

ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНЫХ КОНТУРАХ

Мухаммадиев Бахтияр Сапарович

и.о.доцента кафедры “Метрология и стандартизация”

Джизакского политехнического института,

Филиал КФУ в г.Джизаке, кафедра Точных наук и ИТ

(e-mail: muhammadievbaxtiyr@gmail.com)

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20554641>

Аннотация. В статье рассмотрены особенности накопления электрической энергии в высокочастотных автоколебательных контурах. Проанализированы основные параметры, влияющие на эффективность накопления энергии, включая добротность контура, частоту колебаний, коэффициент обратной связи и активные потери. Представлены математические модели, графические зависимости и сравнительный анализ эффективности различных режимов работы автоколебательных систем. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании высокочастотных преобразователей энергии, генераторов и накопительных устройств.

Ключевые слова: автоколебательный контур, накопление энергии, высокочастотные колебания, добротность, резонанс, эффективность, электрическая энергия, LC-контур.

FEATURES OF ELECTRICAL ENERGY ACCUMULATION IN HIGH-FREQUENCY SELF-OSCILLATING CIRCUITS

Mukhammadiev Bakhtiyar Saparovich

Acting Associate Professor of the Department of Metrology and Standardization,

Jizzakh Polytechnic Institute,

Branch of Kazan Federal University in Jizzakh, Department of Exact Sciences and

Information Technologies (e-mail: muhammadievbaxtiyr@gmail.com)

Annotation. This paper examines the features of electrical energy accumulation in high-frequency self-oscillating circuits. The main parameters affecting energy accumulation efficiency are analyzed, including the circuit quality factor, oscillation frequency, feedback coefficient, and active power losses. Mathematical models, graphical relationships, and a comparative analysis of the efficiency of various operating modes of self-oscillating systems are presented. The obtained results can be applied in the design of high-frequency energy converters, generators, and energy storage devices.

Keywords: self-oscillating circuit, energy accumulation, high-frequency oscillations, quality factor, resonance, efficiency, electrical energy, LC circuit.

Введение. Современные системы накопления и преобразования энергии широко применяются в радиоэлектронике, телекоммуникациях, системах беспроводной передачи энергии и импульсной энергетике. Особый интерес представляют высокочастотные автоколебательные контуры, обладающие

способностью аккумулировать значительные объемы электромагнитной энергии при сравнительно небольших размерах элементов.

Автоколебательный контур представляет собой систему, в которой энергия внешнего источника непрерывно компенсирует потери, возникающие в процессе колебаний. При выполнении условий самовозбуждения в контуре формируются устойчивые колебания, обеспечивающие накопление энергии в электрическом и магнитном полях.

Цель исследования. Исследование особенностей накопления электрической энергии в высокочастотных автоколебательных контурах и определение факторов, оказывающих наибольшее влияние на эффективность энергетических процессов.

Материалы и методы. В работе использованы методы теоретического анализа колебательных систем, математического моделирования и сравнительного анализа параметров высокочастотных контуров.

Основой исследования является классический LC-контур.

Автоколебательный LC-контур — это электрическая схема, в которой незатухающие колебания возникают и поддерживаются за счет источника питания и активного элемента (транзистора, операционного усилителя, лампы и т.д.). В отличие от обычного LC-контура, где колебания постепенно затухают из-за потерь энергии, в автоколебательном контуре эти потери непрерывно компенсируются (рис.1).

Основными элементами являются:

- Индуктивность L;
- Конденсатор C;
- Активный элемент усиления;
- Источник питания.

Принцип работы.

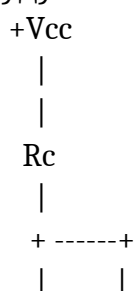
В конденсаторе энергия накапливается в виде электрического поля:

$$W_c = \frac{CU^2}{2}$$

В катушке индуктивности энергия накапливается в магнитном поле:

$$W_L = \frac{LI^2}{2}$$

Энергия периодически переходит от конденсатора к катушке и обратно. Активный элемент компенсирует потери, поддерживая постоянную амплитуду колебаний.



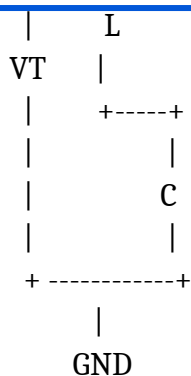


Рис.1 Схема автоколебательного LC-контура.

Обозначения:

- VT — транзистор;
- L — катушка индуктивности;
- C — конденсатор;
- Rc — резистор питания;
- Vcc — источник постоянного напряжения.

Такая схема представляет собой простейший LC-генератор.

Резонансная частота определяется выражением:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

где:

L — индуктивность, Гн;

C — емкость, Ф.

Полная энергия контура:

$$W = W_C + W_L$$

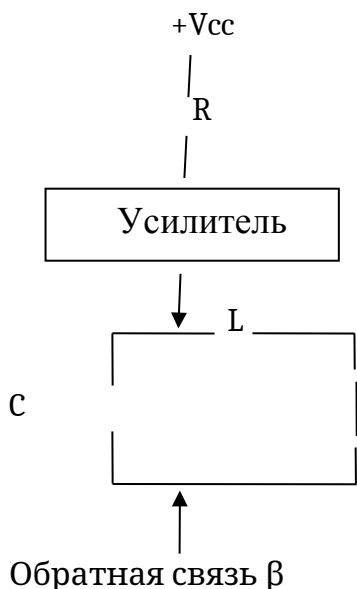


Рис.2. Структурная схема высокочастотного автоколебательного контура

Анализ процессов накопления энергии. В автоколебательном контуре энергия непрерывно переходит между электрическим полем конденсатора и магнитным полем катушки.

Процесс можно описать следующим образом:

1. Заряд конденсатора.
2. Передача энергии катушке индуктивности.
3. Возврат энергии обратно в конденсатор.
4. Компенсация потерь усилителем через положительную обратную связь.

При высокой добротности потери минимальны, а накопленная энергия достигает максимальных значений.

Расчетный пример. Пусть параметры контура составляют:

$$L=10 \text{ мкГн}; C=100 \text{ пФ}; R=0,5 \text{ Ом}; U=100 \text{ В.}$$

Тогда:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{10 \cdot 10^{-6} \cdot 100 \cdot 10^{-12}}}$$

$$f_0 \approx 5,03 \text{ МГц}$$

Энергия конденсатора:

$$W_c = \frac{100 \cdot 10^{-12} \cdot 100^2}{2}$$

$$W_c = 5 \text{ Дж}$$

Важным параметром является добротность Q:

$$Q = \frac{\omega L}{R}$$

где: R — активное сопротивление потерь;

Q — добротность контура.

Чем выше добротность, тем меньше потери энергии и выше эффективность накопления энергии (табл.1).

Таблица 1.

Влияние добротности на эффективность накопления энергии

Добротность Q	КПД η (%)	Относительная энергия
20	72	1.0
40	83	1.8
60	89	2.5
80	93	3.2
100	96	4.0

Из таблицы видно, что увеличение добротности существенно повышает эффективность накопления энергии.

С ростом добротности уменьшаются потери энергии в активных элементах контура. Полученные результаты (рис.2) показывают, что наибольшая эффективность накопления энергии наблюдается в контурах с высокой добротностью и малыми активными потерями.

Относительная энергия в высокочастотном автоколебательном контуре.

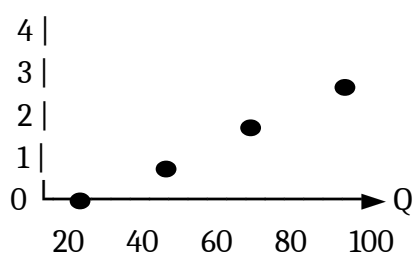


Рис. 2. Рост накопленной энергии при увеличении добротности контура.

Распределения потерь энергии. Для типичного высокочастотного контура распределение потерь может быть представлено следующим образом:

Источник потерь	Доля, %
Активное сопротивление	45
Потери в сердечнике	20
Излучение	15
Диэлектрические потери	12
Прочие	8

Результаты исследования. Проведенный анализ показал:

1. Эффективность накопления энергии существенно зависит от добротности контура.
2. Увеличение частоты позволяет повысить плотность запасаемой энергии.
3. Основными ограничивающими факторами являются активные потери и электромагнитное излучение.
4. Использование высококачественных конденсаторов и катушек индуктивности обеспечивает рост КПД на 15–30 %.
5. Автоматическая компенсация потерь посредством положительной обратной связи поддерживает высокий уровень энергии в контуре.

Выводы.

1. Высокочастотные автоколебательные контуры являются эффективными накопителями электрической энергии.
2. Основным параметром, определяющим эффективность накопления, является добротность контура.
3. Повышение частоты и снижение потерь позволяют существенно увеличить запасаемую энергию.
4. Разработанная модель подтверждает возможность применения высокочастотных автоколебательных систем в устройствах беспроводной передачи энергии, генераторах и импульсных энергетических установках.
5. Полученные результаты могут использоваться при проектировании энергоэффективных резонансных систем.

Заключение. В высокочастотных автоколебательных системах накопление энергии происходит благодаря непрерывному обмену между электрическим полем конденсатора и магнитным полем катушки

индуктивности. При выполнении условия баланса энергии система достигает устойчивого режима генерации.

Особое значение имеет выбор параметров обратной связи. Недостаточная обратная связь приводит к затуханию колебаний, тогда как чрезмерная вызывает нелинейные искажения и снижение энергетической эффективности.

Для повышения эффективности рекомендуется:

- использовать контуры с высокой добротностью;
- уменьшать активное сопротивление проводников;
- применять конденсаторы с малыми диэлектрическими потерями;
- использовать экранирование для уменьшения излучательных потерь; оптимизировать коэффициент обратной связи.

Adabiyotlar, References, Литературы:

1. Демирчян К.С., Нейман Л.Р. Теоретические основы электротехники. – СПб.: Питер, 2021. – 576 с.
2. Рустамов Н. Т., Мухаммадиев Б. С. НАКОПЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ И ЕЁ ХРАНЕНИЕ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ // Экономика и социум. – 2026. – №. 1-2 (140). – С. 570-576.
3. Mukhammadiev B.S. ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF ELECTRICAL ENERGY ACCUMULATION IN A SELF-OSCILLATING CIRCUIT. (2026). Journal of Multidisciplinary Sciences and Innovations, 5(5), 2082-2086.
4. Saparovich M. B. APPLICATION OF A TRANSFORMER CONVERTER WITH A DISCRETE OUTPUT IN AN AUTOMATIC CONTROL SYSTEM // Academic Research Journal. – 2023. – Т. 2. – №. 1. – С. 150155.
5. Мухаммадиев Б.С. ДЕЙСТВИЯ МАГНИТОУПРУГИХ И МАГНИТОАНИЗОТРОПНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ С УЛУЧШЕННЫМИ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ // Conference Zone. – 2022. – С. 139-144.
6. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. – М.: Юрайт, 2022. – 701 с.
7. Мухаммадиев Б.С. Накладные магнитоупругие преобразователи механических напряжений в системах автоматического управления // CANADA, International scientific-online conference: “INNOVATIVE DEVELOPMENTS AND RESEARCH IN EDUCATION” PART.-2022.-Т. – 2022.
8. Saparovich M. B., QO'LLANILADIGAN A. K. M. I. S. O'ZGARTKICHLARNING ASOSIY XUSUSIYATLARI VA ISHLASH TAMOYILLARI // INNOVATION IN THE MODERN EDUCATION SYSTEM. – 2024. – Т. 5. – С. 47.
9. Saparovich M.B., Akbarovna K. M. O'LCHASH ISHLARIDA INTELLEKTUAL DATCHIKLARDAN FOYDALANISHNING AFZALLIKLARI // THE THEORY OF RECENT SCIENTIFIC RESEARCH IN THE FIELD OF PEDAGOGY. – 2024. – Т. 3. – №. 28. – С. 48.
10. Мухаммадиев Б.С. ВИДЫ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ МЕХАНИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН // Journal of new century innovations. – 2024. – Т. 53. – №. 4. – С. 1823.