

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по соглашению № 14.575.21.0107 о предоставлении субсидии в целях реализации федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 - 2020 годы».

Список использованных источников

1. Мосиевич А.С., Полищук Н.В., Панченко И.М., и др. Электронная обработка материалов, 2006, №6, С. 44-49.
2. Энциклопедия физики и техники [Электронный ресурс]. URL: http://femto.com.ua/articles/part_2/3149.html (дата обращения 27.02.2016).
3. Силадьи. М Электронная и ионная оптика / Пер. с англ. – М.: Мир, С 36 1990. – 639 с., ил. ISBN 5-03-001634-1.

УДК: 621.396.6

РАЗРАБОТКА ТРАНСФОРМАТОРА ИНТЕГРИРОВАННОГО В ПЕЧАТНУЮ ПЛАТУ СЕТЕВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

В.А.Бойцов, И.В.Лофицкий

г. Самара, «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва»

Современные требования к снижению размеров и веса трансформаторов вынуждают искать компромисс между стоимостью и габаритами, добиваться снижения массы и повышения КПД. Впервые разработанные в 80-ых планарные трансформаторы не получили широкого распространения из-за сложной технологии, которая остается непростой и в настоящее время.

Постоянное совершенствование технологического процесса в последние годы позволяет существенно снизить стоимость трансформаторов и сделать их конкурентоспособными.

Преимущества планарных трансформаторов по сравнению с традиционными проволочными изделиями:

- малый вес – 15г-100Вт мощности;
- особо высокая надежность;
- малая индуктивность рассеяния, низкие потери на высокой частоте;
- широкий рабочий диапазон частот: от 50кГц до 1МГц;
- КПД более 98% и хорошее охлаждение конструкции позволяет передавать мощности от десятков до единиц киловатт;
- рабочая температура от -40 до +130 С;
- рабочие напряжения между обмотками более 1000В;

-хорошая повторяемость параметров из-за применяемой технологии изготовления;

-возможность автоматизированной сборки;

-низкая высота трансформатора, совместимая с SMD-компонентами.

При необходимости высоту можно уменьшить, применяя обмотки на полиимиде;

-возможность увеличивать мощность трансформатора, используя пакеты из обмоток.

Сегодня использование планарных трансформаторов остается нецелесообразным в единичных экземплярах по соображениям их высокой стоимости. Но в серийном производстве планарные трансформаторы значительно дешевле, чем традиционные аналоги.

Вышеприведенные преимущества обусловлены особенностями элементов конструкции и возникающими в них эффектами.

Можно установить эмпирическую формулу, напрямую связывающую значение теплового сопротивления трансформатора с эффективным магнитным объемом V_{Σ} используемого ферритового сердечника [1]. Данная эмпирическая формула справедлива для трансформаторов с проволочной обмоткой, имеющих сердечники формы RM и ETD. Аналогичное соотношение найдено теперь и для планарных трансформаторов с Ш-образными сердечниками.

С помощью этого соотношения можно оценить рост температуры трансформатора как функцию магнитной индукции в сердечнике. По причине ограниченности доступного пространства намотки для планарных магнитных компонентов рекомендуется использовать максимально возможные значения магнитной индукции.

В качестве первого шага делается предположение, что при данной частоте можно взять большое значение пиковой магнитной индукции — 160 мТл. Позже мы проверим, возможно ли это при заданных значениях потерь в сердечнике и роста температуры.

Формулы для расчета трансформаторов обратного хода:

$$N_1 = \frac{U_{imin} \cdot \delta_{prim}}{2 \cdot f \cdot B_{peak} \cdot A_s},$$

где N_1 — число витков первичной обмотки, U_{imin} — минимальное входное напряжение, δ_{prim} — рабочий цикл первичной обмотки, f — частота переключения, B_{peak} — пиковая магнитная индукция, A_s — эффективная площадь поперечного сечения.

$$N_2 = \frac{N_1 \cdot \delta_{sec} \cdot U_0}{U_{imin} \cdot \delta_{prim}},$$

где N_2 — число витков вторичной обмотки, U_0 — выходное напряжение, δ_{sec} — рабочий цикл вторичной обмотки, U_{imin} —

минимальное входное напряжение, δ_{prim} — рабочий цикл первичной обмотки.

$$N_{ic} = \frac{U_{ic} \cdot N_1}{U_{imin}}$$

где N_1 — число витков первичной обмотки, U_{ic} — выходное напряжение ic, U_{imin} — минимальное входное напряжение.

$$L_{prim} = \frac{(U_{imin} \cdot \delta_{prim})^2}{2 \cdot f \cdot P_{max}}$$

где U_{imin} — минимальное входное напряжение, δ_{prim} — рабочий цикл первичной обмотки, f — частота переключения, P_{max} — выходная мощность.

$$G = \frac{N_1^2 \cdot A_s \cdot \mu_0}{L_{prim}}$$

где N_1 — число витков первичной обмотки, μ_0 — магнитная проницаемость свободного пространства, L_{prim} — собственная индуктивность первичной обмотки.

$$I_0 = \frac{P_{max}}{U_0} \cdot \sqrt{\frac{4}{3 \cdot \delta_{sec}}}$$

где P_{max} — выходная мощность, U_0 — выходное напряжение, δ_{sec} — рабочий цикл вторичной обмотки.

$$I_p = \frac{U_{imin} \cdot \delta_{prim}}{f \cdot L_{prim}} \cdot \sqrt{\frac{\delta_{prim}}{3}}$$

где U_{imin} — минимальное входное напряжение, δ_{prim} — рабочий цикл первичной обмотки, f — частота переключения, L_{prim} — собственная индуктивность первичной обмотки.

Таблица 1- Слои трансформатора

| Слои | количество витков | 35мкм | 70мкм |
|--------------|-------------------|---------|---------|
| трафарет | | 50мкм | 50мкм |
| первичная | 7 | 245мкм | 490мкм |
| изоляция | | 200мкм | 200мкм |
| первичная | 7 | 245мкм | 490мкм |
| изоляция | | 200мкм | 200мкм |
| первичная IC | 4 | 140мкм | 280мкм |
| изоляция | | 200мкм | 200мкм |
| вторичная | 4 | 140мкм | 280мкм |
| изоляция | | 200мкм | 200мкм |
| первичная | 7 | 245мкм | 490мкм |
| изоляция | | 200мкм | 200мкм |
| первичная | 7 | 245мкм | 490мкм |
| трафарет | | 50мкм | 50мкм |
| Итого | | 2360мкм | 3620мкм |

В результате расчетов были получены следующие параметры трансформатора: $N_1 = 28$,
 $N_2 = N_{1c} = 4$, $L_{prim} = 259,2\text{мкГн}$, $G = 47\text{мкМ}$, $I_0 = 816\text{мА}$, $I_p = 111\text{мА}$.

На основании этих данных, было принято решение о создании 6 слоев платы с шириной проводников 70мкм. Так же предусмотрены слои для трафаретов (нижнего и верхнего) по 50мкм каждый, и изоляционные слои по 200мкм. Общая толщина платы составила 3620 мкм, а это не позволяет использовать комбинацию E-PLT на базе E22/6/16, в результате, была выбрана (комбинация E-E) из двух сердечников E22/6/16 из феррита марки N87.

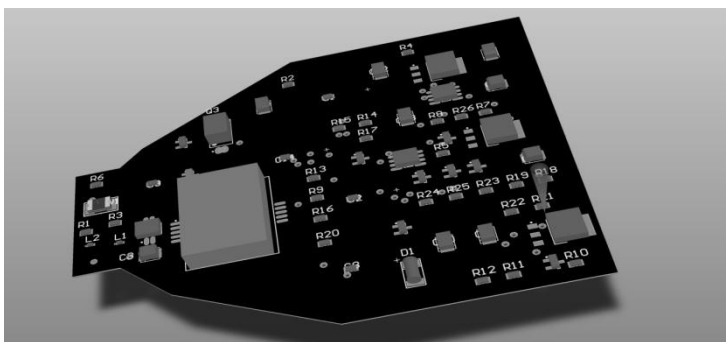


Рисунок 1 — Плата светодиодного драйвера с трансформатором

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основании вышеперечисленных преимуществ технологии изготовления планарных трансформаторов, существует основание полагать, что экономический эффект от производства планарных трансформаторов будет наблюдаться при массовом производстве, в виду сложности технологии и большей распространенности традиционных трансформаторов.

2. Внедрение данной технологии для изготовления печатных плат светодиодных драйверов обосновано и выгоднее в плане массо-габаритных параметров.

3. Особенности технологии позволяют достигать высокой повторяемости параметров трансформаторов и высокого КПД.

Список использованных источников

1. S. Mulder „Application note on the design of low profile high frequency transformers. Ferroxcube Components, 1990.

2. S. Mulder, Loss formulas for power ferrites and their use in transformer design. Philips Components, 1994.