

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНЗИСТОРНОГО КЛЮЧА ИМПУЛЬСНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

А.С. Мартьянов

При разработке и исследовании различных высокоэффективных энергосберегающих решений часто встречается задача моделирования процессов, происходящих в импульсных транзисторных преобразователях электрической энергии. Важным элементом, влияющим на общую эффективность такого устройства, является силовой транзистор, работающий в ключевом режиме, причем такие параметры, как коммутационные потери, являются предметом исследования для эффективности всего устройства в целом. Статья описывает исследования влияния величины тока затвора и напряжения коммутации силового транзистора на эффективность работы ключа.

Ключевые слова: MATLAB, Simulink, импульсный преобразователь, имитационное моделирование, системы управления.

В задачах исследования алгоритмов заряда, разряда и переноса заряда аккумуляторных батарей часто бывает необходимо исследовать модель электронного преобразователя и процессов, происходящих в нем, т.к. режимы работы преобразователя будут влиять на эффективность работы зарядного устройства и КПД всей системы заряда аккумуляторных батарей [1].

Для анализа работы электронного преобразователя [2] было принято:

- КПД преобразователя будет складываться из КПД каждого узла, в котором происходит преобразование электрической энергии;
- основной частью преобразователя является электронный ключ, выполненный на биполярном транзисторе с изолированным затвором (БТИЗ либо IGBT);
- эффективность работы ключа определяется потерями, происходящими в этом ключе;
- потери в ключе складываются из потерь на коммутацию и потерь на проводимость.

Для исследования работы транзисторного ключа в среде MATLAB/Simulink [3] была разработана компьютерная модель тестовой установки, рис. 1.

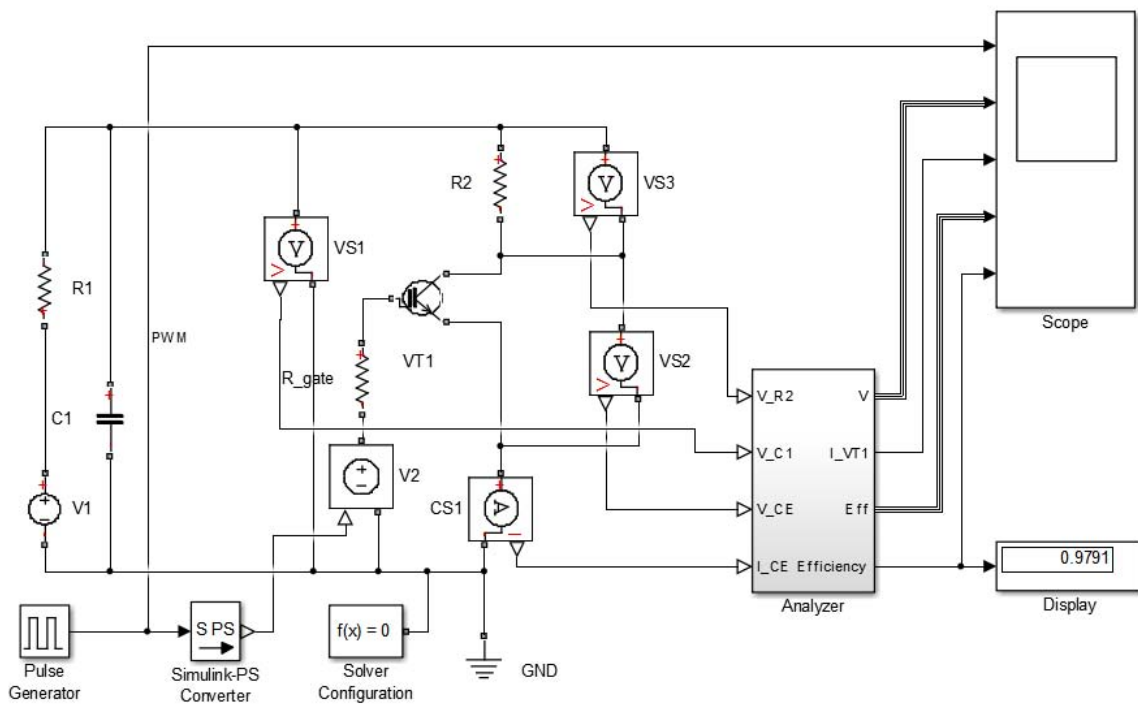


Рис. 1. Блок-схема модели в MATLAB/Simulink

Модель состоит из следующих элементов:

- V1 – источник постоянного напряжения;
- V2 – источник импульсов для управления транзистором;
- VS1... VS3 – датчики напряжений в соответствующих местах схемы
- CS1 – датчик тока;
- C1 – фильтрующий конденсатор на входе преобразователя;
- VT1 – исследуемый транзистор;
- R1 – внутреннее сопротивление источника электрической энергии;
- R_gate – резистор, ограничивающий ток затвора;

- R2 – сопротивление нагрузки;
 - Pulse Generator – генератор импульсов для источника V2;
 - Analyzer – блок согласования измеряемых сигналов и расчета мощностей;
 - Scope – осциллограф для просмотра сигналов;
 - Display – цифровой индикатор измеряемой величины;
- Блока-схема модуля Analyzer представлена на рисунке 2.

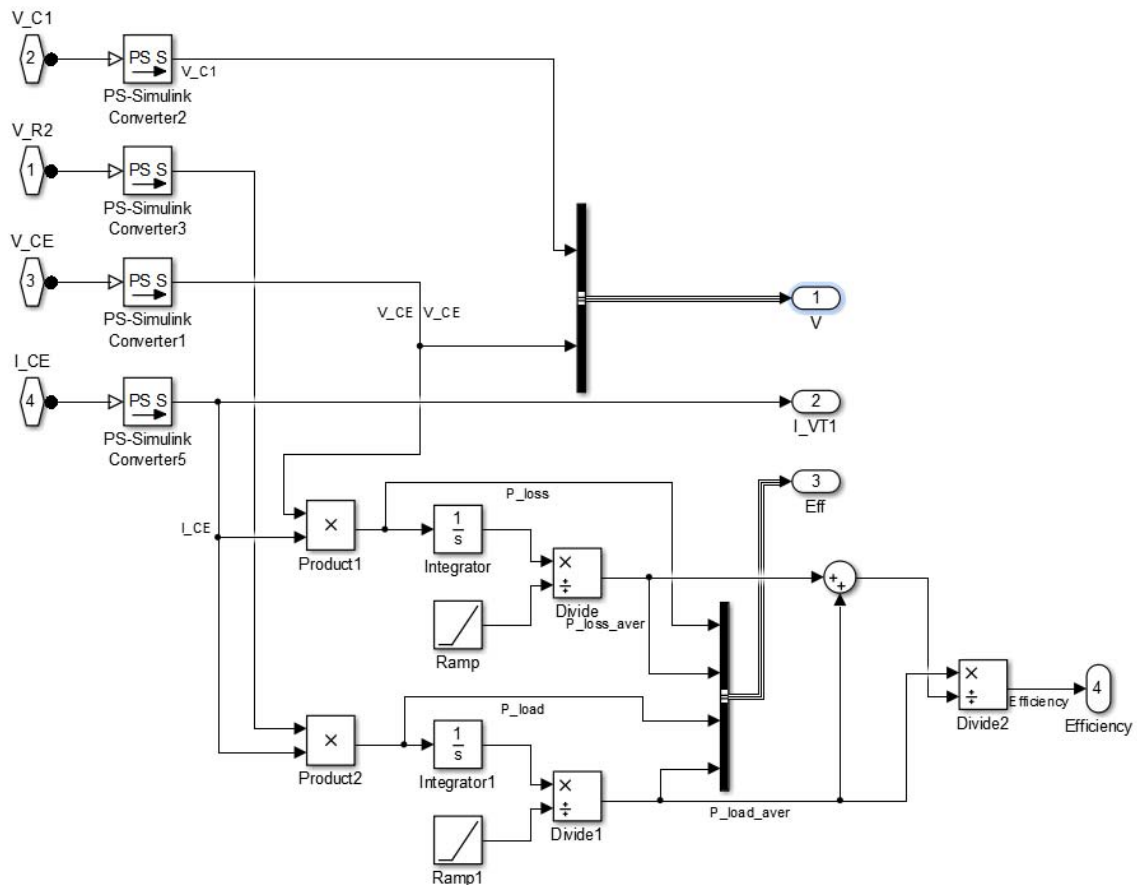


Рис. 2. Блока-схема модуля Analyzer

Блок содержит преобразователи физических сигналов в математические величины и элементы расчета измеряемых мощностей.

Мгновенные значения мощностей получаются перемножением соответствующих токов и напряжений, а интегральные параметры определяются отношением интеграла измеряемой величины к длительности измерения.

Параметры численного эксперимента:

$$V1 = 600 \text{ В};$$

$$R1 = 0,1 \text{ Ом};$$

$$C1 = 470 \text{ мкФ};$$

$$R_{\text{gate}} = 22 \text{ Ом};$$

$$R2 = 100 \text{ Ом};$$

Частота преобразователя – 20 кГц;

Коэффициент заполнения – 50 %;

Результаты численного эксперимента представлены на рисунках 3–7.

Среднее значение КПД преобразователя за указанный период времени составил 0,9348 при полезной мощности 36 кВт.

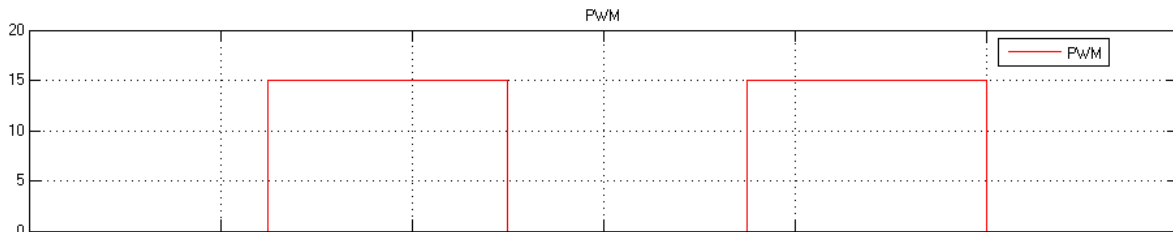


Рис. 3. Управляющая последовательность импульсов

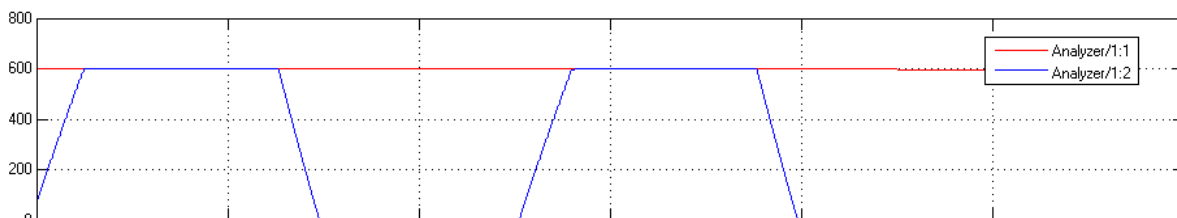


Рис. 4. Напряжение на входе преобразователя (1)
и напряжение коллектор-эмиттер транзистора VT1 (2)

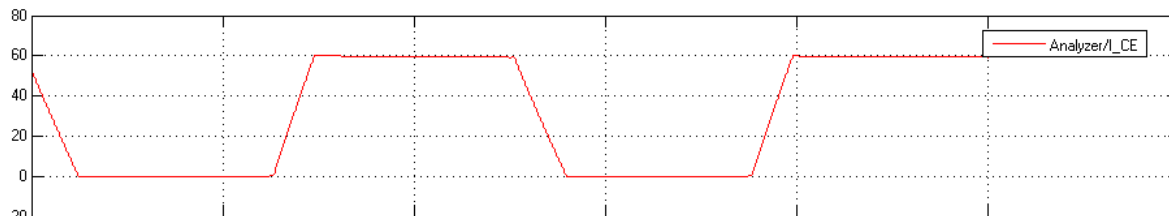


Рис. 5. Ток коллектора транзистора VT1

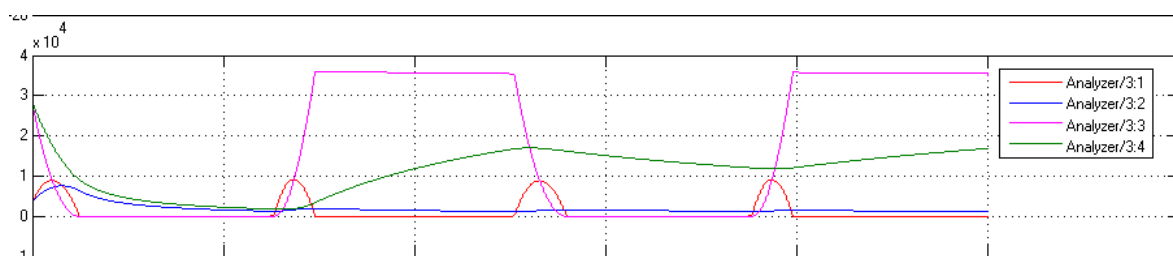


Рис. 6. Мгновенная (1) и средняя (2) мощность потерь
в транзисторе VT1, а также мгновенная (3) и средняя (4)
полезные мощности, измеренные на резисторе R2

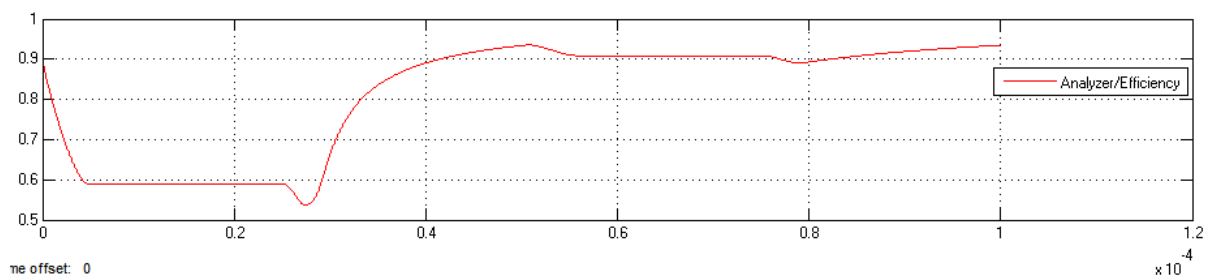


Рис. 7. График КПД преобразователя на протяжении двух периодов коммутации

Анализируя графики видно, что при указанных параметрах силовой транзистор не успевает переключать ток нагрузки, что ведет к увеличению доли коммутационных потерь. Одним из способов уменьшения коммутационных потерь является увеличение тока заряда затвора ключевого транзистора. Уменьшив сопротивление R_{gate} до 10 Ом, можно существенно сократить время заряда затвора. Результаты численного эксперимента при значении $R_{gate} = 10$ Ом представлены на рисунках 8–10:

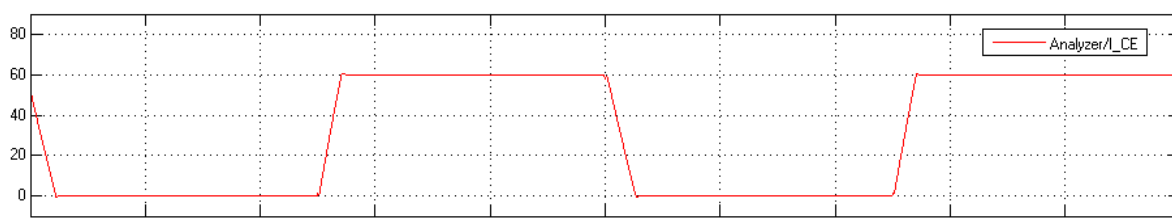


Рис. 8. Ток коллектора транзистора VT1 при $R_{gate} = 10$ Ом

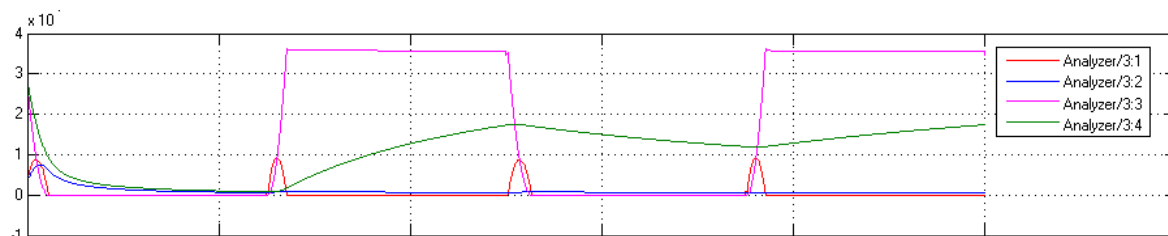


Рис. 9. Мгновенная (1) и средняя (2) мощность потерь в транзисторе VT1, а также мгновенная (3) и средняя (4) полезные мощности, измеренные на резисторе R2 при $R_{gate} = 10$ Ом

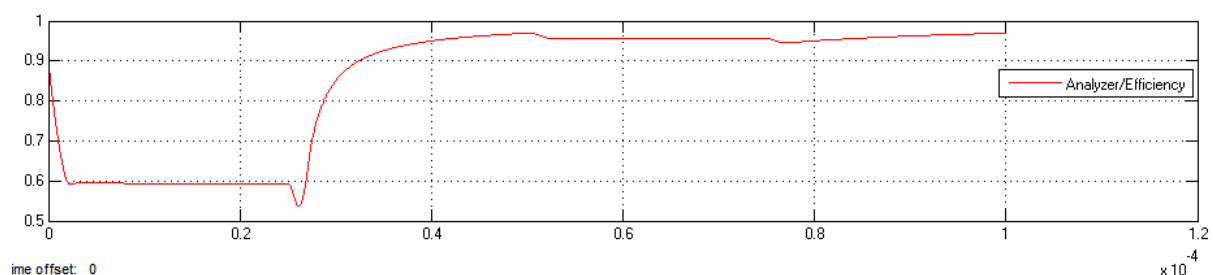


Рис. 10. График КПД преобразователя на протяжении двух периодов коммутации при $R_{gate} = 10$ Ом

Среднее значение КПД преобразователя за указанный период времени составил 0,9696 при полезной мощности 36 кВт.

Дальнейшее уменьшение сопротивления R_{gate} до 5 Ом, позволяет еще больше сократить время заряда затвора. Результаты численного эксперимента при значении $R_{gate} = 5$ Ом представлены на рисунках 11–13.

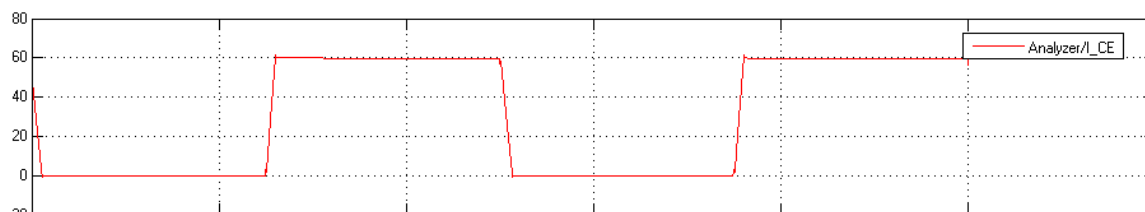


Рис. 11. Ток коллектора транзистора VT1 при $R_{gate} = 5$ Ом

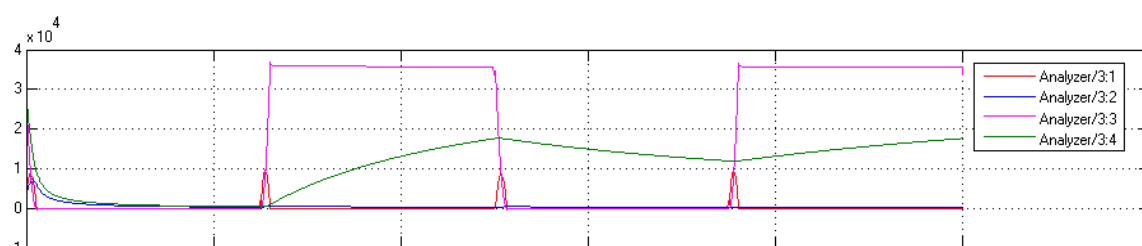


Рис. 12. Мгновенная (1) и средняя (2) мощность потерь в транзисторе VT1, а также мгновенная (3) и средняя (4) полезные мощности, измеренные на резисторе R2 при $R_{gate} = 5$ Ом

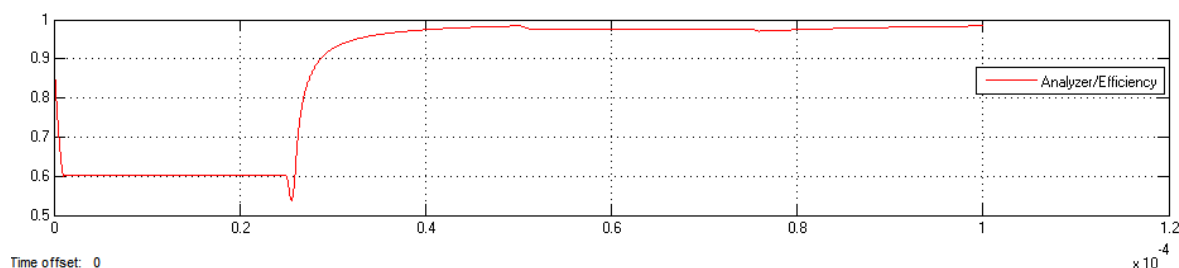


Рис. 13. График КПД преобразователя на протяжении двух периодов коммутации при $R_{gate} = 5$ Ом

Среднее значение КПД преобразователя за указанный период времени составил 0,9842 при полезной мощности 36 кВт.

Дальнейшее снижение сопротивления в цепи затвора ключевого транзистора приводит к превышению тока заряда более 3 А, что создает сложности в практической реализации драйвера ключа.

Следующим этапом исследования является изучение влияния напряжения питающей сети на КПД преобразователя.

Изменим напряжение питания источника V1 до 400 В, уменьшив сопротивление R2 до 4,4 Ом для обеспечения той же полезной мощности на выходе преобразователя. Результаты численного эксперимента представлены на рисунках 14–17.

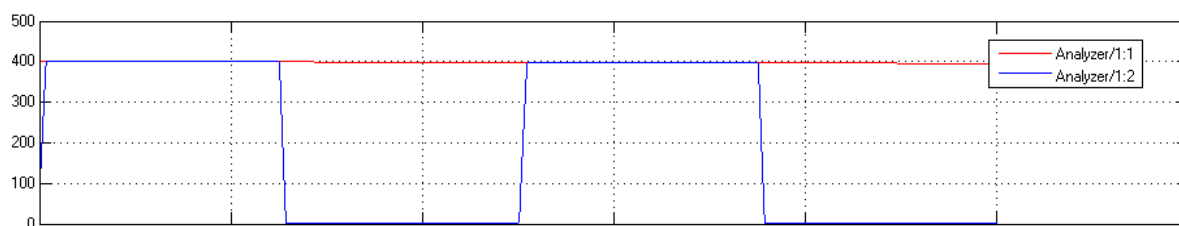


Рис. 14. Напряжение на входе преобразователя

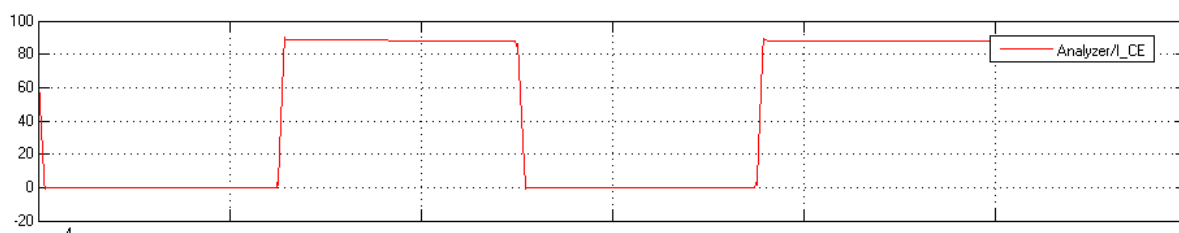


Рис. 15. Ток коллектора транзистора VT1

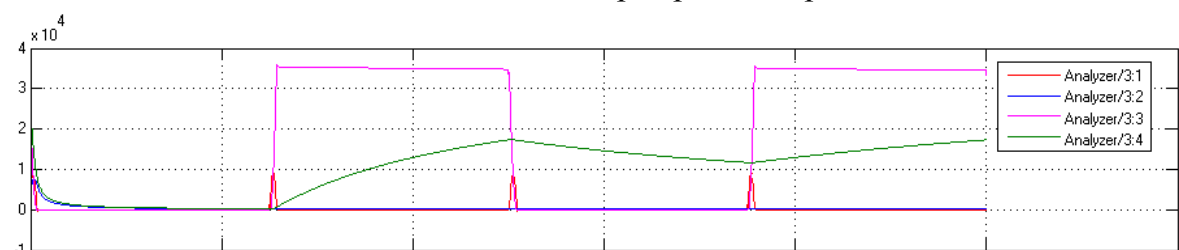


Рис. 16. Мгновенная (1) и средняя (2) мощность потерь в транзисторе VT1, а также мгновенная (3) и средняя (4) полезные мощности, измеренные на резисторе R2

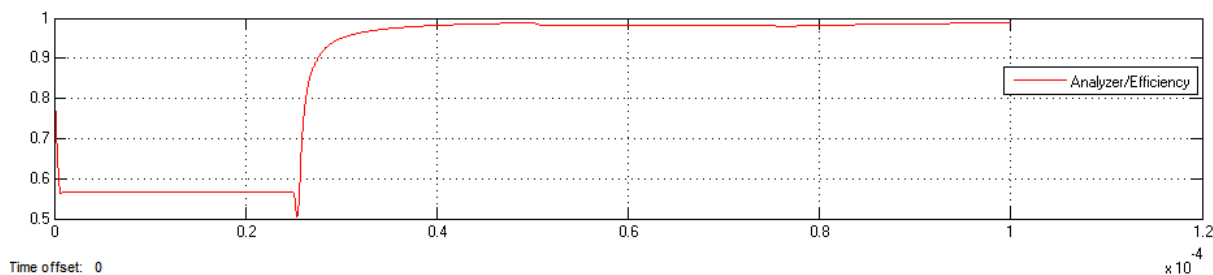


Рис. 17. График КПД преобразователя на протяжении двух периодов коммутации

Результат моделирования показал, что среднее значение КПД преобразователя за указанный период времени составил 0,9884 при полезной мощности 36 кВт.

Результаты проведенных экспериментов демонстрируют, что изменение напряжения питания электрического преобразователя зарядного устройства приводит к изменению потерь в силовом транзисторе (уменьшаются коммутационные потери, но увеличиваются потери на проводимость) [4]. Это свидетельствует о том, в различных режимах работы преобразова-

теля КПД системы будет различным, и это надо учитывать при расчете элементов электрической схемы зарядного устройства [5].

Работа выполнялась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках комплексного проекта «Создание производства модельного ряда микротурбинных энергоустановок нового поколения» по договору № 02.G25.31.0078 от 23.05.2013 г. между Министерством образования и науки Российской Федерации и Открытым акционерным обществом «Специальное конструкторское бюро «Турбина» в кооперации с головным исполнителем НИОКТР – Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего профессионального образования «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет).

Библиографический список

1. Мартьянов, А.С. Регулирование мощности в ветроэнергетической установке / А.С. Мартьянов // Научный поиск: материалы третьей научной конференции аспирантов и докторантов. Технические науки. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2011. – Т. 2. – С. 206–209.
2. Мартьянов, А.С. Контроллер заряда ветроэнергетической установки / А.С. Мартьянов, Е.В. Соломин // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология». – 2010. – № 1(81). – С. 106–109.
3. Дьяконов, В.П. VisSim + Mathcad + MATLAB. Визуальное математическое моделирование / В.П. Дьяконов. – М.: СОЛОН-Пресс, 2004. – 384 с.
4. Мартьянов, А.С. Разработка математической модели ветроэнергетической установки мощностью 3 кВт производства ООО «ГРЦ-Вертикаль в пакете Matlab / А.С. Мартьянов, Н.В. Пронин, Е.В. Соломин // Альтернативная энергетика и экология. – М.: НИИЭС, 2011 – № 5. – С. 41–44.
5. Мартьянов, А.С. Моделирование генератора ветроэнергетической установки / А.С. Мартьянов, И.М. Кирпичникова, Е.В. Соломин // Электротехника. – 2013. – Вып. 10. – С. 46–49.

[К содержанию](#)