



**Главный редактор**  
Николай Сухов

### Редакционная коллегия

Георгий Божко (UT5ULB)  
Александр Егоров  
Евгений Лукин  
Всеволод Марценюк  
Евгений Музыченко  
Олег Никитенко  
Александр Провозин  
Александр Торрес  
Георгий Члиянц (UY5XE)  
Владимир Широков

### Адрес редакции

Украина, 03190, Киев-190, а/я 568  
Тел./факс: (044) 4437153  
E-mail: radiohobby@mail.ru  
radiohobby@mail.com  
Fido: 2:463/197.34  
BBS: (044) 2167171 с 19<sup>00</sup> до 9<sup>00</sup>  
<http://www.radiolink.net/radiohobby>  
<http://welcome.to/radiohobby>  
<http://radiohobby.da.ru>  
<http://www.radiohobby.ldc.net>

### Распространение

по подписке в любом отделении связи:

**Украина** - по «Каталогу периодичних видань України» УОПЗ Укрпошта, **индекс 74221**  
цена подписки на II полугодие 2000 г. 17 грн. 25 коп.

**Россия и другие страны СНГ, Литва, Латвия, Эстония** - по каталогу «Газеты и журналы» агентства Роспечать, **индекс 45955**  
цена подписки на II полугодие 2000 г. 99 руб. РФ

**Дальнее зарубежье** - по каталогу «Russian Newspapers & Magazines 2000» агентства Роспечать, \$21

Выражаем благодарность всем авторам за их мысли и идеи и всем подписчикам за доверие и материальную поддержку журнала

Редакция может не разделять мнение авторов и не несет ответственности за содержание рекламы

© «Радио хобби». Перепечатка материалов без письменного разрешения редакции запрещена. При цитировании обязательна полная библиографическая ссылка с указанием названия и номера журнала

Подписано к печати 23.05.2000 г.  
Отпечатано на журнальном комплексе издательства «Преса України», м.Київ, вул. Героїв космосу, 6  
Тираж 8700 экз.

Заказ № 0130037, цена договорная  
Учредитель и издатель ООО «Эксперт»  
Журнал выходит шесть раз в год  
60x84/8 бум. форм., 7,44 усл.печ.л., 12,8 уч.-изд.л.  
Зарегистрирован Госкомитетом Российской Федерации по печати 25.06.97 г., свид. №016258  
Зарегистрирован Министерством информации Украины 11.06.97 г., свид.серия КВ №2678

# СОДЕРЖАНИЕ

- 2** **Международному Союзу Радиолюбителей (IARU) - 75 лет** ..... Г. Члиянц  
Исторический очерк
- 5** **DX-клуб «Радио хобби»** ..... А. Егоров  
Всемирная таблица времени, расписания вещания
- 7** **Дайджест зарубежной периодики**  
«Бессмертный» ламповый усилитель Вильямсона, 30-ваттный SE на KT88, 35-ваттный PPP Circlotron на EL34, снижение «автоинтермодуляционных» искажений транзисторных УНЧ сведением в одну точку как местных, так и общей ООС, 7-полосный графический эквалайзер, темброблок и раздвоитель для стереоаудиоплеера, канал воспроизведения аудиоплеера на одной микросхеме, стереокодер по «западному» стандарту, ультразвуковой датчик движения для охранных систем, бесконтактный электронный тахометр, бесконтактный электронный микрометр, микро-PIС-скоп, сверхпростой пульт ИК-ДУ на PIС-процессоре для телевизоров, управление электродвигателем через LPT-порт ПК, устройство щадящего включения кинескопа, ЧМ-радиомикрофоны, сверхпростой ЧМ-приемник, испытательный КВ/УКВ приемник прямого преобразования, СВЧ-делитель частоты до 2,3 ГГц, устройство записи звука с последующим замедленным воспроизведением, приемники прямого преобразования, активная миниантенна для 2-метрового диапазона, ЯГИ по 28-омной технологии для 2-метрового диапазона, бесконтактные антенные реле, цифровой КСВ-метр на PIС-процессоре и другие наиболее интересные устройства из двадцати восьми свежайших зарубежных журналов
- 23** **Антенны с круговой поляризацией** ..... И. Григоров  
Один из вариантов решения проблем с «замираниями» на диапазонах 6 - 20 метров
- 29** **Антенна на 7 МГц с малой высотой подвеса** ..... И. Захаров  
Оптимизация «DELTA LOOP» для проведения дальних связей
- 29** **Реверс ЭД постоянного тока по двум проводам для вращения направленных антенн** ..... В. Башкатов  
Двойная экономия при управлении ЭД как с последовательным, так и параллельным возбуждением
- 30** **Дополнительный шаг перестройки «100 Гц» в P-399A** ..... Р. Кагарманов  
Расширение сервисных возможностей серийного связного приемника
- 30** **Изготовление кабеля с низким волновым сопротивлением** .... И. Григоров  
Самодельный способ изготовления коаксиала для широкополосных трансформаторов
- 31** **Минисправочник**  
Детальное описание и характеристики наиболее удачной ИМС УМЗЧ TDA7294 в «стандартной», «мостовой» и «высокоэффективной» схемах включения
- 34** **Зарубежные аналоги отечественных радиоламп звукового применения**  
Хлорное железо и его заменители
- 35** **Портативный КВ трансивер** ..... А. Тарасов  
Окончание. Синтезатор частоты, межблочные соединения, рекомендации пользователю
- 42** **Новое поколение радиостанций фирмы KENWOOD ТК-2107/3107** .... Б. Витко  
Технические характеристики, принципиальная схема, особенности схемных решений
- 45** **АМ/ЧМ приёмник на двух ИМС серии K174XA** ..... К. Герасименко
- 47** **Секреты ламповой High-End технологии** ..... С. Симулкин  
Электростатическое, магнитостатическое, электромагнитное экранирование. Гальванические и химические способы нанесения экранов - химические обезжиривание, очистка, травление, полирование, декапирование, железнение, пассивирование, нейтрализация, фосфатирование, оксидирование, синение
- 53** **Мой «бюджетный» Лофтин-Уайт** ..... В. Брусникин  
Двухкаскадный одноконтный ламповый УНЧ с непосредственной межкаскадной связью
- 54** **Эстрадный/Hi-Fi УМЗЧ** ..... С. Сакевич  
Транзисторный усилитель повышенной (до 1550 Вт) мощности с системой «мягкого» демпфирования динамических головок акустических систем
- 58** **Трансформаторы силовые и звуковые** ..... Е. Васильченко  
Ноу-хау, расчет и изготовление в домашней лаборатории высококачественных трансформаторов для ламповых усилителей класса High-End
- 62** **Универсальный контроллер CD-ROM-магнитофон с ДУ** ..... А. Торрес  
Окончание описания внешнего контроллера для IDE CD-ROM с множеством дополнительных функций
- 64** **Как подключиться к FidoNet?** ..... Ю. Талимончик  
Перечень узлов любительской сети FidoNet Украины, России, Израиля, Узбекистана, Туркменистана, принимающих новых поинтов

### Внимание!

**До окончания подписки на второе полугодие в Украине остались считанные дни!**

# Трансформаторы силовые и звуковые

## Расчет и изготовление в домашней лаборатории

Евгений Васильченко, г.Казань

Приношу благодарность за помощь в подготовке этой публикации Александру Забайрацкому и Владимиру Ульянову, чьи письма в FIDO шных эхо-конференциях *su.hardw.audio* и *to.hi-fi*, присутствуют здесь в виде цитат или невно:

Alexander Zabairatsky (2:5084/11.4)

Vladimir Uliyanov (2:5020/1021.11)

Владелец американской фирмы *Electra-print audio Co.* Jack Elliano любезно предоставил некоторые фактические материалы, использованные при подготовке этой статьи.

### Оговорки и ссылки

Рекомендации, приводимые в статье, отражают личную точку зрения автора. Материал ни в коей мере не претендует на полноту описания предмета и носит обзорный характер. Автор не несет ответственности за возможный ущерб, причиненный применением нижеизложенных сведений.

Качество выходных и переходных трансформаторов в ламповых усилителях - это залог хорошего звука. Поэтому конструкция трансформаторов традиционно является предметом *know-how* фирм - изготовителей и разработчиков. Рискую открыть секрет Полишинеля, скажу, что 99% успеха обусловлены грамотным расчетом, подбором материалов и комплекующих экстракласса и высочайшей технологией изготовления. И только один процент приходится на применение эмпирических методов достижения результатов.

Расчет выходного трансформатора всегда производится в составе лампового каскада. Вместо этого предлагается рассматривать трансформатор как «черный ящик» с параметрами, которые скорректированы под конкретное применение. Практически всегда самодельщику известны параметры каскада, рекомендуемые изготовителем ламп. Точность такого подхода более чем достаточна. В великолепной *базе данных Дункана Манро* есть рекомендуемые режимы усилителей для практически всех ламп. Она называется *TDSL Personal Edition* и свободно доступна на его сайте в Интернете <http://duncanamps.simplenet.com/>

Расчет трансформатора для источника вторичного электропитания должен учитывать особенности схемы выпрямления, параметры элементов выпрямителя и фильтров. Все это умеет делать бесплатная программа *D.Munro PSUD* [http://duncanamps.simplenet.com/psud2/psud2\\_beta024.exe](http://duncanamps.simplenet.com/psud2/psud2_beta024.exe). Здесь будет рассмотрен упрощенный расчет силового трансформатора с заданными параметрами нагрузки.

Неплохие сведения по расчету усилителей и звуковых трансформаторов есть на сайте известного английского аудиофила по имени *Russ Sadd* <http://www.aston.ac.uk/~saddrj/library.htm>

В его библиотеке можно взять архивированные файлы статей по схемотехнике ламповых усилителей, весьма полезные обзоры и материалы, принадлежащие, в частности, перу знаменитого *Нормана Кроухерста*. В разделе о звуковых трансформаторах большое внимание уделено расчету индуктивности рассеяния и собственной емкости обмоток. Есть и пример изготовления выходного трансформатора для ультралинейного выходного каскада <http://www.aston.ac.uk/~saddrj/download/HMOT.zip> A Home-Made Output Transformer by W. Groome.

Оговорюсь, что так любимый Кроухерстом ультралинейный режим, несмотря на прекрасные характеристики, не является самым лучшим способом получения хорошего звука. Эта оговорка относится к вышеупомянутому одному проценту составляющей успеха.

Несложные алгоритмы расчета трансформаторов и дросселей в текстовом формате можно найти на странице <http://www.mc-h.demon.co.uk/vtheory/vtheory.htm>

Большинство производителей трансформаторов для аудио применений представлены в Internet'e, приведу лишь самые известные названия:

*Hammond manufacturing* <http://www.hammondmfg.com>

*Electra-print audio Co* <http://www.execpc.com/~n9zes/electra.html>

*MagneQuest* <http://www.magnequest.com>

Торондальные трансформаторы выпускает фирма *Plitron*: <http://www.plitron.com>

С продукцией *Audio Note UK* можно ознакомиться на <http://www.audionote.co.uk>

Страницы культовых фирм *Tamura* - <http://www10.big.or.jp/~dh/tamura> и *Tango Transformers* <http://www.netspace.or.jp/~eifl/eifl/export/tango.htm>

На *Web-странице автора* <http://class-a.da.ru> можно найти практически все данные по магнитопроводам отечественных трансформаторов, выпускающихся по межотраслевым нормам, начиная от веса и габаритных размеров, до практических рекомендаций по выбору коэффициента заполнения окна и плотности тока. Там же находится программа для расчета выходных трансформаторов по алгоритму, изложенному в этой статье.

### О магнитопроводах

В производстве трансформаторов применяются специальные сорта сталей. Их характерной особенностью является содержание довольно большого количества кремния (до 4,5% в стали типа Э41 или ее современном аналоге 3512). Вот примеры обозначения по старым ГОСТам:

Э41-Э43 (изотропная горячекатаная с максимальной индукцией 13000 Гаусс = 1,3 Тесла на частоте 50 Гц);

Э310-Э330 (текстурированная холоднокатаная с нормированной индукцией 17000 Гс вдоль кристаллов на частоте 50 Гц);

Э340-Э360 (то же самое с индукцией 15000 Гс для частоты 400Гц).

По действующему ГОСТу принято четырехзначное обозначение: первая цифра 3 - класс трансформаторных сталей, вторая - округленное содержание кремния в процентах, третья - округленная максимальная индукция в сердечнике в Тесла, четвертая - номер разработки.

Зарубежная классификация сталей базируется на величине потерь. Для силовых трансформаторов используются стали от М6 до М55. Индекс пропорционален величине потерь, выраженных в ваттах на фунт веса (к сожалению, мне неизвестно, на какой частоте и при какой индукции, для того, чтобы можно было классифицировать отечественные марки стали). Наша ширпотребовская сталь толщиной 0,5 мм 3512 имеет потери 3,5 Вт/кг @ 50 Гц / 1,5 Тл и 25 Вт/кг @ 400 Гц / 1,0 Тл и примерно соответствует М24. Лучшие партии серийной холоднокатаной стали имеют в тех же условиях 1 и 8 Вт/кг соответственно. *AudioNote UK* использует в своих выходных трансформаторах стали группы М4.

Потери в сердечнике и нелинейные искажения в трансформаторе усилителя имеют общую природу - нелинейность процесса намагничивания стали. Потери пропорциональны площади петли гистерезиса. Уменьшение максимальной индукции, разумеется, уменьшает высоту петли и, следовательно, искажения. Кроме этого, при малых индукциях зависимость магнитной индукции от напряженности поля, создаваемого обмоткой, более линейна. Но даже при малых индукциях и при наличии подмагничивания ширина петли частного цикла у низкосортных сталей остается значительной. Другими словами, уменьшение индукции в магнитопроводе с целью уменьшения уровня искажений имеет ограниченный смысл. Выходной трансформатор с низкогокачественным сердечником имеет большие габариты, но это не единственный его недостаток. Увеличение размеров обмотки приводит к росту рассеяния, собственной емкости, сопротивления и разбаланса плеч трансформатора.

Есть еще один фактор, связывающий свойства сердечника с искажениями звукового сигнала, это зависимость магнитной проницаемости стали от индукции в сердечнике. Благодаря наличию максимума на графике этой зависимости, коэффициент нелинейных искажений на НЧ имеет минимум при некотором значении индукции. Для того чтобы найти наилучший режим работы трансформатора, необходимо знать свойства применяемой стали.

Магнитопровод для силовых трансформаторов может быть изготовлен из любой стали и любой формы. Разница будет только в габаритах. Лучшие массогабаритные параметры имеют торондальные трансформаторы. Они же имеют наименьшее поле рассеяния. Сказываются ли особенности конструкции силового

трансформатора на звучании усилителя? Несомненно. Особенно заметно это влияние на звучание транзисторных усилителей. Трансформатор при необходимости должен уметь пропускать мощные импульсы тока низкой частоты. Эта особенность редко учитывается в методиках расчета «обычных» трансформаторов вторичных источников электропитания.

Вопрос выбора магнитопровода для выходного трансформатора еще более неоднозначен. Три ответа на простой вопрос саodelьщика «Какую сталь применить для своего проекта»:

**Mike LaFevre** из MagneQuest: «Наиболее употребляемая в выходных трансформаторах недорогая сталь М6. М4 уже вдвое дороже. Выбор стали по звуку достаточно субъективен. Производители гитарных усилителей часто (но не всегда) предпочитают М19 из-за способности давать «богатый, жирный звук с кучей красивых гармоник». Что касается hi-fi, то материал сердечника — это только один кусочек головоломки, хоть и самый крупный. По опыту моей работы хороший дизайн никогда не определяется единственным параметром».

**Jack Elliano** из Electra-Print Audio Co: «Мы используем как М6, так и М19. Оба типа находят свое применение, несмотря на сильные различия. Важно использовать линейный участок кривой намагничивания. Даже с М19 искажения, вносимые трансформатором, не превышают 0,05%».

**Примечание.** Коэффициент гармонических искажений принято рассчитывать по формуле и методике Патриджа:

$$\frac{U_n}{U_o} = S_H \frac{10^9}{8\pi^2} \frac{l_c \cdot Ra}{N^2 \cdot Sc \cdot f} \left( 1 - \frac{Ra}{4Z_f} \right)$$

где

$U_n, U_o$  - напряжения гармоники и основной частоты,  
 $S_H$  - коэффициент искажений, характеристика материала сердечника,

$l_c$  - средняя длина магнитной силовой линии в сердечнике,  
 $Ra$  - сопротивление измерительного резистора, включенного последовательно с первичной обмоткой,

$N$  - количество витков в первичной обмотке,

$Sc$  - площадь сечения сердечника,

$f$  - основная частота,

$Z_f = 2\pi f \cdot L$  - индуктивное сопротивление первичной обмотки,

$L$  - индуктивность первичной обмотки.

В эту формулу входит коэффициент искажений  $S_H$ , характерный для каждого материала.  $S_H$  зависит, в частности, от магнитной индукции, качества и толщины материала и имеет порядок величины 50-100.

**Владимир Ульянов:**

«Если есть возможность узнать марку железа, из которого изготовлен сердечник, то лучшее Ш железо для звуковых целей 3414...3416. Железо для ПЛ сердечников обычно применялось 3406...3407, а 3408...3409 - это вообще лучшее, что есть на сегодня для звука, не считая эксклюзивов типа аморфного железа или экспериментальных марок сталей.»

Для ленточных сердечников практически всегда используется холоднокатаная анизотропная сталь, у которой в направлении навивки сердечника более высокие магнитные свойства, чем у горячекатаной изотропной, которая используется для шихтованных сердечников. В Ш сердечниках иногда применяется холоднокатаная сталь, но магнитные свойства стали в этом случае не могут быть полностью использованы. Поэтому в расчетах трансформаторов на Ш железе не учитывается разница индукции насыщения разных видов стали. Тем не менее, качество трансформаторов будет, естественно, различаться. Вот что пишут о магнитопроводах для изготовления выходных трансформаторов А. Забайрацкий (АЗ>) и В. Ульянов (VU>):

**АЗ>:** «Если сердечник Ш-образный, то он должен быть из холоднокатаной стали (Э-330, Э-340...). Внешний признак - пластины покрыты каким-то красновато-коричневатом налетом, похожим на ржавчину, но не ржавчиной. Лучшие пластины УШ (у пластин Ш боковые части по ширине точно равны половине среднего языка, у УШ боковуха шире половины среднего). Не стоит брать сердечник от горелого трансформатора - резуль-

тат будет заметно хуже».

**VU>** «Качественно сделанные ПЛ сердечники сейчас можно найти в ОСМ трансах, в трансах от тепловозов и тепловых и прочих изделиях для промышленных целей. Практически старые ПЛ сердечники до ~86 года достаточно приличные, кроме телевизионных, для которых применялось самое дешевое железо. Оптимальная толщина пластин 0.27...0.35 мм. Поэтому стали нормированные на 400 Гц - марки 3420 и выше, для звука не идут, так как у них толщина 0.15 мм, а как еще заметил Цыкин в одной из последних своих работ, сердечники из тонких пластин вносят дополнительные гармоники высоких порядков, что к примеру в случае выходных трансов обозначает жесткость звука и его «металлическую» окраску. Из тонких сталей ПЛ сердечники сейчас делают кому не лень, т.к. их мотать можно хоть на токарном станке, естественно без нормальной технологии и самое главное без соблюдения режимов отжига. При нормальном отжиге начальная магнитная проницаемость получается в районе 2000, у сердечника современного халявного изготовления обычно в среднем 600, причем еще есть короткозамкнутые пластины и не протравленные места стыков, чуть ли не болгаркой разрезанные».

Нормальная технология отжига - это отжиг в очень чистом водороде с соблюдением температурного режима, который включает в себя несколько стадий. Допустим отжиг в вакууме (<0.001 мм рт.ст.), начальная магнитная проницаемость при этом получается 350-400 для горячекатаных сталей и 500-700 для холоднокатаных сталей (1500 - для лучших партий). Тем не менее, на практике часто применяют безвакуумный отжиг навитых сердечников, в том числе и кратковременный (до 1 часа). Полного восстановления свойств стали такие режимы не обеспечивают. Такие сердечники для применения в звуке непригодны из-за больших потерь.

Вредно влияет на магнитные свойства сердечников повторный отжиг и механические воздействия: После отжига ленточные сердечники пропитываются. Для большей монолитности разрезных сердечников применяется компаунд КП-10 вместо обычного БФ-4. При чрезмерно длительном тепловом старении таких сердечников наблюдается значительное повышение магнитных потерь и намагничивающих токов (до 80%). Это происходит из-за механических напряжений.

Особенно не любят механических воздействий сердечники из пермаллоя. После отжига их помещают в контейнеры с ЦИАТИМом. Намотка ведется уже поверх контейнера.

Этот краткий экскурс в технологию был предпринят для того, чтобы у читателей не возникало иллюзий относительно кажущейся простоты ламповых усилителей. Новый виток развития ламповой техники - это не только дань моде и схемотехнические решения 50-х годов, но и высокие технологии, и понимание того факта, что в звуке нет мелочей.

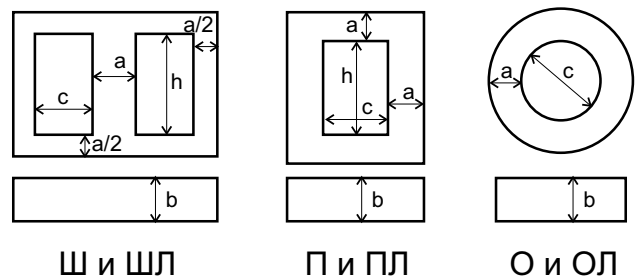
Теперь самое время обратиться к хорошо известным формулам.

**Расчет силовых трансформаторов**

**Обозначения и система единиц**

Для Ш, ШЛ и ПЛ железа принимаются обозначения (рис. 1):

- a - ширина среднего стержня;
- b - набор (для Ш) или ширина ленты (для ШЛ, ПЛ) или «толщина блина» ОЛ;
- c - ширина окна магнитопровода (диаметр окна для ОЛ);
- h - высота окна.



Все приведенные расчеты сделаны в системе СГС с некоторыми исключениями. Линейные размеры приводятся в сантиметрах.

## AUDIO HIGH-END

рах, индукция в Гауссах (если не указано явно Тесла), токи в Амперах, плотность тока - в Амперах на квадратный миллиметр, частоты - в Герцах.

Трансформатор для вторичного источника питания должен иметь сердечник с габаритной мощностью большей или равной электрической мощности. Габаритная мощность однофазного трансформатора вычисляется по формуле

$$P_{габ}[Вт] = 2.22 \cdot 10^{-8} \cdot F \cdot S_c \cdot K_c \cdot S_{ок} \cdot K_{ок} \cdot B_m \cdot J,$$

где

F - частота, Гц,

$S_c$  - площадь сечения сердечника, см<sup>2</sup>,

$K_c$  - коэффициент заполнения сердечника сталью,

$S_{ок}$  - площадь сечения окна, см<sup>2</sup>,

$K_{ок}$  - Коэффициент заполнения окна медью,

$B_m$  - Максимальная индукция в сердечнике, Гс,

J - плотность тока в проводах, А/мм<sup>2</sup>

Для ориентировочных прикидок можно применить

$$P = 0,9 \cdot S_c \cdot S_{ок} \text{ для шихтованных сердечников,}$$

$$P = 1,2 \cdot S_c \cdot S_{ок} \text{ для ленточных сердечников.}$$

### Замечания о $K_c$ и $S_c$

Площадь сердечника следует *измерять*, не полагаясь на маркировку сердечников. Расхождения могут достигать 10%.

Коэффициент заполнения сердечника сталью зависит от толщины стальных пластин или ленты, вида изоляции, качества изготовления и может принимать значения от 0,86 до 0,97. Для ориентировочных расчетов принимается 0,9.

Типичные значения для шихтованных сердечников:

Толщина пластин / вид изоляции	Лаковая	Фосфатная	Оксидная
0,5	0,94	0,96	0,97
0,35	0,91	0,94	0,95

Для ленточных сердечников:

Толщина ленты/ вид изоляции	Катафорез	Оксидная для ОЛ	Оксидная для ПЛ
0,35	СС	0,93	0,92
0,15-0,2	0,88	0,93	0,88-0,92

Изоляция стальной ленты катафорезом с помощью суспензии сейчас практически не применяется. Эта технология применяется для изоляции пермаллоевой ленты.

### Выбор Кок

Нетрудно заметить, что величина  $K_{ок} \cdot S_{ок} \cdot J$  представляет собой приведенный вторичный ток, т.е. суммарную величину тока, циркулирующего в трансформаторе. Максимально достижимый коэффициент заполнения окна медью зависит от конструкции трансформатора, количества межслойной и межобмоточной изоляции, толщины и вида провода (круглый или прямоугольный). В свою очередь, каждый из этих факторов определяется целым рядом условий. Строго говоря, точный расчет может быть сделан только с помощью последовательных приближений. Однако накопленный опыт позволяет задать исходные величины сразу. Поскольку чаще всего самоделщикам попадает в руки уже готовый трансформатор, можно рассчитать его коэффициент заполнения по формулам

$$S = N_1 \cdot S_1 + N_2 \cdot S_2 + \dots + N_i \cdot S_i,$$

где

$$S_i = 3.14 \cdot D_i^2 / 4, \quad D_i - \text{толщина соответствующего провода,}$$

$$K_{ок} = S / S_{ок}$$

Полученный коэффициент может служить оценкой максимальной достижимой  $K_{ок}$ . При самостоятельной намотке  $K_{ок}$  получится примерно на 10-15% меньше за счет несовершенства технологии намотки и изоляции

$K_{ок}$  обязательно нужно рассчитывать *перед* намоткой уже рассчитанного трансформатора для того, чтобы оценить, поместится ли заложённый в расчет провод в окно. Для прикидок обычно принимается  $K_{ок} = 0,3$ . После намотки трансформатора нужно уточнить  $K_{ок}$  для того, чтобы скорректировать габаритную мощность (а с ней и плотность тока в проводах).

Наибольший  $K_{ок}$  (до 0,45) имеют дроссели, которые наматываются без дополнительной изоляции. У низковольтных трансформаторов  $K_{ок}$  имеет порядок 0,3 - 0,35. Анодно-накальные трансформаторы за счет большего количества изоляции имеют  $K_{ок}$  0,22-0,27. Еще меньший коэффициент заполнения имеют высоковольтные трансформаторы (все цифры приведены для медных проводов круглого сечения и броневых магнитопроводов). Чем меньше мощность трансформатора, тем меньше  $K_{ок}$ . Наибольший коэффициент заполнения окна имеют трансформаторы в броневом исполнении, наименьший - в тороидальном.

### Выбор индукции

Промышленные трансформаторы малой мощности с сердечником из горячекатаной стали рассчитываются на индукцию 1,25 Тл, из холоднокатаной ленточной - на 1,7 Тл. Речь идет о частоте 50 Гц. При расчете трансформаторов очень малой мощности, до 10-15 ватт, индукция должна быть снижена до 1,0 - 1,1 и 1,4 - 1,6 Тл соответственно. Это теория, хорошо подкрепленная практикой серийного производства трансформаторов минимальной стоимости. В действительности к самоделщику редко попадает кондиционный сердечник с гарантированными свойствами. Наиболее вероятно использование магнитопровода, уже бывшего в употреблении. Как уже было упомянуто выше, на магнитные свойства сердечника сильно влияют механические воздействия, в том числе и те, что сердечник испытывает в процессе сборки, пропитки, и обратной разборки, не говоря уже о процессе эксплуатации. В процессе разборки разрезные сердечники могут расклеваться. Кроме этого, качество реза не всегда бывает изначально высоким. Поэтому разрезные сердечники, собираемые в домашних условиях, наверняка имеют неконтролируемый зазор. В производстве это обычно учитывается, типичный технологический зазор составляет 10-15 микрон для разрезного и до 50 микрон для шихтованного сердечника. Наличие зазора в магнитной цепи ведет к увеличению тока намагничивания (и тока холостого хода). Величина тока намагничивания в промышленных трансформаторах выбирается довольно высокой. В любительской практике обычно не предъявляются требования обеспечить минимальную стоимость трансформатора. Гораздо важнее получить малое поле рассеяния и нечувствительность к импульсам тока, которые отбирает у блока питания усилитель класса АВ на пиках потребления. Наиболее опасны для трансформатора несимметричные пики с частотами ниже расчетных 50 Гц. Ток потребления с очень низкой частотой легко намагничивает сердечник трансформатора до насыщения. Все это хорошо известно разработчикам трансформаторов для аудио применения. В проспекте фирмы *Electra-print audio Co*, изготавливающей трансформаторы и дроссели по индивидуальному заказу, содержится оговорка, что изделия рассчитываются с учетом применения в классе А, если иное не указано явно.

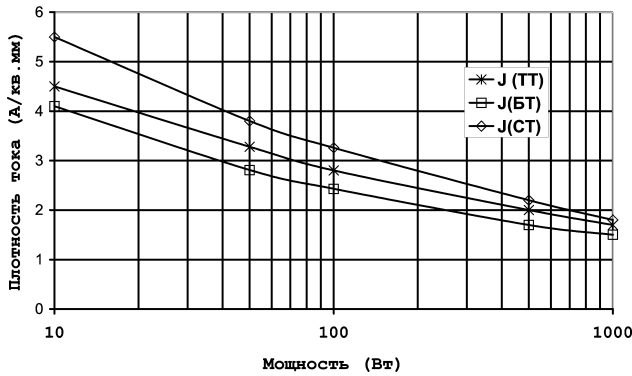
Именно по этим причинам трансформаторы, применяемые в звуковой аппаратуре, следует рассчитывать на пониженную индукцию, ориентировочно 1,0 и 1,4 Тл соответственно примененным стальям. Очень сильно уменьшать ток намагничивания не стоит, поскольку при этом падает габаритная мощность и увеличивается активное сопротивление обмоток.

Лучшим способом проверки качества магнитопровода и точности расчета является измерение тока холостого хода. В любительской практике нет смысла точно рассчитывать ток холостого хода и сравнивать его с полученным. Косвенным показателем выполнения вышеприведенных рекомендаций является величина тока покоя, не превышающего 3-5% от рабочего тока потребления. Для самых маленьких трансформаторов допустима 10 и даже 50% -ная величина.

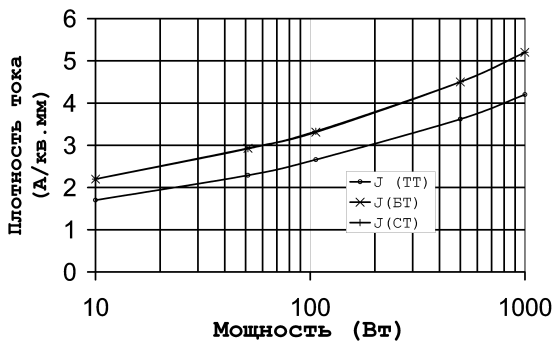
### Выбор плотности тока

От выбора плотности тока зависит величина падения напряжения на выводах трансформатора и степень его разогрева под нагрузкой. Инженерный расчет трансформаторов «на заданное падение напряжения» и «на заданный перегрев» сильно отличается. Здесь следует пояснить, что заданное падение напряжения должно точно выдерживаться при работе нескольких трансформаторов на общую нагрузку. Для наших целей имеет смысл огриваривать верхний предел падения напряжения dU исходя из эксплуатационных требований электровакуумных и электронных приборов. Точная формула расчета J приведена ниже, однако удобнее пользоваться графиками, заимствованными из литературы.

Зависимость плотности тока от мощности.  
Расчет на заданный перегрев 50 град.



Зависимость плотности тока от мощности.  
Расчет на заданное падение напряжения 10%



$$J = \sqrt{\frac{p'}{\rho \cdot K_{ок} \cdot V_k}}$$

где  $\rho = 1,22 \cdot 10^{-8}$  («горячее» удельное сопротивление меди, Ом·мм<sup>2</sup>),  
 $V_k$  – объем катушки, см<sup>3</sup>,  
 $p'$  – величина потерь в катушке, Вт, пояснения ниже.

После того, как плотность тока выбрана, необходимо определить сечение и диаметр провода для первичной и вторичных обмоток. Силу тока в первичной обмотке  $I_p$  можно оценить, исходя из суммарной мощности вторичных обмоток  $P_{II}$ :

$$I_p = \sqrt{\left(\frac{I' p}{\eta}\right)^2 + I_x x^2},$$

где  $I' p = P_{II} / 220$  – величина «отраженного» тока,  $I_p$  – векторная сумма тока холостого хода и отраженного тока, скорректированного с учетом КПД  $\eta$ . Ток намагничивания можно не рассчитывать, а задать в виде некоторой части от активной составляющей тока первичной обмотки трансформатора. Наиболее актуален учет тока холостого хода для маленьких силовиков, мощностью менее 10 Вт. В малых трансформаторах величина тока намагничивания может достигать 100% активной составляющей тока. К слову сказать, сила тока во вторичных обмотках тоже не всегда равна току потребления и зависит от схемы выпрямителя.

При расчете трансформатора, предназначенного для работы в усилителе класса АВ или В, есть смысл несколько увеличить сечение провода обмотки, питающей выходные каскады, а также первичной обмотки.

**Количество витков на вольт**

Расчет количества витков на вольт начинается с промежуточной величины  $W/E$ .

$$W/E = 10000 / (4,44 \cdot F \cdot S_c \cdot K_c \cdot B)$$

Прямо использовать эту величину для расчета количества витков вторичной обмотки нельзя. Необходимо рассчитать коэффициенты падения напряжения: для первичной обмотки -  $K_1$ , вторичных -  $K_2$ , для накальных -  $K_3$ .

$$K_1 = 1 - dU/2$$

$$K_2 = 1 + dU/2$$

$$K_3 = 1,03 \cdot K_2,$$

где

$dU$  – падение напряжения, задается непосредственно, скажем 10%, либо рассчитывается (если задан перегрев). Здесь придется сделать отступление. Ниже будут приведены формулы инженерного расчета падения напряжения. Они достаточно громоздки и требуют знания дополнительных параметров. Для облегчения расчетов можно воспользоваться таблицами параметров унифицированных рядов сердечников. Эти таблицы можно найти в [1] и на Web-странице <http://class-a.da.ru>, они обеспечивают высокую точность. Расчеты можно дополнительно упростить, если выполнены рекомендации по выбору индукции на 15-25% ниже максимально допустимого уровня. В этом случае потери в сердечнике можно пренебречь и не рассчитывать максимальное падение напряжения, а задавать его. Тем не менее вот формулы расчета:

$$dU = p' / (P_{II} + p'),$$

$P_{II}$  – суммарная мощность вторичных обмоток,

$$p' = \alpha \cdot dT \cdot \text{Плкат} \cdot \left(1 + \beta \frac{\sqrt{v}}{1+v}\right) - \text{потери в катушках},$$

$dT$  – заданный перегрев, обычно 50 градусов,

$\alpha$  – коэффициент теплоотдачи,

$\beta$  – величина, равная отношению площади сердечника  $P_c$  к площади катушек  $\text{Плкат}$ ,

$v$  – соотношение потерь, равное отношению потерь в сердечнике к потерям в катушках. Это ключевая величина, определяющая режим работы трансформатора. Ее рассмотрение выходит за рамки статьи. Оптимальные значения можно определить как

$$v = 1 \quad \text{для тороидальных трансформаторов}$$

$$v = (1+\beta)^2 \quad \text{для стержневых трансформаторов}$$

$$v = 1+\beta \quad \text{для броневых трансформаторов.}$$

**Количество витков** в первичной обмотке  $N_1 = 220 \cdot K_1 \cdot W/E$

Количество витков во вторичных обмотках  $N_i = U_i \cdot K_2 \cdot W/E$ , для накальных (сильноточковых) обмоток следует применять коэффициент  $K_3$ .

**Диаметр провода**  $d$  рассчитывается исходя из токов обмоток  $I$  и плотности тока  $J$ .

$$d = \sqrt{\frac{4I}{\pi J}}$$

(продолжение следует)

**ПРЕДПРИЯТИЕ**  
**«ТРИОД»**

ЛАМПЫ: Г, ГИ, ГК, ГМ,  
 ГМИ, ГС, ГУ, 6... и др.  
 Магнетроны, клистроны, тиратроны,  
 разрядники, ФЭУ, видиконы и др.  
 ВЧ, СВЧ-транзисторы.  
 Со склада и под заказ.  
 Гарантия, доставка, скидки

(044) 478-09-86, 477-38-06 (с 10.00 до 17.00)  
 E-mail: ur@triod.kiev.ua

## Наша сила - в плавках

Перед летними каникулами как-то сам по себе вспомнился шуточный лозунг металлургов, заменив одну букву в котором, получаем заголовок этого выпуска «колонки редактора». Итак, замеченные «очепятки» предыдущего номера:

1. В схеме САДП с модулятором на оптроне («РХ» 2/2000, с.12, рис.12) «стрелки» в оптроне необходимо перевернуть: светодиод должен быть включен в цепь ОУ, а фотодиод - в цепь транзистора.

2. В статье «Многодиапазонная вертикальная антенна» («РХ» 2/2000, с.27, п.5.2, первая строка) напечатано A=250 мм, должно быть A=1250 мм.

3. В примечании редакции к статье «Высокоинейный УМЗЧ с внутренним истоковым повторителем» («РХ» 2/2000, с.49) неточно указана цепочка Бушера. На самом деле она представляет собой последовательно соединенные резистор 10 Ом и конденсатор 0,1 мкФ, которые следует подключить параллельно выходу усилителя.

4. В схеме «УМЗЧ с раскачкой по шинам питания ОУ» («РХ» 2/2000, с.51) полярность включения цепочки диодов VD3-VD6 следует поменять на обратную.

5. В статье «DTMF-система дистанционного управления на основе радиотелефона» («РХ» 2/2000, с.63) в третьем абзаце от конца (который начинается словами «Цепочка R29C12...») написано «...на тактовый вход выбираемого принтера», должно быть «... на тактовый вход выбираемого триггера».

**Напоминаем, что подписка на второе полугодие заканчивается буквально на днях**, не забудьте ее продлить (а также сообщить о журнале вашим знакомым - увеличение тиража позволит нам увеличить количество страниц при неизменной цене). Только подписчики смогут во втором полугодии заказать обновленные варианты наших фирменных CD «Радиолюбби-2000» с электронными версиями (Adobe Acrobat) всех номеров «Радиолюбби» за 98, 99 год, а также всеми «прошивками» и программами, которые упоминались в этих журналах, и аудиоCD «Аудиолюбби-2000» с десятками высокоинформативных тестовых сигналов и музыкальных фрагментов для объективных и субъективных испытаний CD-плееров, аудиоканалов CD-ROM, акустических систем, магнитофонов, усилителей, детонаторов и другой аудио и измерительной техники.

**Редакция гарантирует получение всех номеров журнала, на которые оформлена подписка**, даже в том случае, если по не зависящим от редакции причинам какой-то из номеров до вас не «дошел». Отправьте в наш адрес вашу подписную квитанцию и заверенную печатью и подписью начальника вашего почтового отделения справку о том, что журнал по подписке не поступил в почтовое отделение, и мы вышлем вам бесплатно и немедленно недостающий номер индивидуально заказной бандеролью из редакционных неприкосновенных запасов.

Наилучшие пожелания,

Николай Сухов, главный редактор

## Как подключиться к FidoNet?

В первом номере «РХ» за этот год был напечатан список всех узлов сети FidoNet Украины. Эта публикация подверглась критике со стороны некоторых сисопов (СИСТемных Операторов), поскольку не было указано время, когда можно было бы звонить по указанным телефонным номерам к сисопам с просьбами о подключении к сети. К тому же на многих указанных номерах телефонов вообще не существует телефонных аппаратов, к ним подключены только модемы. В этом номере мы решили исправить эти ошибки и, дополнив список узлами из стран СНГ и Израиля (только некоторых сисопов, которые согласны принять новых поинтов), печатаем его в отредактированном виде.

Для получения информации по подключению к сети FidoNet звоните по указанным телефонам в указанное время ближайшему к вам сисопу или пишите по указанным электронным адресам. Из сети InterNet можно писать и на FidoNet-адрес. Для этого в поле «to:» вашего почтового клиента нужно указать преобразованный по специальной схеме адрес сети фидонет. Схема такая:

Имя сисопа@номер узла.номер сети.номер зоны.fidonet.org Т.е. для того, чтобы написать по фидонетному адресу 2:4627/2 из сети InterNet в поле «to:» вашего почтового клиента пишем:

yura\_talimonchik@n2.f4627.z2.fidonet.org

Юра Талимончик

2:4627/2

Местонахождение сисопа	Имя сисопа	Фидошный (и e-mail) адрес сисопа	Номер телефона для голосовой связи с сисопом	Время (местное) приема звонков сисопом
г.Кузнецовск, Украина	Юра Талимончик	2:4627/2 talimon@mail.od.ua	(03636) 37836	Дневное и вечернее
г.Харьков, Украина	Вячеслав Петров	2:461/84 teenager@ru.ru	(0572) 727339	Дневное
г.Петах-Тиква, Израиль	Семен Шапоткин	2:403/189	(972)-53-499874	Дневное
г.Санкт-Петербург, РФ	Никита Сычевский	2:5030/468	(812) 4643488	Дневное
г.Екатеринбург, РФ	Стас Власов	2:5080/172	(3432) 420114	20:00-23:00
г.Красноярск-26, РФ	Дмитрий Невин	2:6090/2 nevin@mcc.krasnoyarsk.su	(39197) 34087	Дневное
г.Чистополь, Татарстан	Василий Суворков	2:5049/97	(84342) 20121	08:00-16:00
г.Донецк, Украина	Олег Иванюков	2:465/225 oleg@iv.donetsk.ua	(0622) 615009	Дневное
г.Винница, Украина	Владимир Борисевич	2:4625/53 vovaadid@mail.ru	(0432) 435534	Дневное
г.Инта, РФ	Макс Филенко	2:5003/64 themax@online.ru	(82145) 30119	Дневное
г.Ильичевск, Украина	Алексей Волошин	2:467/104.4 maniac@mail.od.ua	(04868) 63895	Дневное
г.Москва, РФ	Виет Бо	2:5020/388	(901) 7588636	Дневное
г.Уфа, РФ	Руслан Вильданов	2:5011/92 vrf@chat.ru	(3472) 526072	Вечером
г.Бендеры, Молдова	Дмитрий Гребенюк	2:469/105	(232) 22528	18:00-23:00
г.Уфа, Башкортостан	Сергей Поздняков	2:5011/109 pozner@mail.ru	(3472) 214680	18:00-22:00
г.Екатеринбург, РФ	Юрий Никитин	2:5080/112 lotsman@dialup.utk.ru	(3432) 659463	Дневное
г.Рогачев, Беларусь	Сергей Галась	2:452/51 roman220@softthome.net	(02339) 12293	Дневное
г.Харьков, Украина	Роман Роменский	2:461/220	(0572) 320576	Дневное
г.Севастополь, Крым	Владимир Салимин	2:4600/110	(0692) 420779	Дневное
г.Севастополь, Крым	Сергей Агарков	2:4600/96.11	(0692) 411846	Дневное
г.Рубцовск, Алтай	Владимир Черников	2:6002/3 walt@ok.ru	(38557) 31222	Дневное
пос.Кача, Крым	Вячеслав Яблонский	2:4600/174 dga@scorpio.cmi.crimea.edu	(0692) 734150	Дневное
г.Йошкар-Ола, РФ	Андрей Кулалаев	2:5052/4.71	(8362) 121307	Дневное
г.Симферополь, Крым	Дмитрий Ахицкий	2:460/50	(0652) 294929	Дневное
г.Мга, Лен. обл. РФ	Алексей Субоч	2:5098/11	(81262) 55135	Дневное
г.Киев	Дмитрий Задворнов	2:463/2222	(044) 4512427	20:00-21:00
г.Южноукраинск, Украина	Радислав Чрешня	2:466/109.4 root@club.yu.wildpark.net	(05136) 21841 (05136) 27706	Дневное
г.Хайфа, Израиль	Станислав Шварцман	2:404/0 stas@mikud.org	972-4-8597724	Дневное
г.Томск, РФ	Джекоб Нефедев	2:5005/96	(3822) 912181	Дневное
г.Горлока, Украина	Алексей Журавель	2:4653/24	(06242) 49521	Дневное
г.Казань, РФ	Тимур Акмалов	2:5049/122 acidwave@mail.ru	(8432) 158538	18:00-21:00 мск. вр.
г.Ривне, Украина	Мишель Ильчук	2:4621/3 sf@rivne.com	(0362) 225014	В рабочее
г.Нижний Новгород, РФ	Дмитрий Завьялов	2:5015/164	(8312) 429032	Вечером и в выходн.
г.Полтава, Украина	Александр Семенко	2:4613/204.213	592275	Дневное
г.Лубны, Украина	Евгений Семченко	2:4613/77	(261) 51779	Дневное
г.Зеньков, Украина	Александр Колесник	2:4613/61	(253) 32390	Дневное
пгт.Оржица, Украина	Александр Алексюк	2:4613/26	(257) 91285	В раб. дни после 17
пгт.В.Багачка, Украина	Игорь Бескровный	2:4613/4	(245) 92611	В раб. дни
г.Кишинев, Молдова	Влад Хруска	2:406/558	(0422) 731855	Дневное
г.Полтава, Украина	Юра Карапузов	2:4613/5	29901	Дневное
г.Сарны, Украина	Юра Бортник	2:4621/79	(03655) 32348	08:00-18:00
г.Синельниково, Украина	Виктор Вишневецкий	2:464/68	(05615) 43508	Дневное
г.Ростов-на-Дону, РФ	Владимир Леонов	2:5061/119.7	252141	10:00-23:00
г.Навои, Узбекистан	Хамза Исмаилов	2:50/528 dj@navoi.po.ru	(436) 2248715	Дневное и вечернее
г.Ангарск, РФ	Олег Чечулин	2:5070/705	(39518) 66921	В вых. с 9 до 11
г.Санкт-Петербург, РФ	Александр Десперадо	2:5030/1226	5674711	Дневное
г.Санкт-Петербург, РФ	Максим Бульчев	2:5030/363	(812) 3109918	18:00-21:00
г.Туркменбаши, Туркменистан	Андрей Спирков	2:5086/15	8243	до 23:00