

Telemedicine has gained traction, especially during the COVID-19 pandemic, enabling remote patient management. By leveraging mobile cloud support and 5G connectivity, this model can be applied to capsule robots, enhancing access to diagnostic and therapeutic services, particularly in underserved regions.

Finally, expanding the therapeutic functions of capsule robots is imperative. Currently, they are primarily used for diagnostics and limited therapeutic applications, such as biopsies and drug delivery. Integrating capabilities for endoscopic mucosal resection (EMR) and endoscopic submucosal resection (ESD) into capsule designs could significantly enhance their clinical utility. The potential of medical micro/nanorobots in various therapeutic roles suggests a future where larger WCE robots serve as “warships” while micro/nanorobots act as “soldiers”, performing intricate tissue manipulation tasks, thereby exploring previously inaccessible areas of the gastrointestinal tract.

Fig. 1 was created with BioRender.com under a Creative Commons license, with some elements designed by brgfx – Freepik.com [1].

Wireless capsule endoscopy marks a transformative approach in gastrointestinal diagnostics, with ongoing advancements that promise to enhance its capabilities and integration into clinical practice. Addressing technical challenges and expanding therapeutic functions will be crucial for realizing the full potential of this promising technology.

References

1. Q. Cao, R. Deng, Y. Pan [et al.]. Robotic wireless capsule endoscopy: recent advances and upcoming technologies. Nat Commun. – 2024. – N 15. – P. 4597. – URL: <https://doi.org/10.1038/s41467-024-49019-0> (data of access: 11.10.2025).

РЕЗОНАНС-ТРАНСФОРМАТОРЫ

Е. А. Боровикова, В. А. Горст, Д. В. Комнатный

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Республика Беларусь*

Рассмотрены методы расчета резонансных трансформаторов непрерывного и импульсного действия. На основе методов контурных токов, кусочно-линейной аппроксимации и операторного метода получены аналитические выражения для ключевых параметров. Результаты применимы в импульсной энергетике, медицинской диагностике и лазерных технологиях.

Ключевые слова: резонансные трансформаторы, трансформаторы Тесла, метод контурных токов, кусочно-линейная аппроксимация, операторный метод, импульсная энергетика.

RESONANCE TRANSFORMERS

E. A. Borovikova, V. A. Gorst, D. V. Komnatny

Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus

The report discusses methods for calculating resonant transformers of continuous and pulsed action. Analytical expressions for key parameters are obtained based on the methods of contour currents, piecewise linear approximation and the operator method. The results are applicable in pulse energy, medical diagnostics and laser technologies.

Keywords: resonant transformers, Tesla transformers, contour current method, piecewise linear approximation, operator method, pulse power engineering.

Резонансные трансформаторы находят широкое применение в различных отраслях науки и промышленности. В частности, эти трансформаторы используются для питания мощных рентгеновских установок и ускорителей частиц в научных исследованиях, являются основой генераторов электронных пучков и источников радиоизлучения, применяемых в радиолокации и системах радиоэлектронной борьбы. Кроме того, они нашли свое применение в лазерной технике, медицинской диагностике, включая методы газоразрядной визуализации, и в технологических процессах производства интегральных микросхем.

Несмотря на столь широкую распространенность и актуальность, работа резонансных трансформаторов остается недостаточно изученной. Данная работа направлена на устранение этого пробела путем разработки теоретически обоснованных методов анализа процессов в нагрузке для двух основных типов резонансных трансформаторов: непрерывного и импульсного действия (известных как трансформаторы Тесла).

Резонансные трансформаторы непрерывного действия. Принцип работы резонансных трансформаторов непрерывного действия основан на использовании резонансных явлений для передачи энергии от первичного контура ко вторичному с минимальными потерями. Конструктивно такой трансформатор включает две магнитно-связанные катушки индуктивности. При протекании переменного тока через первичную обмотку создается переменное магнитное поле, которое индуцирует ток во вторичной обмотке. Когда система работает на резонансной частоте, происходит максимально эффективная передача энергии.

Для расчета процессов в трансформаторе в работе применяется классический метод контурных токов, позволяющий составить систему уравнений для схемы замещения трансформатора.

Исследование показало, что режим сложного резонанса является наиболее предпочтительным, так как он обеспечивает достижение абсолютного максимума как вторичного тока, так и напряжения на нагрузке. Для этого режима получено окончательное аналитическое выражение для действующего значения напряжения на конденсаторе:

$$U_{c2\max\min} = \frac{1}{\omega C} \cdot \frac{E}{Z\sqrt{R_1 R_2}}.$$

Данная формула позволяет целенаправленно рассчитывать и оптимизировать параметры трансформатора для достижения требуемых выходных характеристик [1].

Резонансные трансформаторы импульсного действия (трансформаторы Тесла). Трансформаторы импульсного питания, или трансформаторы Тесла, кардинально отличаются по принципу работы. Типовая схема такого устройства включает высоковольтный трансформатор, зарядный контур с диодом и накопительным конденсатором, разрядник и импульсный трансформатор с нагрузкой.

Главной сложностью анализа таких систем является наличие нелинейных элементов – диода и разрядника. Для учета их свойств в работе был применен метод кусочно-линейной аппроксимации вольт-амперных характеристик нелинейных элементов. Работа схемы была разделена на два этапа. На этапе заряда, когда диод открыт, а разрядник закрыт, конденсатор C_1 заряжается от синусоидального источника питания. Для описания этого переходного процесса были выведены уравнения для тока и напряжения. Момент, когда напряжение на конденсаторе максимальное

(ток через диод падает до нуля), находится графическим или численным методом как решение трансцендентного уравнения.

На этапе разряда, когда разрядник срабатывает, энергия, запасенная в конденсаторе, передается в нагрузку через импульсный трансформатор. Для анализа составлена система уравнений в операторной форме и получено изображение для тока вторичного контура. С помощью теоремы разложения (Хэвисайда) был найден оригинал этого тока, а затем путем интегрирования – выражение для напряжения на емкостной нагрузке [2]. Анализ показывает, что процесс разряда имеет колебательный характер, а форма импульса напряжения существенно зависит от параметров цепи связи и добротности контуров. Полученные аналитические выражения позволяют моделировать форму выходного импульса и оптимизировать ее под конкретные практические задачи.

Проведенное исследование демонстрирует, что расчет ключевых параметров резонансных трансформаторов, как непрерывного, так и импульсного действия, может быть успешно выполнен на основе классических методов теории цепей.

Разработанные методы расчета могут быть непосредственно использованы при проектировании и создании современных устройств в критически важных областях, указанных выше.

Таким образом, представленные результаты имеют конкретное прикладное значение, открывая пути для создания более эффективных и оптимизированных устройств импульсной энергетики.

Л и т е р а т у р а

1. Атабеков, Г. И. Основы теории цепей: учеб. для вузов / Г. И. Атабеков. – М. : Энергия, 1969. – 424 с.
2. Конторович, М. И. Операционное исчисление и процессы в электрических цепях : учеб. пособие для электротехн. и радиотехн. специальностей вузов / М. И. Конторович. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Сов. радио, 1975. – 319 с.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО НАСОСА НА ОСНОВЕ ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ: МОДЕРНИЗАЦИЯ И ОПТИМИЗАЦИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Ли Мосянь, В. В. Брель

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Республика Беларусь*

Колледж электротехники

*Шаньдунский технологический университет Хуаюй, г. Дэчжоу,
Китайская Народная Республика*

Представлено применение трехмерного моделирования и моделирования методом конечных элементов для проектирования пьезоэлектрического насоса. Посредством моделирования и модального анализа пьезоэлектрического насоса выполняется корректировка структурных параметров ключевых компонентов, что позволяет достичь снижения затрат и повышения производительности насоса.

Ключевые слова: трехмерное моделирование, МКЭ, интеллектуальное оборудование, модальный анализ, пьезоэлектрический насос.