

ционально их индуктивности. Следовательно, максимальное переменное напряжение возникает на средней секции обмотки; его амплитуда равна 83 В. Пробивное напряжение изоляции обмоточного провода диаметром более 0,15 мм (ПЭТВ, ПЭВ, ПЭТЛ и др.) — не менее 600 В, а число микродефектов допустимо не более 5—7 на 15 м. Для провода диаметром более 0,35 мм микродефекты вообще недопустимы. Поэтому обмотку можно мотать внавал вообще без всяких прокладок; вероятность появления короткозамкнутых витков очень мала.

Для лучшей укладки витков и повышения надежности трансформатора целесообразно через каждые 300—500 витков обмотки укладывать прокладку из конденсаторной бумаги толщиной 0,022 мм в два слоя (такую бумажную ленту можно добыть из старых бумажных конденсаторов — например, группы КБГ). Поэтому основная задача при намотке трансформатора — исключить западание витков.

Межобмоточная изоляция достигается стандартным способом — прокладку делают шире каркаса на 4—5 мм и по ее краям нарезают насечку. Это можно сделать быстро, свернув прокладку в трубку: ее край по контуру прокусывают острыми кусачками. Так как в этом случае используется более толстая и жесткая изоляция (как из условий электрической прочности, так и для возможности нормальной укладки следующей обмотки), западание витков исключено, если вы достаточно внимательны. Желательно исключить западание витков и при укладке межслоевой изоляции. Тут возникает сложность. Так как поверхность обмотки имеет неровности, то даже при наличии насечки на краях прокладки исключить западания витков не удастся — провод ее стягивает. Решается этот вопрос следующим образом. На края прокладки наклеивается бандаж из узкой полоски тонкой липкой бумаги (можно использовать "малярную ленту") с насечкой по краю, она удерживает прокладку от сползания (или закрывает витки, с которых прокладка уже сползла).

Итак, порядок намотки трансформатора следующий — секции первичной обмотки наматывают внавал с межслоевыми прокладками через каждые 300—500 витков, секции вторичной обмотки — виток к витку без прокладок (при диаметре провода более 0,6 мм этот процесс сложности не вызывает). Напомню еще раз, что межобмоточная изоляция должна быть достаточно жесткой — витки вторичной обмотки должны ложиться ровно. При намотке секций первичной обмотки следует обеспечивать достаточное натяжение провода и стараться, чтобы поверхность обмотки была как можно ровнее. Кстати, при намотке желательно не касаться провода руками, а удерживать его кусочком тонкого фетра или мягкой замши. Намотка ведется от края до края катушки. Выводы обмоток выполняются непосредственно обмоточным проводом с надетой на него фторопластовой трубкой (тонкая трубка прекрасно тянется; растягивая миллиметровую трубочку,

можно получить трубку меньшего диаметра). Если провод слишком тонкий, то для повышения механической прочности вывода провод складывают в три-четыре раза и плотно свивают. Эта косичка используется как вывод обмотки, естественно, ее начало должно быть изолировано и надежно закреплено на обмотке. Выводы из цветных проводов, конечно, красивее, но такой вариант практичнее. Конечная изоляция обмоток выполняется из двух слоев кабельной бумаги (можно и писчей).

Козэффициент заполнения окна магнитопровода при двух секциях первичной обмотки находится около 0,45, при трех секциях первичной обмотки — около 0,4. Это усредненные данные по результатам намотки нескольких десятков трансформаторов разной мощности.

Управиться с такой работой, в зависимости от имеющегося опыта, вполне можно за пару вечеров.

Для чего пропитывают катушку трансформатора? Основная цель — повышение электрической прочности при неблагоприятных внешних условиях, также пропитка улучшает отвод тепла из внутренних слоев катушки и повышает ее механическую прочность. Конечно, есть и обратная сторона медали, любая пропитка увеличивает собственную емкость трансформатора.

В 99,9 % случаев любительский усилитель стоит на почетном месте в комнате при практически нормальных условиях. Тепловая нагрузка на выходной трансформатор высококачественного усилителя тоже не велика. Во-первых, проектируются такие трансформаторы по нескольким иным критериям, чем сетевые, во-вторых, при прослушивании музыки, даже если усилитель имеет значительную выходную мощность, средняя мощность на выходе составляет всего несколько ватт. Поэтому я не советую использовать какую-либо пропитку и тем самым ухудшать, даже незначительно, электрические параметры трансформатора. Конечно, если вы намерены слушать музыку в условиях тропического климата, планируете установить усилитель в автомобиле или предложить его рок-группе, тогда надо задуматься над пропиточным составом и способом пропитки.

Другое дело — магнитопровод трансформатора. В любительской практике часто используют витые магнитопроводы от серийных трансформаторов, которые при разборке имеют тенденцию расслаиваться. Это не опасно, но отслоившиеся пластинки будут создавать призывки. По возможности, их следует подклеить, но это мало что даст. Эффективный способ утихомирить трансформатор (клеить все равно надо) — перед окончательной сборкой окунуть подковы магнитопровода в масляный лак. Шихтованный магнитопровод тоже целесообразно прокрасить лаком.

При окончательной сборке трансформатора таким же лаком промазывают и формирующую немагнитный зазор прокладку (для ШЛ и ПЛ их соответственно три и две), толщина которой задана при расчете. Ее можно изготовить из тонкого листа электрокартона, текстолита, гетинакса или иного жесткого термостойкого материала. Очень важно обеспечить

фиксацию зазора в магнитопроводе надежной стяжкой: стабильность зазора способствует минимизации нелинейных искажений самого трансформатора на низких частотах.

Изготовленный таким образом трансформатор будет иметь электрические параметры не хуже, а возможно, и лучше, чем изготовленный в заводском цехе. В условиях, близких к нормальным, такие трансформаторы работают безотказно.

Итак, сложность самостоятельного изготовления выходного трансформатора сильно преувеличена. Основные хлопоты связаны с поиском магнитопровода, намоточных проводов и сопутствующих материалов, а не с намоткой. Залогом хороших результатов является обычная аккуратность и внимательность. Даже имея опыта, вполне реально за неделю изготовить комплект выходных трансформаторов для стереоусилителя. Конечно, не все может получиться сразу, но под лежачий камень вода не течет, поэтому смело беритесь за работу и собирайте свой лучший ламповый усилитель.

Замечу, что теперь появилось много современных изоляционных материалов, так что применять бумагу совсем не обязательно. Использование полиэтиленерефталатной, лавсановой пленки, армированного фторопласта, стеклоткани приветствуется; применяйте, что легче достать.

У мощных усилителей возможно появление значительного перепада напряжения на выходном трансформаторе при резком сбросе нагрузки. Если при сравнительных прослушиваниях аппаратуры вы предпочитаете делать коммутацию нагрузки на ходу, то не стоит увеличивать электрическую прочность трансформатора, проще зашунтировать его первичную обмотку подходящим варистором или разрядником на 1 кВ.

Естественно, качество трансформатора зависит и от применяемого магнитопровода, но не следует возводить это в абсолют. В трансформаторах питания бытовой аппаратуры наиболее часто использовалась электротехническая сталь 3411. Она уступает по своим магнитным свойствам современным сталям (производители часто используют сталь 3408), но эти отличия не настолько велики, чтобы их нельзя было частично компенсировать на этапе проектирования трансформатора. На витом магнитопроводе от сетевого трансформатора можно изготовить отличный выходной трансформатор. И вообще, наблюдается любопытный парадокс. Многие производители предлагают высококачественные выходные трансформаторы, но ограничиваются приведением только их основных параметров — чистый "кот в мешке". А трансформаторы с магнитопроводами из стали 3408 и аморфного сплава — "две большие разницы"!

ЛИТЕРАТУРА

1. Цыкин Г. С. Трансформаторы низкой частоты. — М.: Связьиздат, 1955.
2. Горский А. Н., Русин Ю. С. и др. Расчет электромагнитных элементов источников вторичного электропитания. — М.: Радио и связь, 1988.

Редактор — А. Соколов, графика — Ю. Андреев