

Наливные трансформаторы – сказка становится былью

Технология производства трансформаторов непрерывно совершенствуется. Этот важнейший и старейший радиотехнический компонент сильно изменился за последнее время. Вместе с развитием техники импульсных преобразователей, появились низкопрофильные печатные трансформаторы, а индуктивность рассеяния обмоток используется как полноправный компонент схемы.

Однако есть еще области, в которых пока нет альтернативы традиционным трансформаторам. Это область аналоговых сигналов: усиление звука, всевозможные сверхчувствительные и прецизионные датчики. Наилучшими свойствами обладает особый тип тороидальных трансформаторов, у которого, в отличие от обычного, обмотка представляет собой тор, заключенный внутрь магнитопровода. В такой конфигурации магнитные свойства материала используются полностью, а внешние наводки – бич слаботочных цепей – минимальны. Однако такой трансформатор можно сделать только разъемным, что сводит на нет многие преимущества.

По сообщениям в прессе, извечная мечта технологов крупных производств – намотка тороидальных трансформаторов отдельно от сердечников – стала явью. Это стало возможным благодаря новейшему достижению новозеландских ученых – изобретением безгистерезисной ферромагнитной жидкости с уникальными свойствами. Технические подробности держатся в строгом секрете, но в беседе с корреспондентами г-н Ниил Дранкель, возглавляющий большой коллектив разработчиков, сказал: “В своих изысканиях мы опирались исключительно на теоретические работы русских ученых, начиная от Б. Л. Розинга, Я. И. Френкеля, Я. Г. Дорфмана, В. Л. Гинзбурга, Л. Д. Ландау, до Баркгаузена и французского ученого русского происхождения Козля (прим. перев.: здесь в словах мэтра какая-то аллюзия, видимо, вызванная приобщением к русской литературной традиции: фамилия знаменитого французского исследователя ферромагнетизма Neel каким-то образом трансформировалась в Koal, что на маори означает “не пьет”). Главной нашей заслугой я считаю получение монокристаллической структуры порошка чистейшего железа (МДМ), получаемого в сложном процессе электрохимическим травлением в магнитном поле и ионной имплантацией для снижения подвижности доменных стенок. Взаимодействие электролита с металлом приводит к тому, что металл растворяется по границам домена, где поверхностная энергия максимальна. Нам удалось довести радиус однодоменности до 10^{-4} см. Остальное было делом техники”. Квантово-механические объяснения этого механизма выходят за рамки цитируемой статьи (“Maori today”, №4/2000 – прим. перев.) по причине отсутствия в языке необходимых для этого понятий и символов.

Часть этого интервью попало на страницы местной прессы, и на Ниила Дранкеля началась “охота” журналистов и фоторепортеров. Особо умелым, на-

стойчивым и терпеливым удалось сфотографировать часть внутреннего интерьера его рабочего кабинета. При увеличении снимка и его дальнейшей обработке на компьютере репортеры увидели надпись на большом плакате. Но радость оказалось преждевременной, все буквы оказались на кириллице и понять смысл стало проблематично. После многочисленных вариаций и проб, а затем и перевода на язык маори в литературной обработке, получилось: “После первой заливки – не тестируют!”.

Как писали газеты, наверняка у Ниила есть русские корни! Иначе чем можно объяснить эту надпись? Немного позднее выяснилось, что подобные плакаты есть не только в личном кабинете, но также во всех отделах и лабораториях. Это был своего рода девиз всей фирмы. Русские корни оказались ни при чем. Если после заливки контейнера сразу начать проверять свойства трансформатора, то броски тока, вызывающие намагничивание ферромагнитной жидкости, могут вызвать слипание частиц. Необходимо некоторое время для диффузии и образования коллоида.

Комментарий переводчиков:

Как известно, в слабых полях рост намагничивания происходит за счет увеличения объема доменов, магнитные векторы которых образуют наименьший угол с направлением внешнего поля за счет соседних доменов. Этот эффект обратим даже в обычных “твердых” ферромагнетиках, а в МДМ он просто отсутствует. Поэтому в слабых полях зависимость намагниченности МДМ от напряженности поля линейна. Дальнейшее увеличение напряженности вызывает повороты доменов на 90° и 180° . Поэтому изменение намагниченности происходит скачкообразно – так называемый эффект Баркгаузена. На третьем участке кристаллы перемагничиваются в “трудном” направлении, т. е. вдоль диагоналей кристаллографической решетки и линейная зависимость намагниченности от напряженности поля нарушается.

При образовании коллоидного раствора МДМ-порошка в жидкости, происходит удаление доменов друг от друга, и обменное (квантово-механическое) взаимодействие ослабевает. Домены становятся почти независимыми, подобно парамагнетикам, сохраняя при этом высокий магнитный момент. Поворот доменов при увеличении поля осуществляется плавно, поскольку мгновенному повороту вдоль магнитного поля препятствует, помимо обменного и магнитного взаимодействия, тепловое движение и вязкое молекулярное трение.

Вследствие этого просматриваются следующие особенности МДМ-материалов:

- магнитная проницаемость жидкости регулируется концентрацией МДМ-порошка;
- магнитная проницаемость не зависит от напряженности магнитного поля в широких пределах, линейно зависит от температуры и не зависит от механических нагрузок, в отличие от твердых материалов;
- гистерезис отсутствует полностью;
- важнейшую роль играют физико-химические свойства жидкости-растворителя;
- частотный диапазон МДМ-жидкости ограничен;
- необходимо, как минимум, три заливки для минимизации поверхностных эффектов;
- при необходимости увеличения объема МДМ, плотность каждой последующей порции должна увеличиваться по нарастающей, но не наоборот;
- после окончания процесса диффузии полезно дополнить объем МДМ-жидкостью небольшой плотности (около 5% объемных).

Теперь технология производства трансформаторов очень упрощается. Обмотки изготавливаются на простейших станках, т. к. они представляют собой просто кольцевые галеты. Роль сердечника выполняет разъемный, но герметичный контейнер с клапаном и штуцером для заливки. МДМ-жидкость на самом деле довольно густая, т. к. для достижения предельных значений параметров концентрации может достигать 79%. В этом случае она по консистенции напоминает творог, и при “заправке” требуются высокие давления и ультразвуковая обработка.

Первые образцы трансформаторов доктора Дранкеля имели вдвое большую удельную мощность. Но самый большой прогресс был достигнут в области разработки сигнальных трансформаторов для звуковых и метрологических целей. МДМ-тороиды обладают фантастической линейностью. Этим открытием уже заинтересовались производители Hi-End аудиотехники с Кремниевых Холмов (Silicon Hills – довольно странное название для местечка под Веллингтоном, особенно если учесть, что местность там ровная, как стол – прим. перев.). Уже появились сообщения о выпуске 100-ваттных ламповых усилителей с THD=0,01%, а количество трансформаторов в референсном издании фирмы Silicon Hills Audio – усилителя SHA Stibius – достигло рекордного числа 28!

На вопрос журналистов из CNN “Что вы можете сказать об этих усилителях?”, доктор Ниил Дранкель, со своей стороны ему скромностью, ответил: “Только многократная заливка и строгое соблюдение ее технологии, могут гарантировать кристально-чистое, изумительное по своей прозрачности звучание!” И с этим сложно не согласиться!

Перевод с новозеландского
Евгений Панаев,
scobichevsky@mail.ru,
Александр Скобичевский,
panaeff@chat.ru