

Факультатив. Униполярный электродвигатель.

Проводящий диск, постоянное магнитное поле, параллельное оси вращения диска, один электрический контакт на оси диска, второй электрический контакт у края диска. Между контактами по радиусу диска пропускают ток. Сила Ампера $d\vec{F} = \frac{I}{c} [d\vec{l}, \vec{B}]$, действующая на ток в магнитном поле, вращает диск.

Факультатив. Электродвигатель постоянного тока.

Электродвигатель постоянного тока состоит из неподвижной статорной обмотки, которую можно заменить постоянным магнитом, и из нескольких обмоток, закрепленных на роторе двигателя. На роторные обмотки со стороны неподвижного источника постоянного напряжения подается ток через щеточно-коллекторный узел. Магнитное поле статорной обмотке направлено перпендикулярно оси вращения ротора. Магнитный дипольный момент $\vec{m} = \frac{I}{c} \vec{S}$, где \vec{S} — вектор площади, каждой роторной обмотки с током также направлен перпендикулярно оси вращения ротора.

Щеточно-коллекторный узел состоит из коллектора (набора медных контактов, расположенных на роторе) и угольных щёток (скользящих контактов, расположенных вне ротора и прижатых к коллектору).

Если бы на роторе была одна обмотка с постоянным током, то дипольный момент этой рамки с током вместе с ротором стремился бы повернуться вдоль магнитного поля для минимизации энергии магнитного диполя в магнитном поле $W = -(\vec{m}, \vec{B})$. Рамка с током повернулась бы и остановилась. Но, когда рамка с током приближается к положению устойчивого равновесия, скользящие контакты отсоединяются от этой рамки и подсоединяются к следующей рамке (следующей обмотке ротора), для которой момент сил близок к максимальному значению. И вращение ротора продолжается.

Факультатив. Вентильные электродвигатели.

Современные двигатели постоянного тока — вентильные электродвигатели. В простейшем вентильном электродвигателе постоянного тока на роторе закреплен постоянный магнит, полюса которого направлены перпендикулярно оси вращения ротора. Две статорные обмотки подключаются к источнику постоянного напряжения по очереди с помощью электронных ключей — вентилях, образуя в области ротора вращающееся магнитное поле, направленное перпендикулярно оси вращения ротора. Какую именно из статорных обмоток нужно подключить в данный момент времени, и в какую сторону нужно пустить ток через эту обмотку определяется положением ротора. То есть скорость вращения магнитного поля статора подстраивается под скорость вращения ротора. Положение ротора определяется по направлению магнитного поля, создаваемого постоянным магнитом вращающегося ротора.

Факультатив. Движение заряженной частицы в электрическом и магнитном поле.

Заряд в электрическом поле движется с постоянным ускорением. В качестве примера можно привести движение электронов в электронном пучке между отклоняющими пластинами электроннолучевой трубки осциллографа.

В магнитном поле заряд движется с постоянной скоростью вдоль магнитного поля и движется с постоянным модулем скорости по окружности в плоскости перпендикулярной магнитному полю. В результате заряд движется по спирали.

$$m \frac{V^2}{R} = \frac{e}{c} VB \quad \Rightarrow \quad \Omega = \frac{eB}{mc} \text{ — так называемая циклотронная частота,}$$

в системе СИ: $\Omega = \frac{eB}{m}$.

Магнитные ловушки для заряженных частиц. Заряженные частицы отражаются от области большого магнитного поля. Дело в том, что при движении в магнитном поле сохраняется кинетическая энергия частицы. Если скорость частицы поперек магнитного поля возрастает, то соответственно убывает скорость вдоль магнитного поля. При достаточной величине магнитного поля эта скорость обращается в ноль, а затем меняет знак. Удержание плазмы от контакта со стенками. Управляемый термоядерный синтез.

Магнитное поле Земли защищает жизнь на Земле от заряженных космических частиц.

Магнитные бури.

Факультатив. Ускорители элементарных частиц.

Линейные ускорители.

Циклотроны, в системе СИ $\Omega = \frac{eB}{m}$ — циклотронная частота, тогда

$$R = \frac{V}{\Omega} = \frac{mV}{eB} \text{ — радиус орбиты электрона.}$$

Синхрофазотроны. В синхрофазотроне при ускорении частицы сохраняется радиус орбиты заряженной частицы за счет увеличения поворачивающего частицу магнитного поля. Для ультррелятивистских частиц частота ускоряющего поля почти не зависит от энергии частиц, так как период обращения частиц примерно равен длине окружности орбиты деленной на скорость света. Для ультррелятивистских частиц такой ускоритель называется синхротроном.

Факультатив. Магнитоплазменный компрессор.

Шесть электродов укреплены перпендикулярно изолирующему диску и имеют одинаковый потенциал. В центре диска установлен еще один электрод, например, заземленный.

На шесть электродов подают высоковольтный мощный короткий импульс напряжения. Газ пробивается на центральный электрод. Сильный кратковременный ток создает сильное магнитное поле вокруг центрального электрода. Магнитное поле тока действует на этот же ток в газе с силой Ампера, в системе СИ: $\vec{F} = I[\vec{dl}, \vec{B}]$. Эта сила выстреливает плазму разряда от диска изолятора.

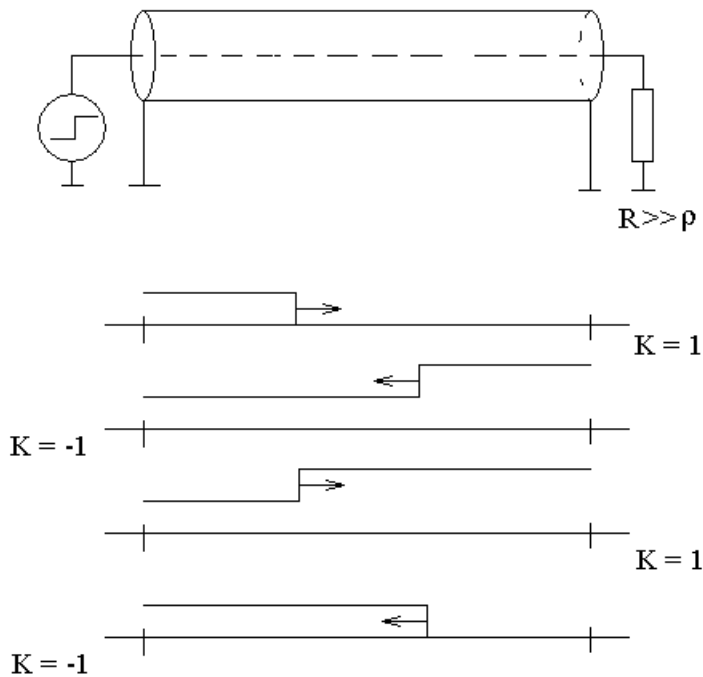
Факультатив. Распространение сигналов в коаксиальном кабеле.

$K = \frac{Z - \rho}{Z + \rho}$ — комплексный коэффициент отражения по напряжению от нагрузки с импедансом Z , подключенной к коаксиальному кабелю с волновым сопротивлением ρ , где $\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$, L — индуктивность кабеля, C — емкость кабеля.

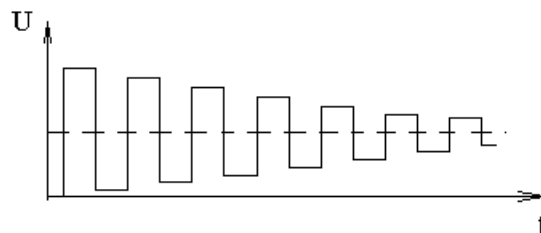
Для подавления многократных отражений от концов коаксиального кабеля в высокочастотных цепях принято стремиться к тому, чтобы выходное сопротивление источника сигнала было равно волновому сопротивлению кабеля, и сопротивление нагрузки было бы равно волновому сопротивлению кабеля.

Если сопротивление источника сигнала мало, а сопротивление нагрузки на другом конце кабеля велико, то на выходе схемы возникает дребезг напряжения при быстром изменении напряжении на входе.

Пусть на вход схемы поступила ступенька напряжения. Эта ступенька не сразу появляется на выходе, а бежит по коаксиальному кабелю со скоростью света. Добежав до конца кабеля, ступенька отражается от высокоомной нагрузки ($K = 1$) и бежит обратно. От низкоомного выходного сопротивления источника сигнала ступенька отражается в противофазе ($K = -1$) и бежит направо к нагрузке, и так далее.



Напряжение на нагрузке, как функция времени примет следующий вид. Здесь пунктирное напряжение — значение напряжения входной ступеньки.



Затухание дребезга связано с тем, что отражение от концов кабеля не совсем единичное.

Факультатив. Электромагнитные волны в волноводе.

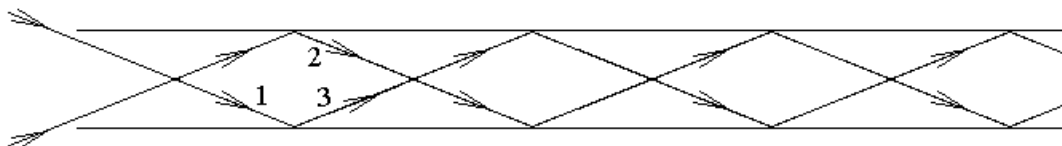
В курсе оптики будет доказано, что электромагнитные волны в вакууме поперечны в том смысле, что и электрическое и магнитное поле поперечны направлению распространения. То же самое относится и к ТЕМ-моду электромагнитных волн в волноводе. ТЕМ-мода — это волна, которая идет строго по оси волновода и не отражается от стенок волновода (угол падения на стенку равен 90^0).

В волноводе прямоугольного сечения может распространяться электромагнитное излучение в виде волн разных мод.

Возможны поперечно электрические (TE — Transverse Electric) моды, у которых отсутствует составляющая электрического поля вдоль оси волновода. Магнитное поле при этом имеет составляющую вдоль оси волновода. На поверхности волновода продольная составляющая магнитного поля достигает максимума (граничные условия).

Возможны поперечно магнитные (ТМ — Transverse Magnetic) моды, у которых отсутствует составляющая магнитного поля вдоль оси волновода. Электрическое поле при этом имеет составляющую вдоль оси волновода. На поверхности волновода составляющая электрического поля вдоль оси волновода равна нулю (граничные условия).

Обсудим подробнее ТЕ-моду. Рассмотрим пару волн бегущих под некоторым углом к оси волновода, как это показано на следующем рисунке. Эти волны многократно отражаются от стенок волновода.



Понятно, что групповая скорость распространения каждой волны (как и пары волн) в направлении оси волновода окажется меньше скорости света в вакууме. Фазовая скорость, наоборот, окажется больше скорости света в пустоте.

Если электрическое поле каждой из двух бегущих волн перпендикулярно плоскости рисунка, то и для суммарной волны электрическое поле окажется перпендикулярно плоскости рисунка и, следовательно, перпендикулярно оси волновода. Это и есть ТЕ-мода. Ось волновода — это направление слева направо.

Если магнитное поле каждой из двух бегущих волн перпендикулярно плоскости рисунка, то и для суммарной волны магнитное поле окажется перпендикулярно плоскости рисунка и, следовательно, перпендикулярно оси волновода. Это ТМ-мода.

На рисунке каждая из двух бегущих волн изображена тонким лучом. На самом деле подразумевается, что волна имеет большой размер в направлении перпендикулярном лучу, то есть по фронту волны. Фронт волны — это поверхность равных фаз. Если построить поверхности равных фаз для лучей 1 и 2, то при совпадении поверхностей должны совпадать и фазы. Это условие определяет, под какими углами к оси волновода могут распространяться бегущие волны.

Чтобы получить это условие нужно учесть, что происходит при отражении бегущей волны от стенки волновода. В идеально проводящем металле электрического поля быть не должно. Тангенциальная составляющая электрического поля при переходе через границу раздела сред не испытывает скачка. Следовательно, при отражении от идеального металлического зеркала тангенциальная составляющая напряженности суммарного электрического поля падающей и отраженной волн равна нулю. Отсюда получают разные граничные условия для ТЕ- и ТМ-мод.

Для ТЕ-моды электрическое поле перпендикулярно плоскости рисунка. Тогда на поверхности металла электрическое поле отраженной волны должно

быть противоположно электрическому полю падающей волны. То есть волна отражается в противоположной фазе или со сдвигом фазы π .

Для ТМ-моды электрическое поле каждой бегущей волны осциллирует в плоскости рисунка, но перпендикулярно направлению распространения волны. Чтобы суммарное электрическое поле при отражении имело нулевую тангенциальную составляющую нужно, чтобы составляющие электрического поля параллельные металлической поверхности вычитались. При этом составляющие перпендикулярные поверхности, наоборот, складываются. При скользком падении луча на металл, это означает, что электрическое поле отражается в той же фазе, а не со сдвигом фазы на π , как это получилось в случае ТЕ-моды.

На самом деле одной моде волновода соответствует четыре бегущих волны, а не две. Пусть направление движения двух бегущих волн на рисунке не наклонено по отношению к плоскости рисунка, например, наклонено к нам. В таком случае эта пара волн спустя некоторое время отразится от стенки прямоугольного волновода параллельной плоскости рисунка, и отраженные волны будут наклонены от нас по отношению к плоскости рисунка на тот же угол. Эта четверка бегущих волн и образует одну волноводную моду. Граничные условия в сочетании с требованием, что фаза после отражений от всех четырех границ волновода должна совпадать с фазой волны, которая не испытала отражений, определяют возможные направления бегущих волн в волноводе. Для каждого направления существуют две моды ТЕ и ТМ.

Факультатив. Электрические наводки.

Емкостная и индуктивная наводка.

Факультатив. Электробезопасность.

Смертельный ток: 0.1 А.

Порог чувствительности: 3 мА.

Типовое сопротивление кожи: 10 кОм.

Электрический стул.

В воде 12 Вольт — смертельно опасное напряжение. Фен в ванной.

Птичка на проводе.

Шипение высоковольтных проводов — коронный разряд.

Напряжение пробоя: $E = 30$ кВ/см.

Искровой разряд. Молния. Гроза.

В грозу опасно стоять на открытом месте; опасно купаться в озере, тем более — в море; опасно стоять под деревом.

Шаровая молния — плазмоид.