

# ОЦЕНКА ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ В УСТРОЙСТВАХ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Бульбенков С.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
Минск, Республика Беларусь

Журавлёв В.И. – канд.техн.наук,  
заведующий кафедрой ТОЭ БГУИР

**Аннотация.** Рассмотрены принципы построения термоэлектрических моделей электронных компонентов силовых преобразователей. Проведенное моделирование показывает возможность быстрой оценки тепловых потерь при проектировании устройств силовой электроники.

**Ключевые слова:** тепловые потери, термоэлектрическое моделирование, силовая электроника.

## **Введение**

Оценка тепловых потерь в устройствах силовой электроники и преобразовательной техники имеет важное значение для обеспечения их надежной работы и подбора подходящего охлаждения. В настоящее время, в связи с миниатюризацией электронных компонентов, увеличением частот функционирования устройств, возросшим требованиям по энергосбережению следует учитывать не только потери в активных компонентах (диоды, транзисторы, тиристоры), но и пассивных (конденсаторы, катушки индуктивности, трансформаторы и т.п.). В большинстве случаев эти потери приводят к выделению тепла в электронных компонентах и ухудшению их рабочих характеристик. В данной работе рассматривается оценка тепловых потерь путем использования термоэлектрических моделей соответствующих компонентов при динамическом моделировании ключевых схем силовой электроники в программной среде PLECS.

## **Основная часть**

Термоэлектрическую модель электронного компонента можно представить из нескольких составляющих: электрической, тепловой и модели потерь (рисунок 1).

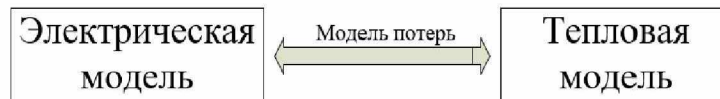


Рисунок 1 – Термоэлектрическая модель

Электрическая модель описывает связь токов и напряжений на элементах. Тепловая модель описывает связь нагрева элементов и выделяемую тепловую мощность в элементах. Модель потерь описывает связь между электрической и тепловой моделью, т.е. связь токов и напряжений и температуры, и тепловой мощности.

Тепловые модели чаще всего представляются двумя способами: с помощью тепловых цепей или численными описаниями. Численные модели, например, использующих метод конечных элементов, имеют более высокую точность, но они более сложны для описания и их расчет занимает большее количество времени [1]. Тепловые цепи, например, в виде схем Кауэра или Фостера, наоборот, имеют пониженную точность, но их расчет занимает мало времени и данные для их расчета приводятся в технической документации электронных компонентов [2]. Поскольку целью работы является оценка тепловых потерь, не требующая высокой точности, в качестве тепловых моделей использовалось описание с помощью тепловых цепей.

Тепловые потери в активных компонентах состоят из потерь проводимости и потерь при переключении. Оба вида потерь задаются с помощью наглядных графиков, встроенных в PLECS, данные для которых берутся из технической документации (рисунок 2).

Потери в конденсаторах связаны с сопротивлением материала обкладок и выводов конденсатора и контактов между его выводами и обкладками, а также потерями в диэлектрике. Потери в конденсаторах оцениваются как потери на резисторе равном эквивалентному последовательному сопротивлению (ESR) (рисунок 3) [3].

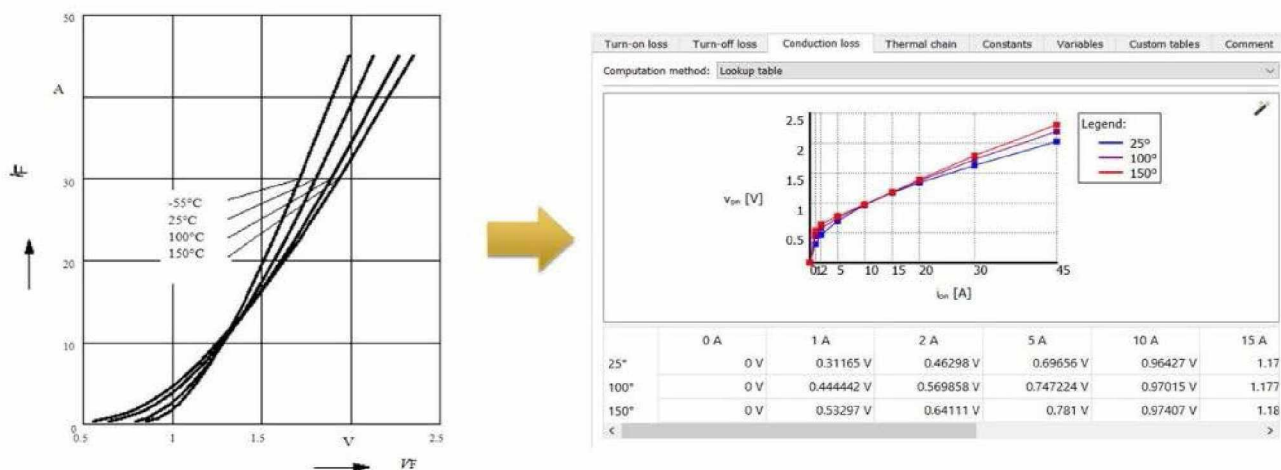


Рисунок 2 – Вольт-амперная характеристика диода для расчета потерь проводимости

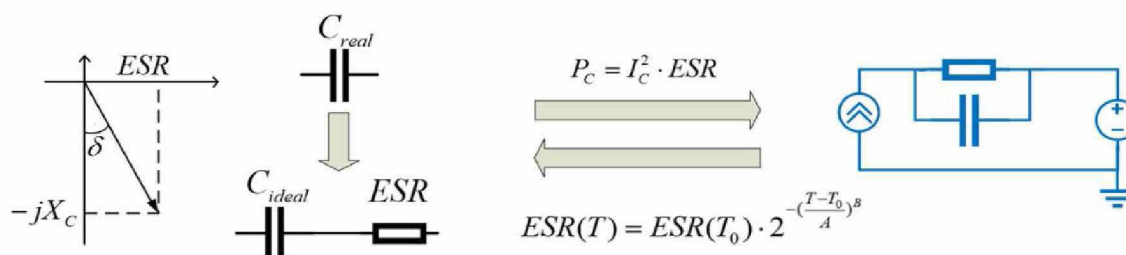


Рисунок 3 – Термoeлектрическая модель конденсатора

Учитываемые потери в индуктивных компонентах состоят из потерь в обмотке и потерь в сердечнике. Потери в обмотке состоят из омических потерь и потерь, возникающих при протекании токов Фуко (рисунок 4) [4].



Рисунок 4 – Потери в индуктивных элементах

Подготовленные термоэлектрические модели использовались в типовой схеме повышающего DC-DC преобразователя (рисунок 5) в программной среде PLECS. В результате получены значения суммарных потерь входящих в общую модель схемы компонентов с учётом статических и динамических составляющих.

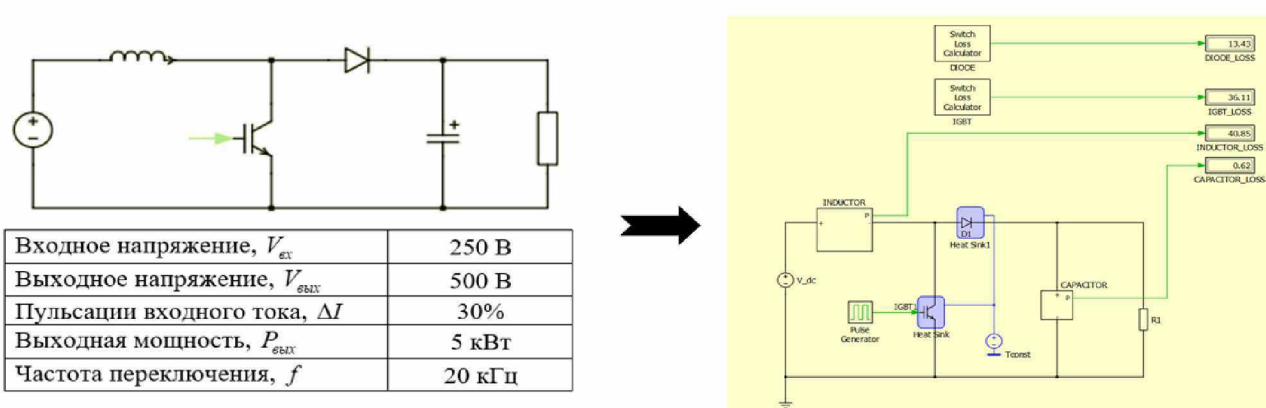


Рисунок 5 – Преобразование исходной схемы в схему для моделирования тепловых потерь

### Заключение

Проведенное моделирование на основе термоэлектрических моделей активных и пассивных типовых электронных компонентов позволяет быстро оценить тепловые потери схемы в целом. Это позволяет учитывать рассеиваемую тепловую мощность при разработке устройств силовой электроники и для дальнейшего моделирования тепловых полей на уровне конструкций.

### Список использованных источников:

1. Быков, Л.В. Основы вычислительного теплообмена и гидродинамики / Л.В. Быков, А.М. Молчанов, Д.С. Янышев – Либроком, 2018. – 170 с.
2. BojiŤĂ, L. Dobre, M. Purcar and A. Avram, Comprehensive temperature characterization of a thermal system using distributed RC networks // 10th IEEE International Conference on Modern Power Systems (MPS), Cluj-Napoca Romania, 2023. – 4 p.
3. EDN [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.edn.com/determining-end-of-life-esr-and-lifetime-calculations-for-electrolytic-capacitors-at-higher-temperatures/>. – Дата доступа: 15.04.2024.
4. Valchev, V.C., & Van den Bossche, A.. Inductors and Transformers for Power Electronics. – 2005, CRC Press. – 478 p.