

## Тема 18. Электромагнитные волны (ЭМВ)

### 1. ЭМП и ЭМВ

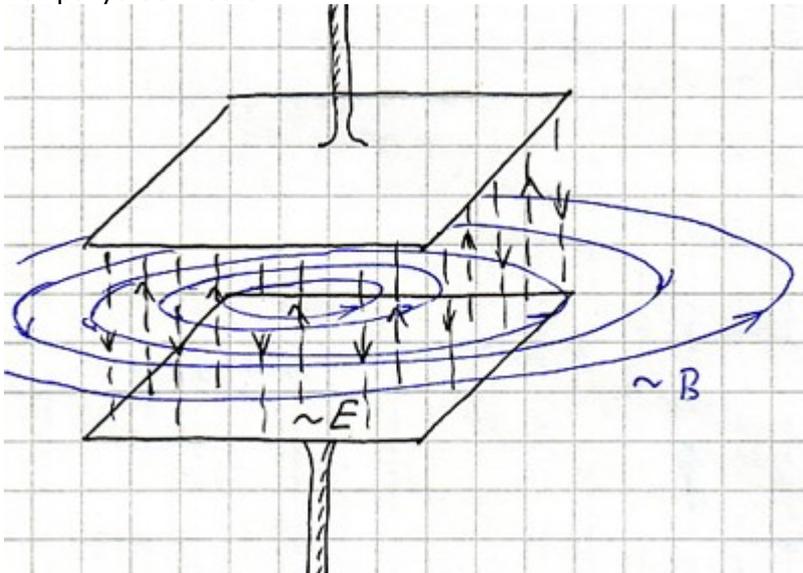
Вот основные положения, связанные с электромагнитными явлениями:

\* Заряженные частицы создают в пространстве ЭП. Линии напряженности ЭП начинаются на положительных и заканчиваются на отрицательных зарядах. ЭП действует на заряженные частицы *независимо* от характера их движения.

\* Электрический ток (упорядоченное движение заряженных частиц) создает в пространстве МП. Линии индукции МП замкнуты (нет частиц, которые имеют только **S** или только **N** полюс. Именно поэтому МП называют *вихревым* полем).

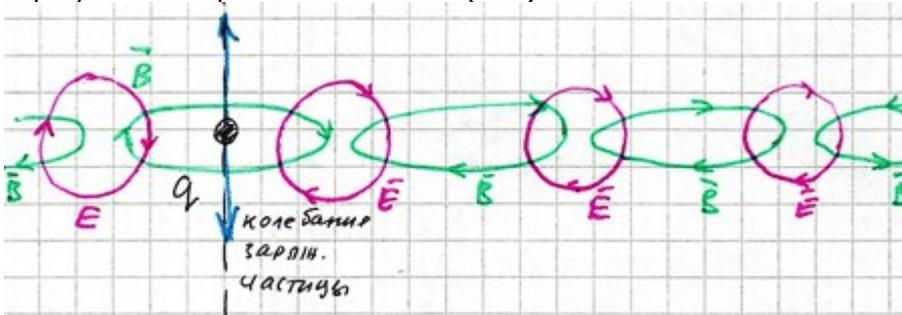
\* Явление ЭМИ доказывает, что МП (вихревое поле!) порождает **вихревое ЭП**, которое и действует на свободные носители заряда в проводнике, заставляя их двигаться упорядоченно - возникает индукционный ток.

Английский физик Дж. К. Максвелл теоретически доказал, что переменное ЭП создает в пространстве переменное МП. Гипотеза Максвелла объясняет тот факт, что конденсатор "пропускает" переменный ток и не пропускает постоянный.



Между пластинами конденсатора создается переменное ЭП, которое порождает переменное МП точно так, как если бы между пластинами протекал электрический ток - воображаемый **ток смещения**. Максвелл доказал также, что в природе не существует отдельно ЭП или МП, а есть единое электромагнитное поле (ЭМП). Просто в разных ситуациях сильнее проявляет себя одна или другая его сущность - электрическая или магнитная.

Если электрический заряд привести в колебательное движение, то вокруг него начнется распространение периодически сменяющих друг друга вихревых электрических и магнитных полей - в пространстве образуется электромагнитная волна (ЭМВ).



**ЭМВ - это распространение ЭМП в пространстве .**

ЭМВ распространяется в пространстве с очень большой, но конечной скоростью. Эта скорость зависит от электрических и магнитных свойств среды. Наибольшая скорость ЭМВ в вакууме, и равна она скорости света. Это также было математически доказано Максвеллом. Одновременно он показал, что свет - это такая же ЭМВ, как, например, радиоволна.

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \epsilon_0 \mu \mu_0}} \quad \epsilon \text{ и } \mu - \text{параметры среды}$$

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$$

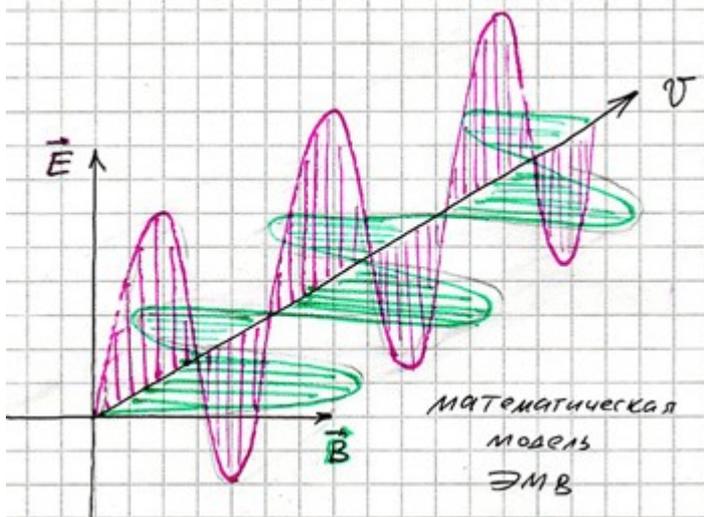
$$\mu_0 = 1,26 \cdot 10^{-6} \text{ Гн/м}$$

Для вакуума  $\epsilon = 1$  и  $\mu = 1$

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = c - \text{скорость света}$$

$$c = 2,99776 \cdot 10^8 \text{ м/с} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

ЭМВ - поперечная волна, т.к. в ней колебания векторов напряженности ЭП и индукции МП происходят в направлении, перпендикулярном распространению волны:



ЭМВ излучается в пространство ускоренно движущимися заряженными частицами. Колебательное движение - это движение с ускорением. Чем больше частота колебаний, тем больше ускорение заряженных частиц и тем интенсивнее ЭМВ, т.е. тем больше ее энергия.

## 2. Получение ЭМВ

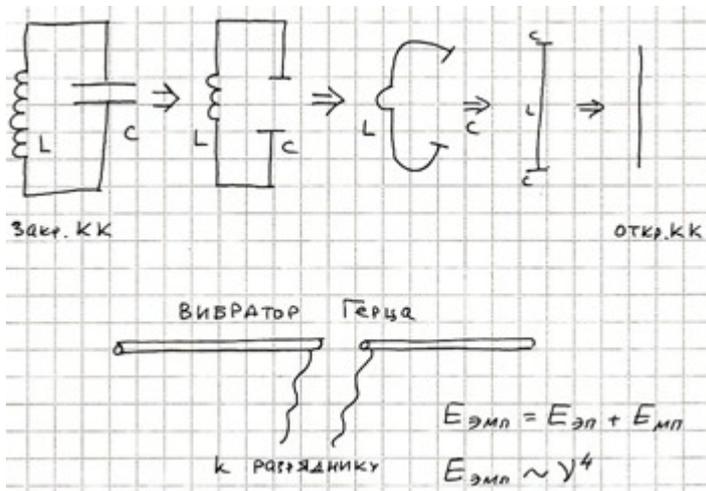
Максвелл создал теорию ЭМП, но экспериментально ЭМВ были получены лишь спустя 10 лет после его смерти немецким физиком **Генрихом Герцем**.

Для образования в пространстве мощной ЭМВ необходимо создать электромагнитные колебания высокой частоты. Их частота определяется емкостью конденсатора  $C$  и индуктивностью катушки  $L$  колебательного контура:

$$\nu_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

Из формулы видно, что если уменьшать  $C$  и  $L$ , то частота колебаний будет возрастать.

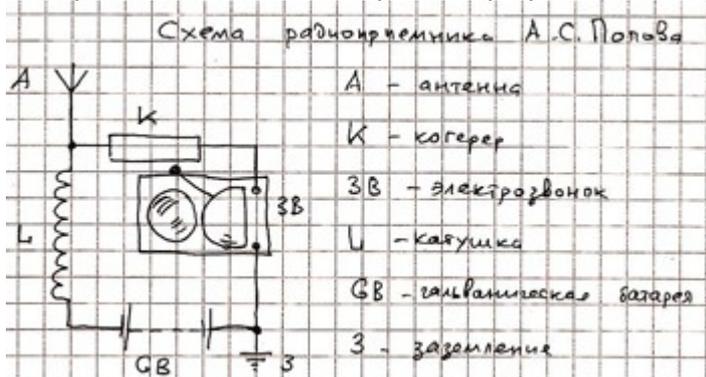
Генрих Герц решил уменьшить емкость конденсатора за счет увеличения расстояния между пластинами и уменьшения их площади, а также уменьшить индуктивность катушки за счет уменьшения количества витков. В итоге он пришел к так называемому открытому КК, который представляет из себя просто отрезок проволоки. В обычном КК ЭП сосредоточено внутри конденсатора, а МП - внутри катушки. В открытом КК все ЭМП образуется снаружи. Торцы открытого КК выполняют роль конденсатора очень малой емкости, а сам проводник - роль катушки очень малой индуктивности. Для возникновения электромагнитных колебаний этот проводник разрезали пополам, подсоединив обе половинки к электрическому разряднику. В момент искрового разряда в таком КК возникают свободные (затухающие) электромагнитные колебания частотой в миллионы Герц, и в пространство излучается ЭМВ. Обнаружить ее можно с помощью такого же устройства, где в момент приема ЭМВ через искровой промежуток проскакивает слабенькая электрическая искорка.



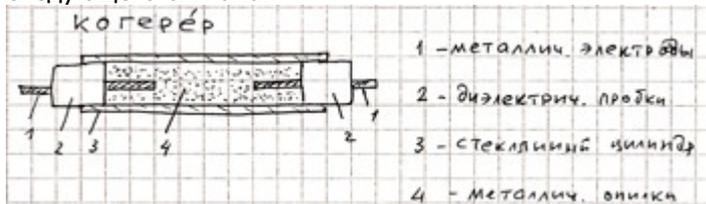
Открытый КК с искровым промежутком получил название **вибратор** Герца. Элементы подобного типа имеют многие передающие и приемные антенны. Названия некоторых сохранили это слово: петлевой вибратор, полуволновой вибратор.

### 3. Изобретение радио

Опыты Герца заинтересовали физиков всего мира. Ученые стали искать пути совершенствования передатчика и приемника ЭМВ. В России первым занялся этой проблемой **Александр Степанович Попов** - преподаватель офицерских минных курсов в Кронштадте. 7 мая 1895 г в Петербурге он продемонстрировал действие своего прибора - первого в мире радиоприемника. На самом деле тогда еще не было передатчиков, чтобы передавать содержательную информацию. Аппарат Попова очень хорошо улавливал электромагнитные волны от грозных разрядов, поэтому поначалу его называли грозоотметчиком.



Принцип действия **радиоприемника Попова** довольно прост. ЭМВ, достигая антенны, создает в ней индукционный переменный ток высокой частоты => в катушке образуется ЭДС самоиндукции также высокой частоты. Ток, проходя через когерер, спекает металлические опилки => сопротивление когерера резко уменьшается => возрастает ток от гальванической батареи => срабатывает электрический звонок - слышен сигнал приема ЭМВ. Одновременно молоточек звонка ударяет по когереру, встряхивает его => контакт между металлическими опилками нарушается => резко возрастает сопротивление когерера => ток в цепи от гальванической батареи уменьшается => звонок выключается => приемник готов к приему следующего сигнала.



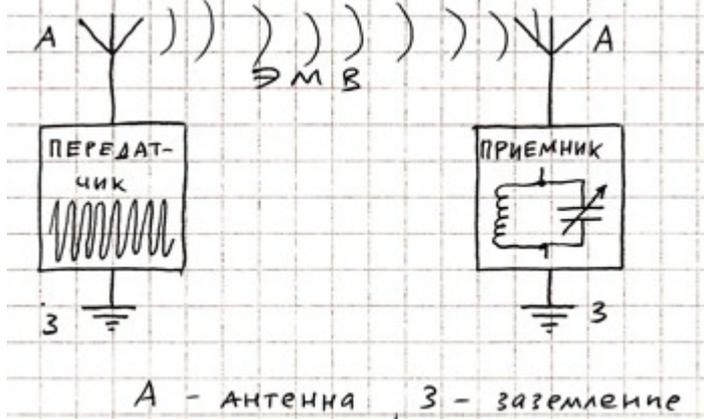
Как видно, основным элементом приёмника является когерер. Он представляет собой стеклянную трубочку, наполненную железными опилками. С торцов в трубку вставлены два электрода. В обычном состоянии контакт между опилками плохой и сопротивление когерера электрическому току очень велико - порядка сотен тысяч Ом. Переменный ток высокой частоты распространяется по поверхности металла (опилок). Между опилками проскакивают микроискры, благодаря которым происходит точечная микросварка частичек металла. При этом сопротивление электрическому когерера току резко уменьшается - до сотен Ом. Таким образом, когерер вместе со звонком выполняет роль регистратора ЭМВ и автоматического выключателя с обратной связью.

В декабре 1897 г А.С. Попов продемонстрировал передачу и прием первой в мире радиограммы на расстоянии 250 м. В начале 1900 г радиосвязь была использована при проведении спасательных работ в

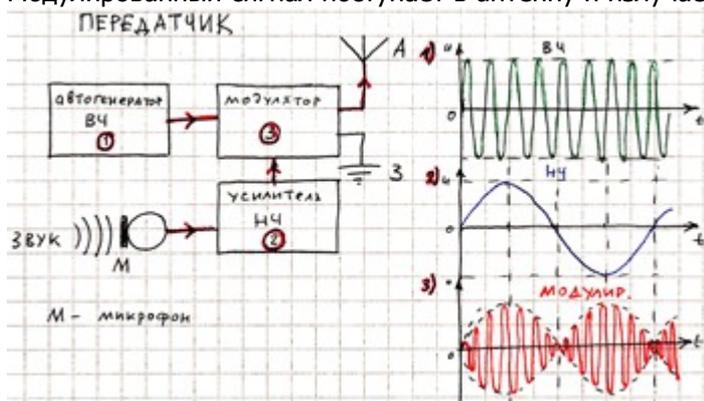
Финском заливе. В 1901 г радиосвязь была установлена на расстоянии 150 км. За рубежом проблемами "беспроводной" связи занимался американец Маркони, который первым осуществил радиопередачу через Атлантический океан.

#### 4. Принципы радиосвязи

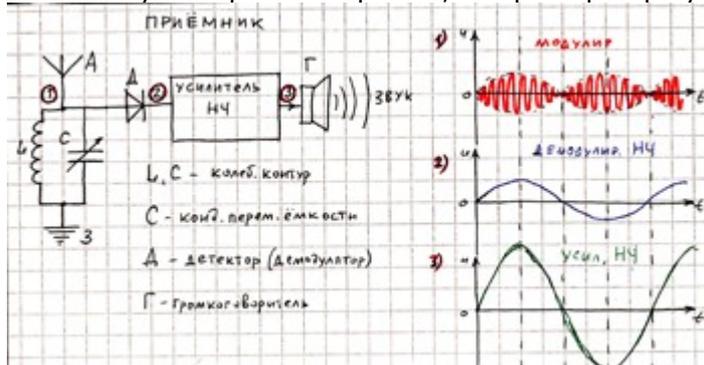
Принципы радиосвязи заключаются в следующем. Автогенератор высокой частоты создает в антенне передатчика колебания переменного тока высокой частоты. Антенна излучает в окружающее пространство ЭМВ. Достигая антенны приемника, ЭМВ создает в ней слабый индукционный ток.



В настоящее время передача радиосигналов таким способом осуществляется очень редко. В основном, передается звук (речь, музыка), а для этого высокочастотный сигнал сначала надо модулировать, а только потом подать его на антенну. Звуковые колебания преобразуются микрофоном в слабый электрический сигнал звуковой частоты. Этот сигнал усиливается и поступает на модулятор, в котором на колебания высокой частоты накладываются колебания низкой (звуковой) частоты - это и есть процесс модуляции. Модулированный сигнал поступает в антенну и излучается в виде ЭМВ.



Для четкого приема сигнала передатчик и приемник должны быть настроены на одну и ту же частоту (волну ил длину волны). С этой целью в радиоприемниках используют приемный колебательный контур (к нему непосредственно подключается антенна) с конденсатором переменной емкости. При изменении емкости этого конденсатора происходит изменение собственной (резонансной) частоты **КК**. В момент совпадения собственной частоты **КК** с частотой передаваемого сигнала наступает резонанс => принимаемый сигнал резко возрастает => поступает на **детектор** (демодулятор), который выделяет из модулированного высокочастотного сигнала низкочастотный сигнал звуковой частоты => который поступает на усилитель => затем поступает громкоговоритель, который преобразует электрический сигнал в звуковые колебания.



Разумеется, данное описание является примитивно простым, и на самом деле все происходит гораздо сложнее. Но сам **принцип** радиосвязи описан верно.

## 5. Свойства ЭМВ

Прежде всего следует отметить, что ЭМВ обладают всеми свойствами, которые присущи механическим волнам:

- ЭМВ диэлектрической поглощаются средой, через которую проходят. Чем больше плотность среды, тем сильнее поглощение. Это связано с потерями энергии при распространении волны в среде. В проводящих средах ЭМВ не могут распространяться.
- ЭМВ частично отражаются от диэлектрических поверхностей, а частично проникают в глубину. От проводящих поверхностей ЭМВ отражаются полностью - на этом основана радиолокация.
- на границе раздела двух диэлектрических сред ЭМВ преломляется.
- ЭМВ - поляризованные волны. Так их называют потому, что колебания векторов напряженности ЭП и индукции МП в волне перпендикулярны направлению распространения волны - скорости.
- ЭМВ могут огибать препятствия - это дифракция.
- когерентные ЭМВ при наложении друг на друга могут взаимно усиливаться или ослабляться - это интерференция.

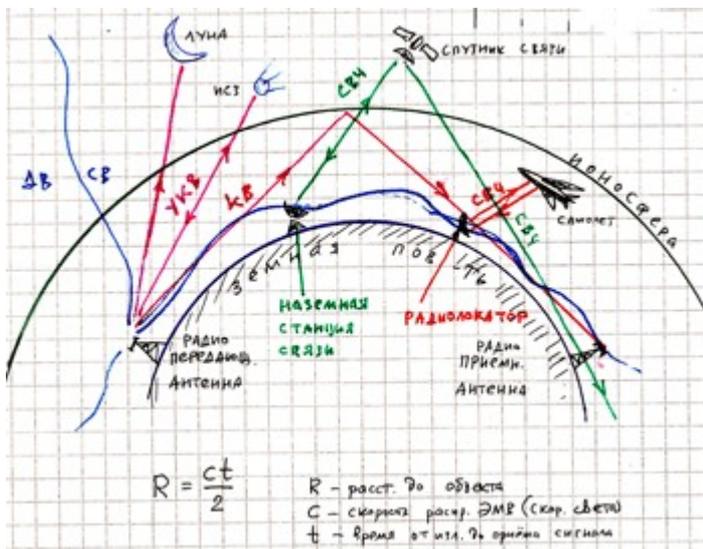
Как уже было сказано, особое значение в технике и в быту имеют радиоволны. Весь диапазон радиоволн разделен на несколько участков:

**I - длинные и средние радиоволны** (длина волны  $> 100$  м, обозначают ДВ и СВ, LW и MW). Они способны огибать земную поверхность и частично отражаются от ионосферы (см. Тема 13, п. 5), поэтому на таких волнах возможна устойчивая радиосвязь на дальние расстояния. Сейчас используется редко, т.к. требует очень больших мощностей передатчиков.

**II - короткие волны** (длина волны от 10 м до 10 м, обозначают КВ или KW). Они почти не огибают земную поверхность и полностью отражаются от ионосферы (см. Тема 13, п. 5). Но состояние ионосферы зависит от времени суток, времени года, солнечной активности => связь на коротких волнах также неустойчива и зависит от природных факторов.

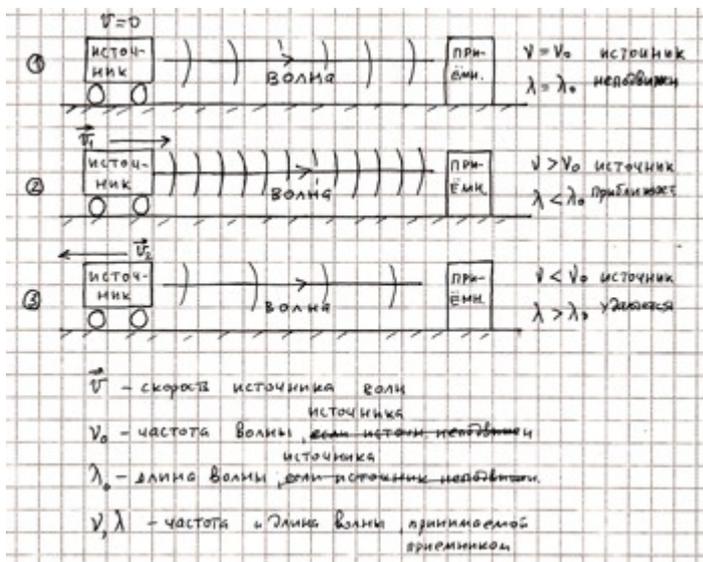
**III - ультракороткие волны** (длина волны от 10 м до 1 м, обозначают УКВ или FM). Распространяются почти в пределах прямой видимости и полностью проходят сквозь ионосферу (см. Тема 13, п. 5). На этих волнах ведутся качественные стереофонические радио- и телевизионные передачи, осуществляется связь с космическими аппаратами.

**IV - сверхвысокочастотные волны** (длина волны от десятков сантиметров и менее, частота от сотен Меггерц до сотен Гиггерц). Распространяются в пределах прямой видимости. Могут нести очень много информации, не требуют больших мощностей передатчиков. В СВЧ-диапазоне осуществляется мобильная связь, спутниковое телевидение и спутниковый Интернет.



## 6. Эффект Доплера

В 1842 г. австрийский физик К. Доплер впервые теоретически обосновал зависимость частоты и длины волны от скорости, с которой движется источник волны относительно приемника.



Пусть источник излучает в пространство волну с некоторой частотой и длиной .

Если источник и приемник неподвижны, то частота и длина волны, зафиксированные приемником, будут совершенно одинаковы (1).

Если источник приближается к приемнику с некоторой скоростью, то, зафиксированная приемником частота будет больше, а длина волны - меньше, чем в первом случае (2).

Если источник удаляется от приемника с некоторой скоростью, то, зафиксированная приемником частота будет меньше, а длина волны - больше, чем в первом случае (3).

Это явление позже получило название "[эффект Доплера](#)". Оказалось, что данный эффект существует для любых волн, в том числе звуковых и ЭМВ.

### Контрольные вопросы:

1. Перечислите основные положения, связанные с электромагнитными явлениями.
2. Как объяснить тот факт, что конденсатор "пропускает" переменный ток и не пропускает постоянный?
3. Что такое «ЭМВ»?
4. От чего зависит скорость распространения ЭМВ?
5. Запишите формулу скорости ЭМВ.
6. Чему равна скорость ЭМВ в вакууме?
7. Постройте математическую модель ЭМВ. Как связаны между собой направление распространения ЭМВ и направления колебаний векторов  $\mathbf{E}$  и  $\mathbf{H}$ ?
8. От чего зависит энергия ЭМВ?
9. От чего зависит собственная частота КК?
10. Как Г.Герц пришел к созданию открытого КК?
11. Что представляет собой вибратор Герца?
12. Изобразите схему первого радиоприемника А.С. Попова и назовите его элементы.
13. Изобразите когерер и опишите его принцип действия.
14. Опишите принцип действия радиоприемника А.С. Попова.
15. В чем состоит принцип радиосвязи. Изобразите схему.
16. Опишите принцип передачи звуковых сигналов с помощью радиоволн.
17. Постройте блок-схему передатчика модулированных звуковых сигналов.
18. Схематически изобразите графики процесса модуляции звуковых сигналов.
19. Опишите принцип приема звуковых сигналов с помощью радиоволн.
20. Постройте блок-схему приемника модулированных звуковых сигналов.
21. Схематически изобразите графики процесса демодуляции звуковых сигналов.
22. Перечислите свойства ЭМВ.
23. Опишите свойства длинных и средних радиоволн.
24. Опишите свойства коротких радиоволн.
25. Опишите свойства ультракоротких радиоволн.
26. Опишите свойства сверхвысокочастотных радиоволн.
27. Изобразите схему распространения радиоволн.
28. Как соотносятся длины волн источника и приемника, если они неподвижны?
29. Как соотносятся длины волн источника и приемника, если они движутся навстречу друг другу?
30. Как соотносятся длины волн источника и приемника, если они движутся в разные стороны друг от друга?