

## Отрицательное сопротивление» и его механический аналог

Новиков Олег Игоревич

СУНЦ МГУ им. А.Н.Колмогорова

121352, г. Москва, ул. Кременчугская, д.11

Научный руководитель: Дмитриев Константин Вячеславович, к.ф.-м.н., м.н.с. кафедры физики

СУНЦ МГУ

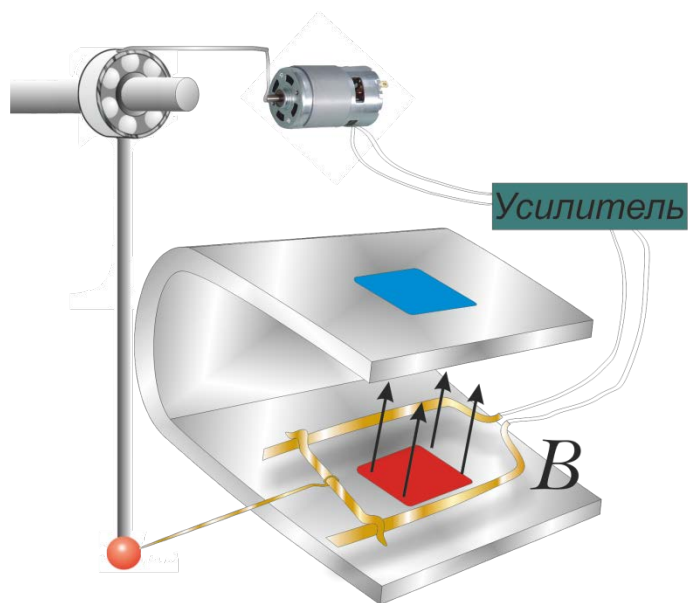
Большинство интересных радиоприборов состоит в основном из известных и очень распространённых элементов: конденсаторов, катушек, транзисторов и резисторов. Принцип работы этих элементов достаточно хорошо изучен и уже привычен большинству физиков и радиолюбителей. Например, все привыкли к тому, что сопротивление вещества току положительно. Но было бы интересно представить, бывает ли сопротивление резистора отрицательным? Это было бы своеобразным вариативным источником энергии: ток тёк бы от меньшего потенциала к большему, причём был бы пропорционален разности этих потенциалов.

Конструкция «отрицательного резистора» на самом деле уже придумана. А потому интересно было бы изобрести механический аналог отрицательного резистора, так как возможности, которые открываются от создания такого элемента, очень интригующие. Но что же значит «отрицательное сопротивление» в механике?

Часто полезно бывает строить аналогии между работой множества электрических схем и механическими системами. Для этого нужно в каждом случае рассмотреть механический аналог электрических элементов или их композиций. Так, по принципу работы можно примерно представить механический аналог каждого из элементов. Если представить заряд  $q$  за координату в механике  $x$ , ток  $I$  – за скорость  $v$ ,  $\frac{dI}{dt}$  – за ускорение  $a$ , а напряжение  $U$  – за направленную силу  $F$ , аналогом индуктивности можно принять силу инерции, конденсатор – за пружинку, а резистор – за вязкую среду, где сила сопротивления пропорциональна скорости движения тела (то же, что и  $U \sim I$ ). Тогда принцип работы отрицательного сопротивления в механике оказывается прост – создание силы, действующей в направлении движения тела и пропорциональной его скорости. Изобретением и исследованием такого устройства и решил заняться автор данной работы.

Значимость данного изобретения можно осознать даже из разнообразия электрических цепей, в которых используется «отрицательный резистор». Хорошим и важным примером применения в электротехнике данного элемента является одна из наиболее простых реализаций генератора хаотических колебаний, названная «Цепью Чуа» в честь самого изобретателя. Грамотное применение элемента, предлагаемого автором данной работы, позволит создать генератор хаотических механических колебаний по аналогии с цепью Чуа.

Можно перечислить огромное множество систем, использующих отрицательное



сопротивление для самых разных интересных целей: ускорители, двигатели, системы, обладающие отрицательной мощностью, самовозбуждающиеся системы и так далее. Более того, с помощью данного элемента можно провести большое количество интересных демонстраций.

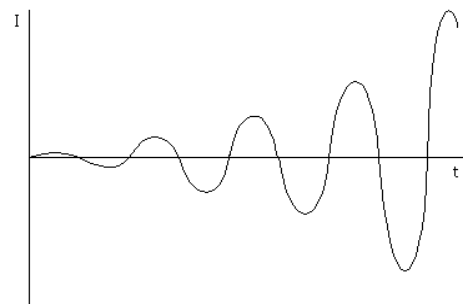
Автором была выдвинута следующая идея конструкции данного приспособления.

Рассмотрим для простоты длинный маятник, способный совершать колебания только вдоль одной плоскости (на рисунке). К

нему жёстко прикреплена перемычка, свободно перемещающаяся вдоль проводящей рамки. Таким образом, перемычка имеет ту же скорость  $v$ , что и маятник в любой момент времени. Рамку пронизывает однородное магнитное поле  $B$ . При движении маятника рамка движется, и в ней индуцируется ЭДС, пропорциональная скорости движения маятника ( $\mathcal{E} \sim v$ ). Концы рамки соединены проводами с усилителем, а от него контакты идут к двигателю, создающему момент, пропорциональный поданному напряжению ( $M \sim \mathcal{E}$ ). Ротор двигателя закреплён так, чтобы передавать момент сил маятнику. Таким образом, к маятнику прикладывается сила, пропорциональная его скорости и «разгоняющая» его. Очень просто можно использовать данный механизм для «самовозбуждения» систем, претерпевающих прямолинейное движение. Именно в этом и состояла идея создания механического «отрицательного сопротивления». Более того, было решено добавить к работе системы режим нормального сопротивления, тогда установка играла роль простого сопротивления. Этот режим может потребоваться в механическом моделировании работы электрических цепей, и в некоторых случаях гораздо удобнее, чем использование различных вязких сред.

Ранее автором в научной литературе не была встречена идея создания подобного элемента.

Нами были рассмотрены системы, в которых может участвовать данный элемент, и для каждой была описана теоретическая модель, причём интересно, что в некоторых случаях можно представить движение системы как процесс с обратным течением времени, то есть словно заменой  $t$  на  $(-t)$ . В качестве примера можно привести малые колебания такого маятника, которые описываются уравнением:



Зависимость угла отклонения маятника от времени

$$\ddot{\varphi} + (-k_r) \cdot \dot{\varphi} + \omega_0^2 \varphi = 0$$

Оно имеет решение в виде колебаний, растущих по амплитуде со временем, что является эквивалентом обратного идущего процесса затухающих колебаний.

Нами была собрана модель описанной установки и проверена его работа. Движение снималось на видео и сравнивалось с теоретически предсказанным. Работа данного прибора соответствовала ожидаемой. Таким образом, нами была собрана механическая модель положительного и отрицательного сопротивления, основной характеристикой которого является сила, действующая на тело вдоль вектора его скорости и пропорциональная этой скорости.

### **Литература:**

- 1) Парселл Э.М., Берклеевский Курс Физики, том II, Электричество и магнетизм, главная редакция физико-математической литературы издательства “Наука”, с исправлениями, Москва, 1975 г.;
- 2) Картер Б., Манчини Р., Операционные усилители для всех; пер. с англ. – А. Н. Рабодзея; издательский дом «Додэка-XXI», Москва, 2011.