивания и удельных магнитных потерь в магнитомягких магнитных материалах. «Электротехника», 1997, №7, с. 48 — 51.
157. Стародубцев Ю., Кейлин В., Белозеров В. Магнитопроводы ГАМ-МАМЕТ. «Радио», 1999, №6, с. 48 — 50.
158. Стародубцев Ю. Н. Магнитные потери на вихревые токи при постоянном подмагничивании. «Электричество», 1979, №9, с. 75 — 76.
159. Стародубцев Ю. Н. Теория и расчёт трансформаторов малой мощности. — М.: ИП РадиоСофт, 2005. — 320 с., ил.
160. Судзуки К., Фудзимори Х., Хасимото К. Аморфные металлы. — М.:

- Металлургия, 1987. — 328 с., ил.
161. Тейлор-Джонс Е. Теория индукционной катушки. — М., — Л.: ОНТИ, 1935. — 168 с., ил.
162. Тихомиров П. М. Расчёт трансформаторов. — М.: Госэнергоиздат, 1953.
163. Тихомиров П. М. Расчёт трансформаторов. — М.: Энергия, 1976. — 544 с.
164. Трамбицкий А. В. Расчёт трансформаторов. ГОНТИ НКТП, 1938.
165. Трошанов Н. А. Электропитание радиоустройств. — М.: Морской транспорт, 1963. — 315 с.
166. Туровски Я. Местные перегревы в трансформаторах. «Известия вузов», «Электромеханика», 1961, №12, с. 53 — 58.
167. Тюрин Е. П. Оптимальная геометрия и рабочие свойства силовых трансформаторов повышенной частоты. «Электротехническая промышленность», 1965, вып. 256.
168. Тюрин Е. П. Трансформаторы повышенной частоты с медными и алюминиевыми обмотками. «Электротехника», 1966, №6.
169. Угримов Б. И. Краткий учебник электротехники. — М.: Л.: Государственное издательство, 1927. — 397 с.
170. Устройства электропитания мощных радиосистем. Под ред. А. А. Ткачева. — М.: Энергия, 1972. — 168 с., ил.
171. Федосеев Д. Н. Технология изготовления силовых трансформаторов и дросселей, применяемых в радиотехнике. — М., — Л.: ГЭИ, 1959. — 156 с., ил.
172. Функциональные устройства систем электропитания наземной РЭА / В. В. Авдеев, В. Г. Костиков, А. М. Новожилов, В. И. Чистяков; под редакцией В. Г. Костикова. — М.: Радио и связь, 1990. — 192 с., ил.
173. Хныков А. В. Теория и расчёт многообмоточных трансформаторов. — М.: СОЛОН-Пресс, 2003. — 100 с., ил.
174. Хэг Б. Электромагнитные расчёты. ОНТИ, 1934.
175. Циркулирующие токи от осевой составляющей поля рассеяния в параллельных ветвях обмоток трансформаторов / Т. О. Богданова, А. Г. Крайз, Л. В. Лейтес, В. М. Языков. «Электричество», 1969, №5, с. 74 — 79.
176. Цыкин Г. С. Трансформаторы низкой частоты. — М.: Связьиздат, 1950. — 418 с., ил.
177. Черкасов В. Н. Теория теплового режима трансформаторов малой мощности. «Известия вузов», «Приборостроение», 1963, №3.
178. Черкасов В. Н. Метод теплового расчёта трансформаторов малой

- мощности. «Известия вузов», «Приборостроение», 1963, №3.
179. Черне Х. И. Индуктивные связи и трансформации в электрических фильтрах. Основные вопросы теории. — М.: Связьиздат, 1962. — 316 с., ил.
180. Чернышев Е. А., Чернышева Н. Г. Магнитные измерения на постоянном и переменном токе. Стандартгиз, 1962.
181. Чернышев Е. Т., Чечурина Е. И., Чернышева Н. Г., Студенцов Н. В. Магнитные измерения. — М.: Изд-во стандартов, 1969. — 248 с.
182. Чернышев Е. Т. и др. Последние работы ВНИЭМ в области разработки методики и аппаратуры для исследований магнитных материалов. Сборник Трудов XI Всесоюзного совещания по магнитным элементам. Изд-во «Советское радио», 1968.
183. Чечерников В. И. Магнитные измерения. — М.: Изд-во МГУ, 1968. — 388 с., ил.
184. Шафир Ю. Н. Определение транспозиций и циркулирующих токов в винтовых обмотках мощных трансформаторов. «Электротехника», 1976, №4, с. 11 — 14.
185. Шафир Ю. Н. Оптимизация транспозиций в многоходовых многорядных винтовых обмотках. «Электротехника», 1975, №4, с. 17 — 20.
186. Шафир Ю. Н. Распределение тока в обмотках трансформаторов. — М.: Энергоатомиздат, 1992. — 192 с., ил.
187. Шафир Ю. Н., Рогачевский В. И. Методы расчёта распределения тока в обмотках трансформаторов и реакторов. «Электричество», 1983, №8, с. 18 — 24.
188. Шафир Ю. Н. Циркулирующие токи в многоходовой многорядной винтовой обмотке трансформатора. «Электротехника», 1974, №4, с. 51 — 54.
189. Шимони К. Теоретическая электротехника. — М.: Мир, 1964. — 775 с., ил.
190. Шницер Л. М. Нагрузочная способность силовых трансформаторов. Госэнергоиздат, 1953.
191. Штафль М. Электродинамические задачи в электрических машинах и трансформаторах. «Энергия», 1966.
192. Электропитание устройств связи: Учебник для вузов / О. А. Доморацкий, А. С. Жерненко, А. Д. Кратиров и др. — М.: Радио и связь, 1981. — 320 с., ил.
193. Эраносян С. А. Сетевые блоки питания с высокочастотными преобразователями. — Л.: Энергоатомиздат. Ленинградское отделение, 1991. — 176 с., ил.

194. Янке Е., Эмде Ф., Лёш. Ф. Специальные функции формулы, графики, таблицы. — М.: Наука, 1977. — 383 с., ил.
195. Blanken P. G., «A lumped winding model for use in transformer models for circuit simulation». IEEE transactions on power electronics, vol. 16, No. 3, May, 2001.
196. Blanken P. G. and J. J. L. M. van Vlerken, «Modeling of electromagnetic systems», IEEE Trans. Magn., vol. 27, pp. 4509 — 4515, Nov. 1991.
197. Buntentbach R. W., «Analogues between magnetic and electrical circuits», Electron Prod., vol. 12, No. 5, pp. 108 — 113, Oct. 1969.
198. Carsten B., «High frequency conductor losses in switchmode magnetics», in proc. 1st int. high-frequency power conv. conf. HFPC'86, Virginia Beach, VI, May 28 — 30, 1986, pp. 155 — 176.
199. Carsten B., «Switchmode design and layout techniques», APEC'97 tutorial.
200. Dallago E., Sassone G., and Venchi G., «High—frequency power transformer model for circuit simulation», IEEE Trans. Power Electron., vol. 12, pp. 664 — 670, July 1997.
201. Dauhajre A. A. and Middlebrook R. D., «Modeling and estimation of leakage phenomena in magnetic circuits», in Proc. Rec. 17th Annu. IEEE Power Electron Spec. Conf. PESC'86, Vancouver, BC, Canada, June 23 — 27, 1986, pp. 213 — 226.
202. de León F. and Semlyen A., «Detailed modeling of eddy current effects for transformer transients», IEEE Trans. Power Delivery, vol. 9, pp. 1143 — 1150, Apr. 1994.
203. de León F. and Semlyen A., «Time domain modeling of eddy current effects for transformer transients», IEEE Trans. Power Delivery, vol. 8, pp. 271 — 280, Jan. 1993.
204. Dowell P. L., «Effects of eddy currents in transformer windings», Proc. Inst. Elect. Eng., vol. 113, No. 8, pp. 1387 — 1394, Aug. 1966.
205. Duerdoth W. T., «Equivalent capacitances of transformer windings», Wireless Eng., pp. 161 — 167, June 1946.
206. El-Hamamsy S. A. and Chang E. I., «Magnetics modeling for computeraided design of power electronic circuits», in Proc. Rec. 20th Annu. IEEE Power Electron Spec. Conf. PESC'89, Milwaukee, WI, June 1989, pp. 635 — 645.
207. Hamill D. C., «Gyrator-capacitor modeling: A better way of understanding magnetic components», in Proc. IEEE Appl. Power Electron Conf. APEC '94, Orlando, FL, Feb. 1994, pp. 326 — 332.
208. Hamill D. C., «Lumped equivalent circuits of magnetic components:

- The gyrator-capacitor approach», IEEE Trans. Power Electron., vol. 8, pp. 97 — 103, Apr. 1993.
209. J. J. L. M. van Vlerken and Blanken P. G., «Lumped modeling of rotary transformers, heads and electronics for helical-scan recording», IEEE Trans. Magn., vol. 31, pp. 1050 — 1055, Mar. 1995.
210. Karnopp D. C. and Rosenberg R. C., System Dynamics: A Unified Approach. New York: Wiley, 1975.
211. Ludwig G. W. and El-Hamamsy S. A., «Coupled inductance and reluctance models of magnetic components», IEEE Trans. Power Electron., vol. 6, pp. 240 — 250, Apr. 1991.
212. Meara K. O., «Proximity losses in AC magnetic devices», PCIM Magazine, December 1996.
213. PROXY — Proximity effect analysis, KO Systems, Chatsworth, CA, 818-341-3864.
214. Roters H. C., Electromagnetic Devices. New York: Wiley, 1941.
215. Urling A. M., Niemela V. A., Skutt G. R., and Wilson Th. G., «Characterizing high-frequency effects in transformer windings — A guide to several significant articles», in Proc. IEEE Appl. Power Electron. Conf. APEC '89, Baltimore, MD, March 13-17, 1989, pp. 373 — 385.
216. Vlach J., Computerized approximation and synthesis of linear networks. New York: Wiley, 1969, pp. 194 — 206.
217. Weinberg L., Network analysis and synthesis. New York: McGraw-Hill, 1962. E. C. Cherry, «The duality between interlinked electric and magnetic circuits and the formation of transformer equivalent circuits», Proc. Phys. Soc. Lond. B, vol. 62, pp. 101 — 111, Feb. 1949.