

# ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Издание третье, переработанное и дополненное

Ленинград, ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ Ленинградское отделение 1986

Рецензент Н. Н. Тиходеев

Калантаров П. Л., Цейтлин Л. А. Расчет индуктивностей: Справочная книга. — 3-е изд., перераб. и доп. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1986. —488 с: ил.

Справочное руководство по расчету индуктивностей содержит формулы, таблицы и кривые для расчета собственных и взаимных индуктивностей проводов, контуров и катушек различной формы. Общие формулы и методы расчета иллюстрированы числовыми примерами. Второе издание вышло в 1970 году. Третье издание дополнено материалами, освещающими влияние на индуктивность магнитных и электромагнитных экранов.

Для инженерно-технических и научных работников, занимающихся электромагнитными расчетами.

## **ОГЛАВЛЕНИЕ книги Расчет индуктивностей**

### **ГЛАВА ПЕРВАЯ. Общие основания расчета индуктивностей**

- 1-1. Определения и основные свойства
- 1-2. Расчет индуктивностей по заданной форме, размерам и взаимному расположению контуров
- 1-3. Выражения для индуктивностей сложных контуров. Индуктивности участков
- 1-4. Метод участков
- 1-5. Общая формула для индуктивности линейного провода
- 1-6. Теорема о двух частях и теорема о трех частях
- 1-7. Применение принципа наложения
- 1-8. Средние геометрические, арифметические и квадратичные расстояния
- 1-9. Принцип средних геометрических расстояний
- 1-10. Теорема о четырех прямоугольниках и основанный на ней метод
- 1-11. Вычисление «взаимных» величин для двух прямоугольников методом ряда Тейлора
- 1-12. Численные методы расчета индуктивностей
- 1-13. О расчете индуктивностей сложных систем прямолинейных параллельных проводов
- 1-14. Особенности расчета катушек
- 1-15. О расчете индуктивностей при низкой и высокой частотах
- 1-16. О расчете индуктивностей экранированных проводов, контуров и катушек
- 1-17. Энергетические методы оценки и расчета индуктивностей
- 1-18. Метод полосок
- 1-19. Электростатические аналогии

### **ГЛАВА ВТОРАЯ. Индуктивности прямолинейных и криволинейных проводов**

- 2-1. Общие замечания
- 2-2. Индуктивность прямолинейного провода кругового сечения
- 2-3. Индуктивность полого прямолинейного провода кругового сечения
- 2-4. Индуктивность прямолинейного провода эллиптического сечения
- 2-5. Индуктивность прямолинейного провода квадратного сечения
- 2-6. Индуктивность полого прямолинейного провода квадратного сечения

# ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

---

- 2-7. Индуктивность прямолинейного провода прямоугольного сечения
- 2-8. Индуктивность полого прямолинейного провода прямоугольного сечения
- 2-9. Индуктивность прямолинейного провода произвольного сечения
- 2-10. Индуктивность линейного провода в общем случае
- 2-11. Взаимная индуктивность двух прямолинейных проводов
- 2-12. Взаимная индуктивность некоторых криволинейных и прямолинейных проводов
- 2-13. Взаимная индуктивность линейных проводов в общем случае

## **ГЛАВА ТРЕТЬЯ. Индуктивности систем параллельных проводов**

- 3-1. Общие замечания
- 3-2. Индуктивность однофазного кабеля
- 3-3. Индуктивность однофазной линии с проводами кругового сечения
- 3-4. Индуктивность тонких однофазных шин прямоугольного сечения
- 3-5. Индуктивность однофазных шин прямоугольного сечения
- 3-6. Индуктивность полых однофазных шин квадратного сечения
- 3-7. Индуктивность полых однофазных шин прямоугольного сечения
- 3-8. Индуктивность однофазной линии с проводами эллиптического сечения
- 3-9. Индуктивность однофазной линии с проводами произвольного сечения
- 3-10. Индуктивность многопроводной однофазной линии
- 3-11. Индуктивности сложных систем однофазных шин прямоугольного сечения
- 3-12. Взаимная индуктивность двух параллельных однофазных линий с проводами кругового сечения
- 3-13. Взаимная индуктивность двух параллельных однофазных линий с проводами произвольного сечения
- 3-14. Взаимная индуктивность двух параллельных многопроводных однофазных линий
- 3-15. Индуктивность трехфазной линии
- 3-16. Индуктивность двойной трехфазной линии
- 3-17. Индуктивность трехфазных шин

## **ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ. Индуктивности плоских контуров**

- 4-1. Общие замечания
- 4-2. Индуктивность треугольника
- 4-3. Индуктивность прямоугольника
- 4-4. Индуктивности правильных многоугольников
- 4-5. Индуктивность круга
- 4-6. Индуктивность эллипса
- 4-7. Индуктивность ромба
- 4-8. Индуктивность сектора
- 4-9. Индуктивности контуров со взаимно перпендикулярными сторонами
- 4-10. Общая формула для индуктивностей плоских контуров
- 4-11. Взаимная индуктивность двух лежащих в одной плоскости прямоугольников
- 4-12. Взаимная индуктивность двух лежащих в одной плоскости контуров со взаимно перпендикулярными сторонами
- 4-13. Взаимная индуктивность двух коаксиальных прямоугольников с параллельными сторонами
- 4-14. Взаимные индуктивности правильных коаксиальных многоугольников
- 4-15. Особые методы расчета индуктивностей плоских контуров

# ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

---

## **ГЛАВА ПЯТАЯ. Индуктивности круговых колец**

- 5-1. Общие замечания
- 5-2. Индуктивность кругового кольца кругового сечения
- 5-3. Индуктивность кругового кольца из полого провода кругового сечения
- 5-4. Индуктивность кругового кольца прямоугольного сечения
- 5-5. Индуктивность кругового кольца сложного прямоугольного сечения
- 5-6. Индуктивность кругового кольца произвольного сечения
- 5-7. Взаимная индуктивность коаксиальных круговых контуров одного радиуса
- 5-8. Взаимная индуктивность коаксиальных круговых контуров с неодинаковыми радиусами
- 5-9. Взаимная индуктивность концентрических круговых контуров
- 5-10. Взаимная индуктивность круговых контуров с параллельными осями
- 5-11. Взаимная индуктивность круговых контуров с пересекающимися осями
- 5-12. Числовой расчет взаимных индуктивностей круговых контуров

## **ГЛАВА ШЕСТАЯ. Собственные индуктивности круговых катушек**

- 6-1. Общие замечания
- 6-2. Индуктивность соленоида
- 6-3. Индуктивность плоской (дисковой) катушки
- 6-4. Индуктивность катушки квадратного сечения
- 6-5. Индуктивность катушки прямоугольного сечения
- 6-6. Индуктивность катушки кругового сечения
- 6-7. Индуктивность катушки сложного прямоугольного сечения
- 6-8. Индуктивность катушки произвольного поперечного сечения
- 6-9. Поправки на изоляцию

## **ГЛАВА СЕДЬМАЯ. Взаимные индуктивности коаксиальных круговых катушек**

- 7-1. Общие замечания
- 7-2. Взаимная индуктивность концентрических соленоидов одинаковой длины
- 7-3. Взаимная индуктивность концентрических соленоидов неодинаковой длины
- 7-4. Взаимная индуктивность соленоидов одинакового диаметра
- 7-5. Взаимная индуктивность коаксиальных соленоидов в общем случае
- 7-6. Взаимная индуктивность соленоида и кругового контура
- 7-7. Взаимная индуктивность одинаковых плоских катушек
- 7-8. Взаимная индуктивность соленоида и концентрической с ним катушки
- 7-9. Взаимная индуктивность катушек квадратного сечения
- 7-10. Взаимная индуктивность концентрических катушек прямоугольного сечения, имеющих одинаковую длину
- 7-11. Взаимная индуктивность катушек прямоугольного сечения с одинаковыми диаметрами
- 7-12. Взаимная индуктивность коаксиальных катушек прямоугольного сечения в общем случае
- 7-13. Взаимная индуктивность катушек сложного прямоугольного сечения
- 7-14. Взаимная индуктивность катушек сложного поперечного сечения

## **ГЛАВА ВОСЬМАЯ. Взаимные индуктивности круговых катушек с несовпадающими осями**

- 8-1. Общие замечания
- 8-2. Взаимная индуктивность соленоидов с параллельными осями

# ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

---

- 8-3. Взаимная индуктивность соленоида и кругового контура с параллельными осями
- 8-4. Взаимная индуктивность плоских катушек с параллельными осями
- 8-5. Взаимная индуктивность одинаковых катушек прямоугольного сечения с параллельными осями
- 8-6. Взаимная индуктивность неодинаковых катушек прямоугольного сечения с параллельными осями
- 8-7. Взаимная индуктивность катушек с параллельными осями при сложной форме поперечного сечения
- 8-8. Взаимная индуктивность концентрических соленоидов
- 8-9. Взаимная индуктивность концентрических плоских катушек
- 8 10. Взаимная индуктивность эксцентрических соленоидов
- 8-11. Взаимная индуктивность соленоида и концентрического с ним кругового контура
- 8-12. Взаимная индуктивность соленоида и эксцентрического с ним кругового контура
- 8-13. Взаимная индуктивность катушек прямоугольного сечения с пересекающимися осями
- 8-14. Взаимная индуктивность катушек с пересекающимися осями при сложной форме поперечного сечения

## **ГЛАВА ДЕВЯТАЯ. Индуктивности катушек специальной формы и назначения**

- 9-1. Общие замечания
- 9-2. Индуктивность квадратного соленоида
- 9-3. Индуктивность прямоугольного соленоида
- 9-4. Индуктивность квадратной плоской катушки
- 9-5. Индуктивность прямоугольной катушки прямоугольного сечения
- 9-6. Индуктивности многоугольных соленоидов
- 9-7. Индуктивности плоских многоугольных катушек
- 9-8. Индуктивности тороидальных катушек
- 9-9. Индуктивности сферической и сфероидальных катушек
- 9-10. Взаимные индуктивности коаксиальных прямоугольных и многоугольных катушек
- 9-11. Взаимные индуктивности тороидальных катушек
- 9-12. Взаимные индуктивности сферических и сфероидальных катушек
- 9-13. Индуктивность рассеяния трансформатора

## **ГЛАВА ДЕСЯТАЯ. Средние геометрические, арифметические и квадратичные расстояния**

- 10-1. Общие замечания
- 10-2. Основные свойства
- 10-3. Средние геометрические расстояния некоторых фигур
- 10-4. Средние арифметические расстояния некоторых фигур
- 10-5. Средние квадратичные расстояния некоторых фигур

## **ГЛАВА ОДИННАДЦАТАЯ. Индуктивности экранированных контуров и катушек**

- 11-1. Общие замечания
- 11-2. Плоский магнитный экран
- 11-3. Плоский электромагнитный экран
- 11-4. Двухсторонний плоский магнитный экран
- 11-5. Двухсторонний плоский электромагнитный экран
- 11-6. Цилиндрический магнитный экран бесконечной длины
- 11-7. Цилиндрический электромагнитный экран бесконечной длины

# ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

---

- 11-8. Цилиндрический магнитный экран конечной длины
- 11-9. Цилиндрический электромагнитный экран конечной длины
- 11-10. Сферический магнитный экран
- 11-11. Сферический электромагнитный экран

- Приложение 1. Некоторые функции, используемые в книге
  - Приложение 2. Интерполирование по таблицам
  - Приложение 3. Численное интегрирование
  - Приложение 4. Полные эллиптические интегралы первого и второго рода
  - Приложение 5. Сферические функции (полиномы Лежандра)
  - Приложение 6. Производные от сферических функций
  - Приложение 7. Функции Бесселя  $J_t(x)$ ,  $Y_t(x)$ ,  $I_t(x)$ ,  $K_t(x)$ ,  $K_i(x)$
  - Приложение 8. Функции Томсона  $ber x$  и  $bei x$  и их производные
  - Приложение 9. Функции Ханкеля  $her x$  и  $he_i x$  и их производные
  - Приложение 10. Интегралы от функций Бесселя
- Список литературы

## ПРЕДИСЛОВИЕ К ТРЕТЬЕМУ ИЗДАНИЮ

Для нового издания материал книги заново пересмотрен, частично изменен и дополнен. В частности, более полно рассмотрены вопросы расчета индуктивностей при весьма высокой частоте, изложены энергетические (вариационные) методы расчета и оценки индуктивностей. Книга дополнена главой, в которой даны формулы и кривые для расчета индуктивностей экранированных проводов, контуров и катушек. В работе над этой главой принял участие А. В. Щукин, разделивший со мной труд по выводу ряда новых формул и выполнивший числовые расчеты для приведенных в ней кривых.

Ряд весьма ценных замечаний по содержанию книги сделал проф. Ю. Я. Иоссель. Рецензирование книги любезно согласился взять на себя чл.-корр. АН СССР Н. Н. Тиходеев, рекомендации которого были учтены мною при окончательной подготовке рукописи к печати. Считаю своим приятным долгом выразить всем указанным лицам искреннюю признательность за оказанную мне помощь.

## ИЗ ПРЕДИСЛОВИЯ К ПЕРВОМУ ИЗДАНИЮ

Собственные и взаимные индуктивности принадлежат к числу основных параметров электрических цепей; и их определение представляет собой одну из важнейших задач, возникающих при расчете цепей и исследовании происходящих в них физических процессов.

Инженеры-электрики встречаются с расчетом индуктивностей при решении многих основных вопросов, относящихся к различным областям электротехники (передача энергии, электрические измерения, электрические печи, техника связи и т. д.). Однако, несмотря на важное прикладное значение этого вопроса, существующие методы расчета индуктивностей и даже готовые расчетные формулы до сих пор недостаточно хорошо известны широким кругам инженеров и научных работников. Основной причиной этого является то обстоятельство, что литература по расчету индуктивностей, состоящая из весьма большого числа статей, опубликованных в различных физических и электротехнических журналах, не

# ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

---

систематизирована, а соответствующая книжная литература крайне бедна и почти не отражает работ советских авторов, исследования которых дали в этой области много нового.

Потребность в издании справочной книги, посвященной расчету индуктивностей, назрела уже давно, а потому инициатива, проявленная в этом вопросе авторами, получила поддержку со стороны издательства.

К сожалению, тяжелая болезнь и последовавшая за ней смерть П. Л. Калантарова прервали нашу совместную работу над книгой, и в дальнейшем мне пришлось продолжать эту работу уже одному. Поэтому ответственность за возможные недочеты книги лежит на мне.

При работе над книгой мы с самого начала отказались от мысли восполнить многочисленные пробелы, существующие в области расчета индуктивностей, а также и от мысли включить в нее все, что когда-либо было сделано в этой области. Из обширного материала, разбросанного по разным литературным источникам, мы стремились отобрать лишь то, что является наиболее ценным для практического использования.

Основной справочный материал книги состоит из расчетных формул, таблиц и кривых, приведенных в гл. 2—11. Пользование этим материалом, как правило, не требует обращения к гл. 1, где изложены общие основания расчета индуктивностей. Эту главу нужно рассматривать как теоретическое дополнение к книге, и к ее содержанию следует обращаться лишь в тех случаях, когда в гл. 2—11 нет готовых формул, таблиц и кривых, дающих возможность непосредственно рассчитать искомую индуктивность.

Для удобства пользования книгой текст и формулы, представляющие ограниченный интерес, а также все числовые примеры набраны петитом.

*Л. Цейтлин*

[Скачать книгу](#) П. Л. Калантаров А. А. Цейтлин. **Расчет индуктивностей**: Справочная книга. Энергоатомиздат. Ленинградское отделение, 1986