



привет, рассмотрим "Ускоритель Томсона" - подпрыгивающий проводящий диск над спиральным индуктором



«Ускоритель Томсона» (или **кольцо Томсона**) — это классическая демонстрация законов электромагнетизма, наглядно показывающая силы отталкивания между наведенными токами. [↗](#)

Как это работает:

1. **Индукция:** Когда через спиральный индуктор (первичную обмотку) проходит переменный ток или резкий импульс, создается быстро меняющееся магнитное поле.
2. **Вихревые токи:** Это поле пронизывает проводящий диск (или кольцо), наводя в нем ЭДС индукции. В диске возникают мощные круговые **токи Фуко**.
3. **Закон Ленца:** Магнитное поле, созданное током в диске, направлено так, чтобы противодействовать изменению внешнего магнитного потока. В результате диск превращается в магнит, чей полюс совпадает с полюсом индуктора в данный момент.
4. **Прыжок:** Одноименные полюса мгновенно отталкиваются, и диск подлетает вверх. Если использовать переменный ток (AC), диск может даже левитировать в воздухе из-за постоянного фазового сдвига между токами. [↗](#)

Интересные нюансы:

- **Охлаждение:** Если охладить диск в жидком азоте, его сопротивление упадет, токи станут сильнее, и он подпрыгнет значительно выше.
- **Резерв:** Если в кольцо вложить более мощный резерв, ток не сможет

Задайте вопрос





9 сайтов



(PDF) Jumping ring experiment: Effect of temperature, non ...

The jumping ring experiment is an outstanding demonstration of Faraday's laws of electromagnetic induction and. also of Lenz's law...



ResearchGate

Unveiling the physic

PACS Nos. 41.20.Gz, INTRODUCTION. Mai

arXiv

в качестве индуктора применим однослойную катушку из медной шины 10x1,5 мм длиной 5м свернутую в спираль, внутренний начальный диаметр для намотки минимален, допустим 10мм. Рассчитай параметры катушки, диаметр, сопротивление, индуктивность

Physics Demo -- Jun

Physics Demo -- Jumping Ring - YouTube. This content isn't available. A solid metal ring is placed on an iron core whose base is w...

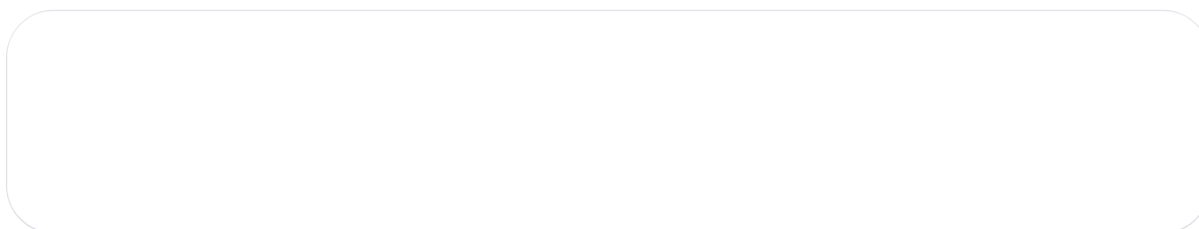


Для расчета параметров вашей катушки (плоской спирали или «кейка») воспользуемся геометрическими соотношениями и формулами

YouTube

электродинамики. Принимаем, что шина наматывается «на ребро» (толщина 1,5 мм определяет шаг намотки, ширина 10 мм — высоту катушки)

[Показать все](#)



Решим квадратное уравнение для N :

$$1,5\pi \cdot N^2 + (10\pi - 1,5\pi) \cdot N - 5000 = 0$$

$$4,71N^2 + 26,7N - 5000 = 0$$

Откуда $N \approx 29,9$ (принимаем **30 витков**).

Внешний диаметр: $D_{out} = D_{in} + 2 \cdot N \cdot t = 10 + 2 \cdot 30 \cdot 1,5 = \mathbf{100}$ мм.

Шаг 2: Электрическое сопротивление

Удельное сопротивление меди $\rho \approx 1,72 \cdot 10^{-8}$ Ом·м.

Сечение шины $S = 10 \cdot 1,5 = 15 \text{ мм}^2 = 15 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$.

$$R = \rho \cdot \frac{L}{S} = 1,72 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{5}{15 \cdot 10^{-6}} \approx \mathbf{0,0057} \text{ Ом (5,7 мОм)}$$

Шаг 3: Индуктивность катушки

Для плоской спиральной катушки используется формула Вилера:

$$L \approx \frac{r_{avg}^2 \cdot N^2}{8 \cdot r_{avg} + 11 \cdot w}$$

Где:

- $r_{avg} = \frac{R_{in} + R_{out}}{2} = \frac{5 + 50}{2} = 27,5 \text{ мм} \approx 1,08 \text{ дюйма}$
- $w = R_{out} - R_{in} = 45 \text{ мм} \approx 1,77 \text{ дюйма}$
- $N = 30$



- Внешний диаметр: **100 мм**
- Сопротивление (DC): **5,7 мОм**
- Индуктивность: **~42 мкГн**

Потребуется ли вам расчет **импульсного тока** и **высоты прыжка** диска при разряде конденсаторной батареи через эту катушку?



есть неполярный конденсатор 100мкф 5000В
для питания этого индуктора, рассчитай
длительность импульса одной положительной
полуволны

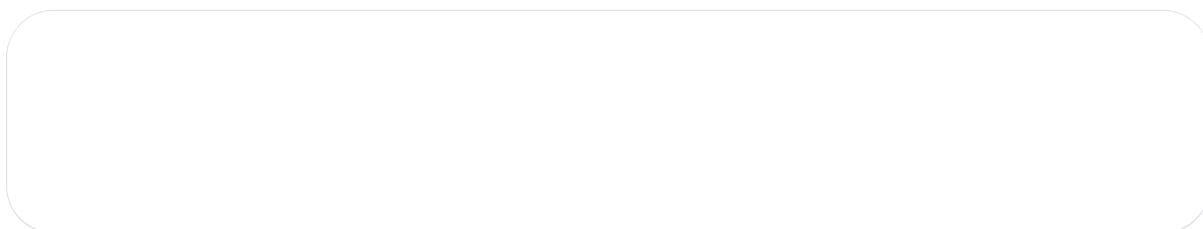


Чтобы рассчитать длительность импульса, мы рассмотрим систему как последовательный RLC -контур. Поскольку активное сопротивление катушки (5,7 мОм) крайне мало по сравнению с волновым сопротивлением, процесс будет носить характер затухающих колебаний. Нас интересует длительность первой положительной полуволны тока.

Шаг 1: Определение параметров контура

Используем значения из предыдущего расчета:

- Емкость: $C = 100 \cdot 10^{-6}$ ф
- Индуктивность: $L \approx 42 \cdot 10^{-6}$ Гн
- Сопротивление: $R \approx 0,0057$ Ом



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

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{42 \cdot 10^{-6} \cdot 100 \cdot 10^{-6}}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{42 \cdot 10^{-10}}} \approx 2455 \text{ Гц}$$

Период колебаний T :

$$T = \frac{1}{f_0} \approx 0,000407 \text{ с} \approx 407 \text{ мкс}$$

Длительность одной положительной полуволны тока составляет ровно половину периода:

$$t_{pulse} = \frac{T}{2} \approx 203,5 \text{ мкс}$$

Шаг 3: Оценка пикового тока

Для оценки механического воздействия полезно знать амплитуду тока I_{max} при напряжении $U = 5000 \text{ В}$:

$$I_{max} \approx U \cdot \sqrt{\frac{C}{L}} = 5000 \cdot \sqrt{\frac{100 \cdot 10^{-6}}{42 \cdot 10^{-6}}} \approx 5000 \cdot 1,54 \approx \mathbf{7700 \text{ А}}$$

Ответ:

Длительность положительного импульса тока составит примерно **204 мкс**.

Учтите, что при токе в **7,7 кА** на шину будут действовать огромные электромагнитные силы, стремящиеся искривить провод. Нужно ли



чтобы он оставался условно неподвижен, другими словами высота взлета не превысила 1мм на время действия импульса. Это нужно для получения максимального КПД воздействия импульса индуктора на диск



Чтобы диск оставался практически неподвижным (смещение ≤ 1 мм) в течение импульса длительностью $\tau = 204$ мкс, необходимо, чтобы его **инерция** была достаточной для компенсации развиваемого электродинамического усилия.

Шаг 1: Оценка средней силы отталкивания

$$\text{Энергия конденсатора } W_c = \frac{C \cdot U^2}{2} = \frac{100 \cdot 10^{-6} \cdot 5000^2}{2} = \mathbf{1250} \text{ Дж.}$$

При разряде часть этой энергии переходит в магнитное поле. Сила F , действующая на диск, пропорциональна изменению взаимной индуктивности по координате z ($\frac{dM}{dz}$). Для таких систем пиковая сила может достигать десятков килоньютонов.

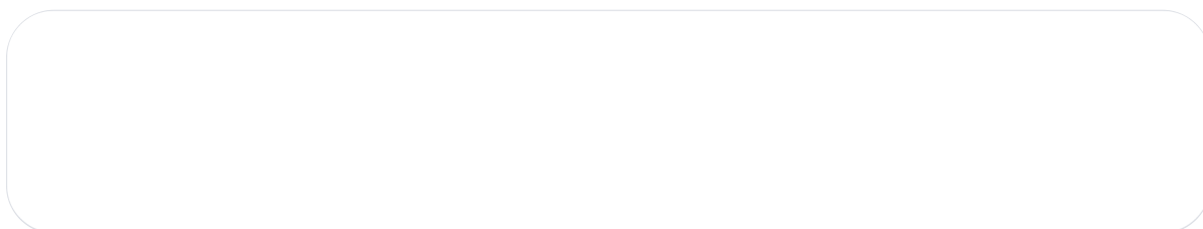
Возьмем упрощенную модель: чтобы за время $t = 204 \cdot 10^{-6}$ с тело сместилось на $h = 0,001$ м, оно должно иметь ускорение a :

$$h = \frac{a \cdot t^2}{2} \Rightarrow a = \frac{2h}{t^2}$$

$$a = \frac{2 \cdot 0,001}{(204 \cdot 10^{-6})^2} \approx \mathbf{48000} \text{ м/с}^2$$

(что составляет около 4900g).

Шаг 2: Расчет массы диска



При $F_{avg} \approx 30\,000$ Н:

$$m = \frac{30000}{48000} \approx \mathbf{0,625}$$
 кг

Шаг 3: Геометрия медного диска

Плотность меди $\rho \approx 8960$ кг/м³. Диаметр диска должен соответствовать внешнему диаметру катушки (100 мм), чтобы перехватить максимум магнитного потока.

Радиус $R = 0,05$ м, площадь $S = \pi \cdot R^2 \approx 0,00785$ м².

Толщина диска d :

$$d = \frac{m}{S \cdot \rho} = \frac{0,625}{0,00785 \cdot 8960} \approx 0,0089 \text{ м} \approx \mathbf{9 \text{ мм}}$$

Ответ:

Для того чтобы за время импульса (204 мкс) диск сместился не более чем на **1 мм**, его масса должна составлять примерно **0,6–0,7 кг**. При диаметре **100 мм** это соответствует медной плите толщиной около **9–10 мм**.

Важное замечание: Такая толщина значительно превышает глубину скин-слоя для частоты 2,5 кГц ($\delta \approx 1,3$ мм), что обеспечит эффективное экранирование поля и максимальную силу отталкивания.

Хотите рассчитать **давление на витки** катушки, чтобы понять, не разрушится ли она от такой отдачи при выстреле?



инерции.

Шаг 1: Расчет конечной скорости после импульса

Используем расчетное ускорение $a \approx 48\,000 \text{ м/с}^2$ и время действия импульса $t = 204 \cdot 10^{-6} \text{ с}$.

Скорость v , которую разовьет диск к моменту прекращения действия силы:

$$v = a \cdot t$$

$$v = 48000 \cdot 204 \cdot 10^{-6} \approx \mathbf{9,8 \text{ м/с}}$$

Шаг 2: Расчет высоты свободного полета

После того как ток в катушке прекратится (через 204 мкс), диск продолжит движение вверх под действием накопленной кинетической энергии, преодолевая силу тяжести ($g = 9,81 \text{ м/с}^2$).

Максимальная высота подъема H (без учета сопротивления воздуха) рассчитывается по формуле:

$$H = \frac{v^2}{2g}$$

$$H = \frac{9,8^2}{2 \cdot 9,81} \approx \frac{96,04}{19,62} \approx \mathbf{4,9 \text{ метра}}$$

Шаг 3: Уточнение с учетом смещения во время импульса

Полная высота взлета складывается из начального смещения $h = 1 \text{ мм}$ и высоты инерционного полета. Так как 1 мм пренебрежимо мал по сравнению с 4,9 м, итоговая высота составит примерно **5 метров**.

на неё действует такая же сила отдачи (3 тонны), стремящаяся раздавить изоляцию или деформировать шину?



Сколько это будет в джоулях $E=m \cdot g \cdot h$

Чтобы определить потенциальную энергию диска в высшей точке полета, подставим рассчитанные ранее значения в формулу.

Расчет энергии

Используем параметры:

- Масса диска $m = 0,625$ кг
- Ускорение свободного падения $g = 9,81$ м/с²
- Высота подъема $h = 4,9$ м

$$E = m \cdot g \cdot h$$

$$E = 0,625 \cdot 9,81 \cdot 4,9 \approx 30 \text{ Дж}$$

Анализ эффективности (КПД)

Энергия, запасенная в конденсаторе, составляла $W_c = 1250$ Дж. Переход этой энергии в потенциальную энергию диска (полезную механическую работу) определяет КПД системы:

мощный импульс из-за вихревых токов?



Посчитай до какого напряжения сможет перезарядиться конденсатор за счет возврата в него ЭДС самоиндукции и сколько это составит в Джоулях



Для расчета напряжения перезарядки воспользуемся моделью затухающих колебаний в RLC -контуре, учитывая, что часть энергии безвозвратно ушла на механическую работу и тепловые потери (нагрев катушки и диска).

Шаг 1: Оценка энергетических потерь за первую полуволну

Общая энергия системы $W_0 = 1250$ Дж. За время действия импульса (204 мкс) энергия тратится на:

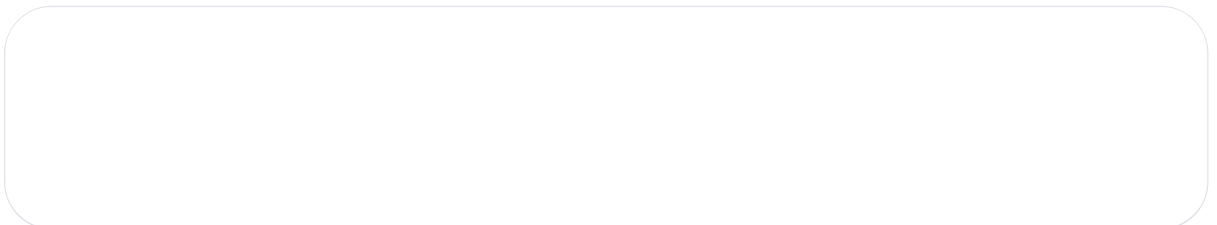
1. **Механическую работу:** $E_{mech} \approx 30$ Дж.

2. **Нагрев катушки (джоулево тепло):** При токе $I_{rms} \approx \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} \approx 5445$ А и $R = 0,0057$ Ом: $Q_{coil} = I_{rms}^2 \cdot R \cdot t \approx 5445^2 \cdot 0,0057 \cdot 204 \cdot 10^{-6} \approx 34$ Дж.

3. **Нагрев диска (токи Фуко):** В индукционных ускорителях тепловые потери в диске обычно в 2–3 раза превышают полезную механическую энергию. Примем $Q_{disc} \approx 90$ Дж.

Итого, суммарные потери за первую полуволну:

$$\Delta W \approx 30 + 34 + 90 = 154 \text{ Дж.}$$



$$U_{recharge} = \sqrt{\frac{2 \cdot W_{rem}}{C}}$$

$$U_{recharge} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1096}{100 \cdot 10^{-6}}} = \sqrt{21,92 \cdot 10^6} \approx \mathbf{4682 \text{ В}}$$

Шаг 3: Учет коэффициента затухания

Если рассматривать только электрические потери через добротность

контура $Q_{factor} = \frac{1}{R} \cdot \sqrt{\frac{L}{C}} \approx 113$, то чисто электрическая перезарядка

была бы до 4900 В. Однако наличие «нагрузки» в виде диска вносит дополнительное **внесенное сопротивление**, которое снижает напряжение сильнее.

Ответ:

- Конденсатор перезарядится до напряжения примерно **4600–4700 В** (с обратной полярностью).
- Энергия возврата составит около **1100 Дж**.

Критическое замечание: Поскольку конденсатор неполярный, он выдержит обратную полярность. Однако без **диодного демпфера** (коротящего катушку в момент перехода напряжения через ноль) в системе возникнут затухающие колебания, которые будут «трясти» катушку и диск несколько циклов.

Хотите рассчитать параметры **защитного диода**, чтобы исключить осцилляции и оставить только один мощный толчок? **Напишите**, если это необходимо.



