

СДЕЛАЙ ДЛЯ ШКОЛЫ О том, как Володя Миславский помог Джеймсу К.Максвеллу

Трудно представить себе науку, более глубоко проникающую в нашу жизнь, чем электродинамика. Электростанции и компьютеры, радиосвязь, химические и ядерные реакции, оптические приборы — все это и многое другое рассчитывается с ее помощью. Надо сказать, что законы электродинамики, выраженные в уравнениях, способны озадачить многих. Случалось, даже академики, как, впрочем, и сам создатель уравнений Джеймс Клерк Максвелл, не все в них понимали. Тем не менее выразить словами реальность, которую они описывают, не так уж сложно.

Силовые линии электрического поля начинаются и кончаются на зарядах или простираются в бесконечность. Линии магнитного поля всегда замкнуты. Всякий ток охвачен магнитными силовыми линиями. Если магнитное поле переменное, то его линии охвачены линиями замкнутого переменного электрического поля.

Ясно и просто. А как это проверить?

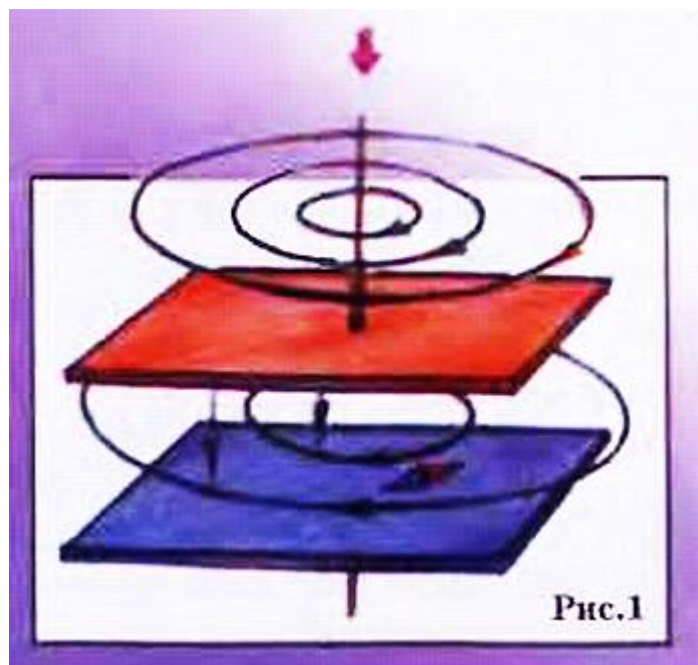
Долгое время физиков волновал такой эксперимент.

Введем в электрическую цепь конденсатор. Постоянный ток по цепи проходить не сможет, и это естественно. Конденсатор, состоящий из двух пластин, между которыми может находиться диэлектрик, просто воздух или вакуум, — это разрыв цепи. Заряды, а значит, и электрический ток проходить через него не могут. Но если в такую цепь ввести источник переменной ЭДС, то ток по ее проводам проходит.

Происходит это за счет того, что заряды поочередно собираются то на одной, то на другой пластине конденсатора. Конденсатор величиной своей емкости ограничивает электрический заряд, а значит, и ток, проходящий по цепи за каждый полупериод изменения ЭДС. При этом энергия проходит через конденсатор за счет периодического изменения электрического поля между его пластинами. Размерность ее потока такая же, как и у энергии, переносимой электрическим током по проводам.

Это в свое время побудило Максвелла назвать энергию, проходящую через конденсатор, «током смещения». Он полагал, что ток смещения имеет такое же магнитное поле, как и ток проводника. Выходило, что силовые линии переменного электрического поля всегда должны создавать замкнутое переменное магнитное поле. А переменное магнитное поле должно создавать замкнутое переменное электрическое поле. Этот процесс, периодически повторяясь, приводит к возникновению электромагнитных волн.

Из этих рассуждений получалось, что между пластинами конденсатора должно существовать замкнутое вихревое магнитное поле (рис. 1).

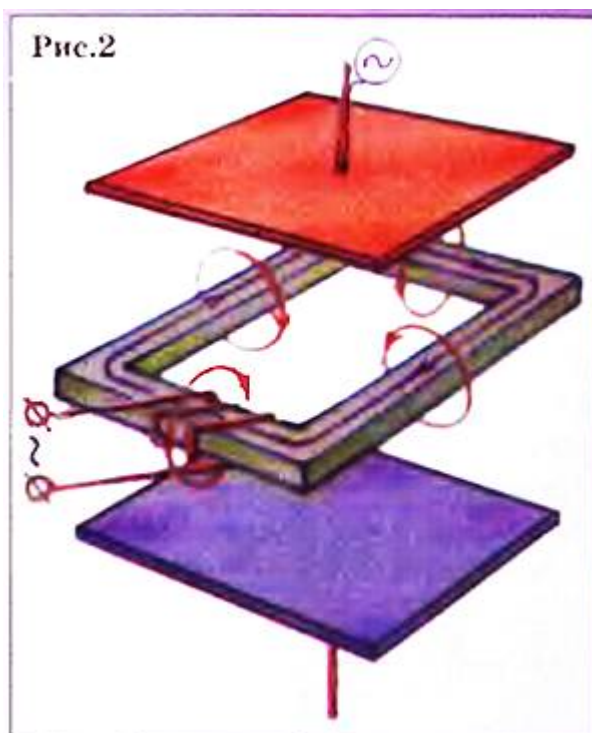


Физиков XIX века волновал вопрос, так ли это. Подтвердить это из-за несовершенства техники им удалось лишь косвенно, а потом о проблеме забыли.

В 1992 году решил к ней вернуться Владимир Миславский — ученик 7-го класса одной из школ г. Звенигорода. Еще учась в четвертом классе и томясь от летней скуки в доме отдыха, где он отдыхал с родителями, Володя читал книгу В.Карцева «Приключения великих уравнений». Наверное, он многого бы в них не понял, но случайно поблизости оказался некий гражданин. Он все растолковал, все стало не только понятно, даже интересно. Новый знакомый уехал, а Володя остался размышлять.

Для того чтобы уловить магнитное поле, он решил поместить между пластинами конденсатора магнитопровод с катушкой. Физики далекого прошлого такой опыт поставить не могли, ибо им пришлось бы сделать магнитопровод из железа, а оно, будучи проводником, сильно повлияло бы на поле конденсатора. А в распоряжении Володи был феррит — прекрасный диэлектрик.

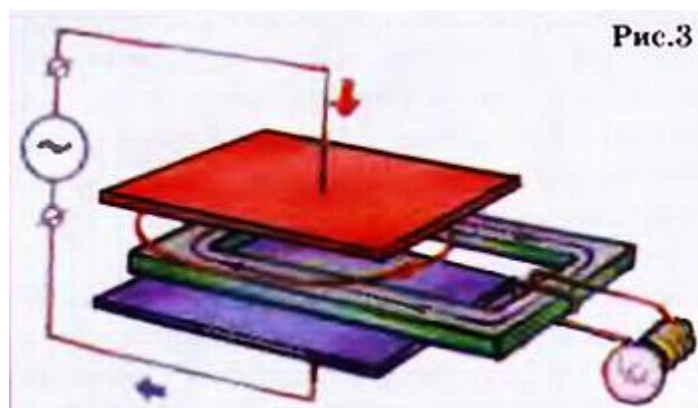
Володя склеил из плоских ферритовых антенн рамку размером 30х40 см и поместил ее между пластинами такого же конденсатора (рис. 2).



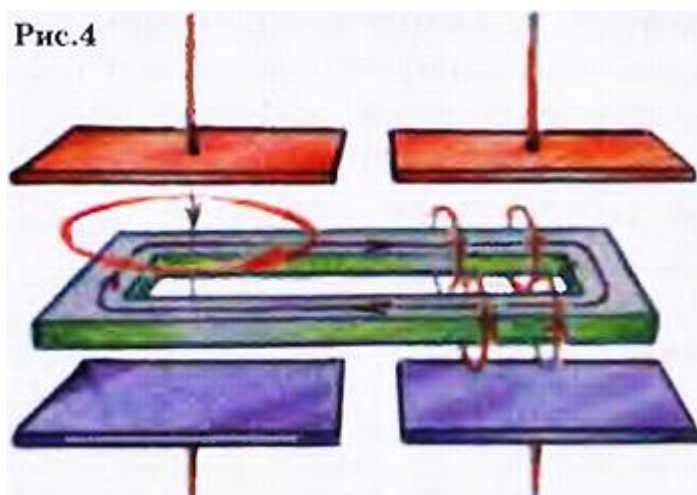
На рамке он намотал обмотку из сотни витков. В первом опыте Володя присоединил ее к осциллографу, а на конденсатор подал напряжение частотой 10 кГц от школьного звукового генератора. На экране появилась синусоида. Это говорило о том, что магнитопровод поймал магнитное поле между пластинами конденсатора.

После этого В.Миславский поменял местами генератор и осциллограф и опять увидел на экране синусоиду. Переменное магнитное поле, возникавшее в рамке от протекавшего по ее обмотке тока звукового генератора, вызывало вихревое электрическое поле. Оно периодически заряжало пластины конденсатора, а изменение напряжения на них было видно на экране осциллографа.

Володя делал опыты еще на базе советской школы. Год назад мы обзвонили учколлекторы Москвы, и оказалось, что многие продавцы слова «осциллограф» не знают. Что ж, опыт можно производить и без осциллографа. В один из памятных вечеров Володя принес на заседание Патентного бюро «ЮТ», кроме рамки с конденсатором, небольшой ламповый генератор 1 мГц. На наших глазах, когда ламповый генератор присоединили к пластинам конденсатора, от обмотки на ферритовой рамке вспыхнула лампа накаливания на 6 В (рис. 3).



Но иному нашему читателю подавай практическое применение. Пожалуйста, вот вам на рисунке безобмоточный трансформатор Миславского (рис. 4).



Это ферритовая рамка между обкладками конденсаторов. Энергия, проходящая через пластины одного конденсатора, через магнитопровод перейдет на пластины другого. По закону сохранения энергии можно записать $C_1 \times U_1^2 / 2 = C_2 \times U_2^2 / 2$, или $C_1 / C_2 = U_1^2 / U_2^2$. Это означает, что в системе может происходить трансформация напряжения. Опыт это подтверждает.

Трансформатор Миславского полезен там, где обычный трансформатор не может работать. На высоких частотах в обычных трансформаторах начинает сказываться межвитковая емкость.

Она как бы шунтирует его. Кроме того, возрастает сопротивление обмотки из-за «скин-эффекта» — стремления токов течь только по поверхности проводника, не заходя в глубину.

В трансформаторе Миславского таких потерь нет, и на частотах выше 100 МГц он становится выгоднее обычного. Учитывая, что современные ферриты работают на частотах в сотни гигагерц, трансформатор Миславского может найти применение в силовой электронике, например, для согласования генератора и антенн радиолокационных станций.

Трансформатор Миславского имеет шансы найти применение и в вычислительной технике. На одном миниатюрном ферритовом сердечнике, который может иметь форму рамки с большим числом окон, можно разместить сотни и тысячи конденсаторных пластин, выполненных методом напыления. Такое устройство можно размещать на плате микропроцессора для согласования работы его элементов. Сам ферритовый сердечник также может выполняться методом напыления. Варьируя поперечное сечение слоя феррита и его конфигурацию, на трансформаторе Миславского удастся выполнять любые логические функции. Так, можно получать очень дешевые микропроцессоры, для изготовления которых не требуются дорогие вещества сверхвысокой очистки.

Но токи смещения могут нам дать и нечто большее. Об этом как-нибудь в следующий раз.

А ИЛИН Ю ПРОКОПЧЕР

Установку, демонстрирующую действие так называемого «трансформатора Миславского», вы можете собрать на одной радиолампе типа 6НЗН (см. рис. 1). Частота генератора примерно равна 1 МГц.

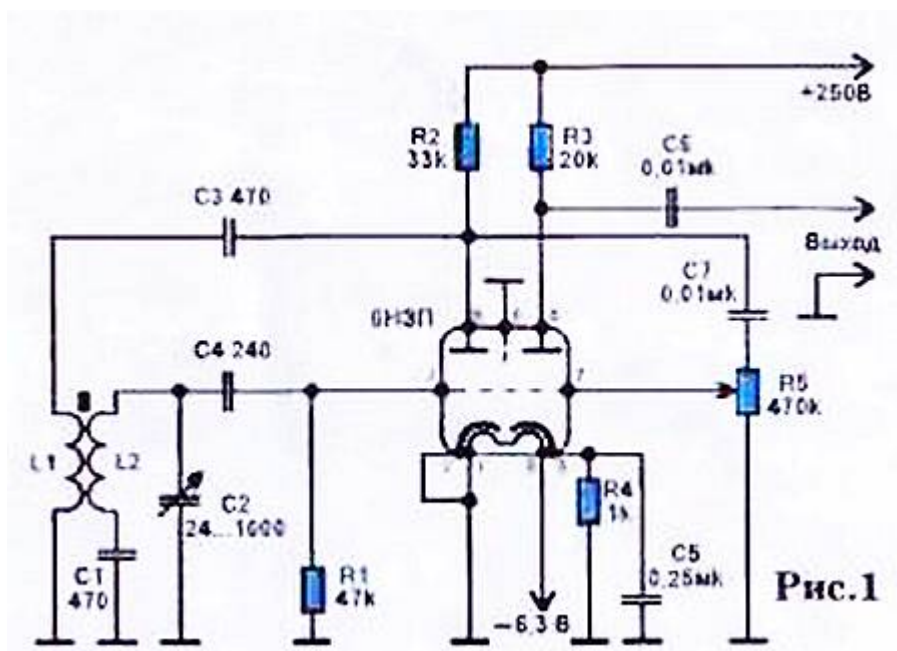


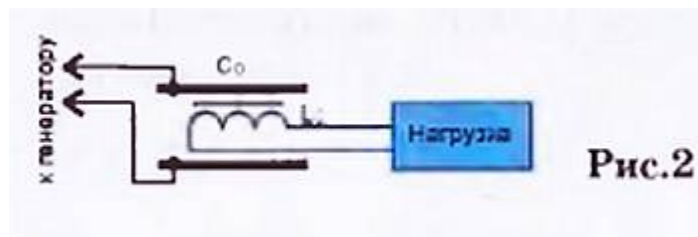
Рис.1

Левый по схеме триод лампы работает в генераторе электрических колебаний, частота которых определяется индуктивностью контурной катушки L2 и суммарной емкостью конденсаторов C1, C2, C4. Конденсатор переменной емкости C2 позволяет регулировать частоту колебаний в достаточно широком диапазоне, катушка L1 обеспечивает обратную связь с анодом лампы. Правая половина лампы служит буферным и усилительным каскадом, благодаря которому ослабляется влияние нагрузки на частоту генератора. Переменное сопротивление R5 позволяет изменять уровень выходного сигнала генератора. Поскольку генерируемые сигналы находятся в области частот средневолнового вещательного диапазона, в конструкции могут быть использованы средневолновые гетеродинные катушки от заводского радиоприемника. Контурная гетеродинная катушка L2 от некогда широко распространенного приемника «Сакта» имеет индуктивность 107 мГ и имеет две секции по 42 витка провода ПЭВ-2 0,09; каркас обмотки снабжен подстроечным сердечником из феррита 600НН. У катушки связи L1, находящейся на том же каркасе, 12 витков провода ПЭВ-2 0,1. Питание анода лампы постоянным током удобно взять от штатного выпрямителя старого лампового радиоприемника, питание нитей накала — переменным напряжением 6,3 В от общего трансформатора выпрямителя. Постоянные резисторы можно взять типа МЛТ-0,5, переменный — СПЗ-9. Постоянные конденсаторы — К10-47 на напряжение до 500 В; конденсатором переменной емкости могут служить две соединенные параллельно секции блока настройки с воздушным диэлектриком.

Несмотря на сравнительную простоту конструкции, ей присуща специфика, которую следует учитывать. Во-первых, в отличие от ныне привычных устройств на полупроводниках здесь используются довольно высокие напряжения, поэтому касаться токоведущих частей включенной схемы недопустимо! Следует помнить, что и после ее выключения на конденсаторах некоторое время может оставаться опасный заряд, снять который можно, замыкая выводы жалом отвертки с

транзисторным приемником.

Подключение генератора к трансформатору Миславского показано на рисунке 2.



Приступая к опытам, сначала присоедините к обмотке L_c вольтметр переменного тока, чтобы оценить величину наводимого в этой катушке напряжения. Эффективность трансформации полезно проверить при максимальном усилении выходного каскада на различных частотах генератора, при необходимости подключив параллельно переменному конденсатору конденсатор постоянной емкости. Исходя из полученных результатов, к выводам катушки L_c (рис. 2) можно будет подключать нагрузку в виде светодиодов или лампочки накаливания от карманного фонаря, в нужных случаях вводя последовательно с нагрузкой токоограничивающий резистор. Если окажется доступным подходящий звуковой генератор, можете попробовать запитать от него трансформатор. Подходящим «звуковиком» мог бы стать ламповый типа ЗГ-2А, развивающий напряжение до 150 В при частоте 20 кГц.

И. КАСКИН