

Индукционная катушка Румкорфа

Ю.В. Черников

(Окончание. Начало см. ЭП, № 5, 2008 г.)

Во второй половине XIX столетия индукционная катушка стала использоваться в качестве инструмента для проведения фундаментальных исследований в области физики.

В 1886 – 1888 гг. выдающийся немецкий физик Генрих Рудольф Герц в своей лаборатории в Высшей технической школе в Карлсруэ, используя изобретенный им искровой разрядник, экспериментально доказал существование «лучей электрической силы», т.е. электромагнитных волн, и тем самым истинность электромагнитной теории света Джеймса Клерка Максвелла. Высокое импульсное напряжение к этому искровому разряднику подводилось от вторичной обмотки индукционной катушки [1].

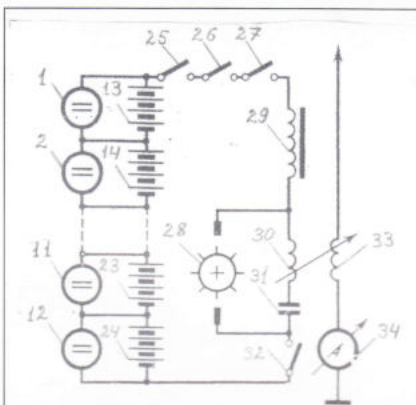


Рис.1. Типовая схема искрового передатчика «Ходынка»

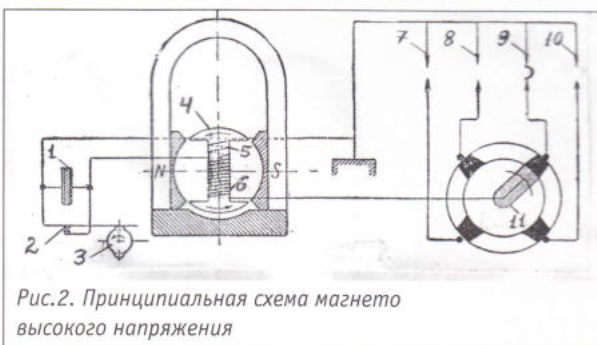


Рис.2. Принципиальная схема магнето высокого напряжения

В 1891 г. Никола Тесла, известный ученый и изобретатель, создал аппарат, который вошел в историю физики и электротехники как резонанс-трансформатор, или осциллятор Теслы [2]. Это устройство позволяло простым и дешевым способом получать высокочастотные колебания, величина которых достигала нескольких миллионов вольт. Важной составной частью этого устройства являлась «классическая» индукционная катушка. Тесла использовал резонанс-трансформатор для открытия и изучения новых физических явлений. К их числу относятся:

- свечение в разряженных газах в быстропеременном электрическом поле;
- высокочастотный нагрев металлов и диэлектриков, названный Теслой «индукционным электродинамическим эффектом»;
- доказательство наличия поверхностного эффекта, математически предсказанного Хевисайдом в 1885 г.;
- физиологические действия токов высокой частоты и их безвредность для человеческого организма даже при высоких напряжениях;
- передача электрической энергии через непроводящую среду без проводов.

Вильгельм Конрад Рентген осенью 1895 г. открыл X-лучи, названные позднее его честь рентгеновскими. Эти лучи сразу же нашли применение в медицине и промышленности. Но и здесь не обошлось без применения индукционной катушки. Рентген в своем докладе

Физико-медицинскому обществу в Вюрцбурге 9 марта 1896 г. сказал: «В некоторых случаях выгоднее между катодной трубкой и индуктором устанавливать аппарат Теслы. Такое устройство имеет свои преимущества. Приборы, в которых происходит разряд,

меньше нагреваются и гораздо реже выходят из строя, вакуум в них поддерживается дольше и X-лучи становятся интенсивнее... Применение трансформатора Теслы оказало мне неоценимую услугу» [3]. Индукционные катушки применялись для питания рентгеновских трубок до тех пор, пока они не были вытеснены трансформаторными источниками питания, которые оказались более удобными в эксплуатации и в которых отпадала необходимость в чистке прерывателя [4].

Важное значение имело использование индукционной катушки с электромагнитным механическим прерывателем тока в первых радиопередающих устройствах А.С. Попова и Г. Маркони, которые использовали метод прямого возбуждения затухающих колебаний в вибраторах Г. Герца и А. Риги. Ток в первичной цепи катушек большей мощности прерывался ртутным прерывателем, рассчитанным на большие токи. Поскольку первичный ток больших катушек достигал нескольких ампер, при передаче сообщений путем включения и выключения катушки (код Морзе) контакты ключа управления обгорали. Для уменьшения величины обгорания этих контактов параллельно с ними подключался конденсатор. При достаточно большой емкости конденсатора ток нагрузки в момент размыкания контактов проходит через конденсатор и дуговой разряд не возникает [5]. В очень мощных искровых станциях с большими (200-300 А) токами в первичной обмотке индукционных катушек использовались специальные реле, срабатывающие от ключа управления и управляющие, в свою очередь, угольными контактами. Причем использовалось несколько последовательно включенных контактов [6].

Другим примером использования индукционной катушки (без сердечника) с вращающимся разрядником, включенным параллельно с ее первичной обмоткой, является искровая Ходынская радиостанция, сооруженная



в Москве в 1914 г. [7]. Ходынский искровой радиопередатчик имел колебательную мощность 100 кВт при мощности потребления около 300 кВт и работал на волнах длиной 7000–9000 м. Схема искрового передатчика «Ходынка» приведена на рис. 1. Последовательный колебательный контур LC 30 – 31 заряжался от источника питания через дроссель 29 и затем замыкался накоротко в момент пробоя вращающегося медного искрового разрядника. Катушка 30 была индуктивно связана с антенной катушкой 33, посредством которой затухающие колебания высокой частоты передавались в антенну. Станция питалась от 12 машин постоянного тока 1 – 12, соединенных последовательно и дававших суммарное напряжение около 12000 В. Параллельно машинам были включены буферные аккумуляторы 13 – 24, поэтому станция могла в течение короткого времени работать только от них. Манипуляция передатчиком производилась с помощью особого устройства, одновременно разрывающего цепь высокого напряжения четырьмя ключами 25 – 27 и 32. Дуга, возникающая на контактах в момент их разрыва, гасилась сжатым воздухом. Однако на смену искровым передатчикам затухающих колебаний пришли передающие устройства нового типа, позволяющие генерировать незатухающие волны.

Индукционная катушка также нашла широкое применение как устройство для воспламенения электрической искрой газообразных и жидких горючих тел. А начиналось все так.

В начале XIX века паровой двигатель не до конца разрешил энергетическую проблему, стоящую перед промышленностью. Развитие мелких предприятий упиралось в невозможность для каждого из них иметь свои двигатели, которые можно было ставить в любом месте города, в любом доме. Такие, которые не требовали бы опасного парового котла, большого количества людей для их обслуживания и специальных зданий для установки, которые можно было бы включать и останавливать в любое время без длительной подготовки. В 1799 г. французский инженер Филипп Лебон открыл светильный газ. Он увидел, как вспыхнул газ, истекавший из сосуда с древесными опилками, поставленного на огонь. В этом же году он получил патент на способ получения светильного газа путем сухой перегонки древесины или угля. Очень скоро во Франции, а

потом в других странах Европы газовые лампы стали успешно конкурировать с дорогостоящими свечами. В 1801 г. Лебон получил патент на конструкцию газового двигателя, принцип действия которого заключался в том, что смесь светильного газа с воздухом взрывалась при воспламенении с выделением большого количества тепла; при этом продукты сгорания, расширяясь, оказывали сильное давление на окружающую среду. В 1804 г. Лебон погиб, не успев реализовать свое изобретение, но его идея не была забыта. В первой половине XIX века значительное количество изобретателей из разных стран (Р.В.Сесиль, Сэмюэль Броун, Вильям Баркетт, Дрэк, Ньютон, Барзанти и Матеуччи) пытались создать работоспособный двигатель на светильном газе, но практического результата они не достигли.

Первый работоспособный газовый двигатель создал в 1860 г. люксембуржец Жан Этьен Ленуар [8], который работал в гальванической мастерской Ипполита Маринони в Париже. Ленуар не имел технического образования, был изобретателем-самоучкой и достиг результата благодаря своему таланту прирожденного механика и интенсивному самообразованию, ради которого он в течение ряда лет вел полугодичную жизнь. Двигатель Ленуара был двойного действия, т.е. рабочий процесс происходил с двух сторон поршня, и двухтактный (полный цикл работы поршня происходил в течение двух его ходов). При первом ходе происходили впуск, воспламенение и расширение смеси в цилиндре (рабочий ход), а при втором – выпуск отработавших газов. Для зажигания служили электрические свечи, ввернутые в крышки цилиндра. В состав двигателя Ленуара входила индукционная катушка Румкорфа, содержащая два элемента Бунзена, прерыватель и собственно индукционную катушку. От этой катушки импульсы высокого напряжения через специальный распределитель поочередно подавались на свечи зажигания. Двигатель Ленуара оказался прост в эксплуатации, легок и имел небольшие габариты. С 1860 по 1864 г. было изготовлено и эксплуатировалось более 300 двигателей Ленуара во Франции; они также изготавливались в Англии. В 1864 г. Ленуар установил свой двигатель на судно-ботик. Опыты на Сене прошли успешно, и ботик стал эксплуатироваться на линии Париж – Шарантон. В декабре 1872 г. Пауль Хенлейн из Майнца

совершил первый полет на управляемом дирижабле, снабженном облегченным газовым двигателем Ленуара. Однако выявились серьезные недостатки: двигатель Ленуара потреблял такое количество газа, что его эксплуатация обходилась в три-четыре раза дороже использования паровой машины той же мощности; когда частота вращения вала достигала 100 об/мин, зажигание действовало ненадежно, двигатель работал с перерывами. Причина низкой производительности заключалась в самом принципе его действия. Смесь газа и воздуха зажигалась в рабочем цилиндре при атмосферном давлении. При этом давление воспламененной смеси не превышало 5 кг/см², а к концу рабочего хода снижалась вдвое.

Сделать газовый двигатель более эффективным удалось Николаусу Аугусту Отто из Кельна при финансовой и технической помощи Ойгена Лангена [9]. Отто был беден, не имел никакого профессионально-технического образования (реальное училище ему закончить не удалось), но он был изобретателем-самоучкой, который мог как одержимый сутками думать над множеством проблем, поставленных перед ним двигателем внутреннего сгорания. Ланген, напротив, был богат, имел прекрасное высшее политехническое образование, но у него было много других интересов, отнимавших почти все его время. В результате 15 лет работы Отто удалось в 1876 г. создать новый двигатель с четырехтактным циклом. Этот цикл и по сегодняшний день лежит в основе работы большинства газовых и бензиновых двигателей.

В двигателе Отто газовая смесь предварительно сжималась до 2,5 – 3 атм. и только потом поджигалась, вследствие чего ее взрыв был более сильным. Поскольку ни Отто, ни Ланген не владели достаточными знаниями в области электротехники, они отказались от электрического зажигания. Воспламенение они осуществляли открытым пламенем через трубку, которому в нужный момент золотник открывал доступ в рабочий цилиндр. К недостаткам двигателя Отто относят его тихоходность и большую массу. Двигатель Отто получил широкое распространение в стационарных условиях, но был непригоден для установки на автомобиль. Другим направлением в построении системы зажигания для двигателя внутреннего сгорания явилось использование низковольтной магнитоэлектрической машины, изо-



бренной в 1895 г. немецким инженером Робертом Августом Бошем [10] и названной впоследствии «магнето низкого напряжения». В этом устройстве осуществлялось зажигание на отрыв – внутри цилиндра двигателя внутренне-го сгорания помещались два электрода, которые в нужный момент механическим путем раздвигались. В месте разрыва цепи проскакивала искра, весьма горячая даже при низких напряжениях, не превосходящих 100–150 В. В качестве источника напряжения служила обмотка Т-образного якоря, в которой генерировалась э.д.с. при качательном движении якоря в магнитном поле постоянных магнитов. Однако для надежного воспламенения смеси приходилось ставить по 3–4 свечи с каждой стороны цилиндра, а необходимость синхронизации их работы делала устройство зажигания низкого напряжения достаточно сложным.

Двигатель внутреннего сгорания стал годным для применения на транспорте, после того как заработал на жидком топливе, приобретая компактность, легкость и быстроходность. Официальная честь изобретателей автомобиля принадлежит двум немецким инженерам – Карлу Бенцу и Готлибу Даймлеру [11]. В качестве горючего Бенц использовал бензин, а зажигание горючей смеси осуществлялось электрической искрой, которая формировалась при помощи индукционной катушки. Однако установленное на автомобиле Бенца электрическое зажигание долго оставалось капризным и ненадежным: оно работало только на очень ровной дороге, в сухую погоду и при наличии «на борту» запаса сухих бунзеновских элементов.

На автомобилях Даймлера и его ближайшего соратника Вильгельма Майбаха до самого конца XIX века применялась платиновая калильная трубка, несмотря на её дороговизну, пожарную опасность и то, что она нередко вызывала преждевременное воспламенение смеси.

Магнето высокого напряжения было изобретено в 1900 г. М. Будевиллем и усовершенствовано в 1901 г. Г. Хольдтом в фирме «Бош» (Германия) [12]. Искра высокого напряжения дала возможность упростить устройство зажигания горючей смеси. Магнето высокого напряжения сразу привлекло к себе внимание многих производителей автомобилей. Схема этого устройства приведена на рис. 2 [13]. В магнитном поле, создаваемом постоянными магнитами N-S, от двигателя

вращался якорь 4, на котором помещались обмотки из толстой и тонкой проволоки, соответственно, 5 и 6. Первая из них замкнута накоротко специальным прерывателем 3, имеющим для этого контакты 2, параллельно с которыми включен конденсатор 1. Якорь в сечении имеет Т-образную форму. В тот момент, когда при вращении боковые крылья поперечин (рога) отходят от полюсных наконечников, происходит быстрое изменение магнитного потока в якоре и, соответственно, индуктируемые в обмотках электродвижущие силы имеют максимальные значения, достигающие в обмотке 5 до 20 – 35 В, а в обмотке 6 – до 800 – 2100 В.

Так как обмотка 5 замкнута накоротко, то в рассматриваемый момент времени через нее протекает ток, имеющий максимальное значение. Но в этот же момент времени прерыватель 3 размыкает цепь обмотки 5 и тогда под действием изменения магнитного потока, создаваемого изменением тока в обмотке 5, в обмотке 6 возникает дополнительная э.д.с. порядка 10000 В и более. По существу, в данном случае якорь этого устройства работает так же, как и катушка Румкорфа. Э.д.с., наведенная в обмотке 6 от размыкания тока в обмотке 5, имеет такое же направление, как и э.д.с., индуктированная потоком постоянных магнитов. Поэтому они суммируются и результирующая э.д.с. составляет 10000 – 15000 В и более. Высокое напряжение от магнетоэлектрической машины подается к рычагу переключателя 11, контакты которого соединены проводами со свечами зажигания 7,8,9, 10 четырехцилиндрового двигателя. Даймлер первым применил магнето высокого напряжения на серийном автомобиле. Магнето стали широко применяться в системах зажигания, но не сразу приобрели надежность, позволившую им продержаться до 30–40-х годов XX столетия. На дорогих автомобилях применяли «на всякий случай» двойное зажигание – и от магнето, и от батареи с отдельными свечами для каждой системы. Представленное на рис. 2 магнето представляет собой тип, долгое время являющийся наиболее распространенным. Его изготавливали фирмы Бош, Блик, Британское общество Томсон Гаустон и др. Советское магнето «Искромет» принадлежит к этому же типу («Русский Бош»).

Однако настал момент, когда сильный источник тока оказался необходимым на автомобиле. Скорость требовала

прожекторов, закрытые кузова – внутреннего освещения, пуск двигателя – особого электромотора. На автомобиле вновь появился аккумулятор, но теперь энергоемкий и надежный. Можно было устранить сложное и тяжелое магнето, вернуться к простой и безотказной системе батарейного зажигания. В зависимости от способа размыкания первичной цепи индукционной катушки различают классическое батарейное, транзисторное и тиристорно-конденсаторное зажигание. В перечисленных устройствах роль силового реле выполняют контакты прерывателя, транзистор или тиристор [14].

Таковы капризы музыки истории Клио, касающиеся индукционной катушки, которая вошла в историю электротехники под названием «индукционная катушка Румкорфа».

Литература:

1. Григорьян А.Т., Вальцев А.Н. Генрих Герц 1857 – 21894. – М.: Наука, 1968. – С. 84–85.
2. Цварава Г.К. Никола Тесла 1856 – 1943. . – Л.: Наука, 1974. – С. 149–150.
3. Там же, где 2. – С. 155.
4. Селиков Н. Рентгеновы аппараты / В кн.: Техническая энциклопедия / Под ред. Л.К. Мартенса. . – М.: Советская энциклопедия, 1933, том 19. – С. 605 – 607.
5. Отт. Г. Методы подавления шумов и помех в электронных системах. . – М.: Мир, 1979. – С. 212 – 216.
6. Родионов В.М. Зарождение радиотехники. . – М.: Наука, 1985. – С. 94.
7. Родионов В.М. История радиопередающих устройств. – М.: Наука, 1969. – С. 28–29.
8. Шпанов Н. Рождение мотора. . – М.-Л.: ГЭИ, 1934. – С. 55 – 115.
9. Оггер Г. Магнаты... начало биографии. // Пер. с нем. – М.: Прогресс, 1985. – С. 309 – 316.
10. Долматовский Ю.А. Автомобиль за 100 лет. . – М.: Знание, 1986. – С.58.
11. Рыжов К.В. 100 великих изобретений. . – М.: Вече, 2000. – С. 290 – 301.
12. История электротехники // Под ред. И.А. Глебова. – М.: Издательство МЭИ, 1999. – С. 325.
13. Карпов В.А. Современное электрическое оборудование автомашин // Электричество, 1931, № 2. – С. 69 – 76.
14. Бела Буна. Электроника на автомобиле // Пер. с венгер. – М.: Транспорт, 1979. – С. 41 – 80.