

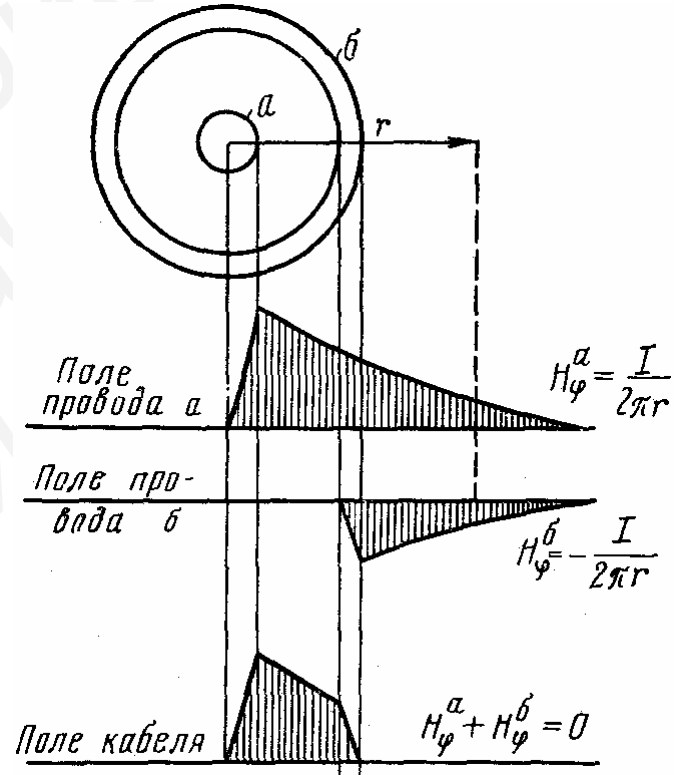
Коаксиальные кабели

Электрические процессы в коаксиальных цепях

Способность коаксиальной пары пропускать широкий спектр частот конструктивно обеспечивается коаксиальным расположением внутреннего и внешнего проводников. Взаимодействие электромагнитных полей внутреннего и внешнего проводников коаксиальной пары таково, что внешнее поле равно нулю.

В металлической толщине проводника a магнитное поле H_φ^a возрастает, а вне его уменьшается по закону

$H_\varphi^a = I/2\pi r$, где r – расстояние от центра проводника.

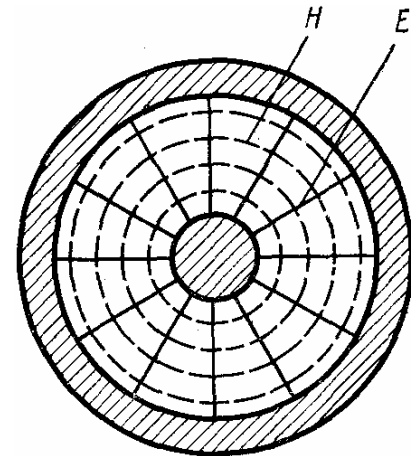


Поле H_{ϕ}^b проводника b внутри полого цилиндра отсутствует, а вне его выражается таким же уравнением: $H_{\phi}^b = -I/2\pi r$, где r – расстояние от центра полого проводника.

Учитывая, что токи в проводниках a и b равны по величине и противоположны по знаку, магнитные поля внутреннего и внешнего проводников H_{ϕ}^a и H_{ϕ}^b в любой точке пространства вне коаксиальной пары также будут равны по величине и направлены в разные стороны. Следовательно, результирующее магнитное поле вне коаксиальной пары будет равно нулю.

Таким образом, силовые линии магнитного поля располагаются внутри коаксиальной пары в виде концентрических окружностей; вне коаксиальной пары магнитное поле отсутствует.

Электрическое поле внутри коаксиальной пары также замыкается по радиальным направлениям между проводниками, а за ее пределами равно нулю.



Отсутствие внешнего электромагнитного поля обуславливает основные достоинства коаксиальных кабелей:

- широкий диапазон частот;
- большое число каналов;
- защищенность от помех;
- возможность организации однокабельной связи.

Поверхностный эффект и эффект близости

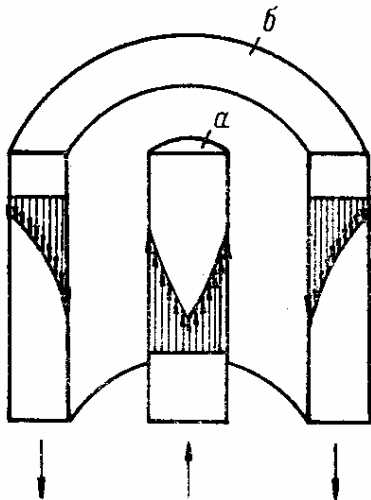
Поверхностный эффект во внутреннем проводнике полностью аналогичен эффекту в проводнике симметричной линии, а во внешнем проводнике плотность тока увеличивается в направлении к его внутренней поверхности.

Это объясняется воздействием поля внутреннего проводника. Если бы этого проводника не было, то переменный ток, проходя по внешнему проводнику, вследствие поверхностного эффекта вытеснялся бы на внешнюю поверхность.

Воздействие внутреннего проводника a состоит в том, что переменное магнитное поле, создаваемое протекающим в нем током, наводит в металлической толще полого проводника b вихревые токи $I_{в.т.}$.

На внутренней поверхности проводника b вихревые токи совпадают по направлению с основным током ($I + I_{в.т.}$), а на наружной — движутся против него ($I - I_{в.т.}$).

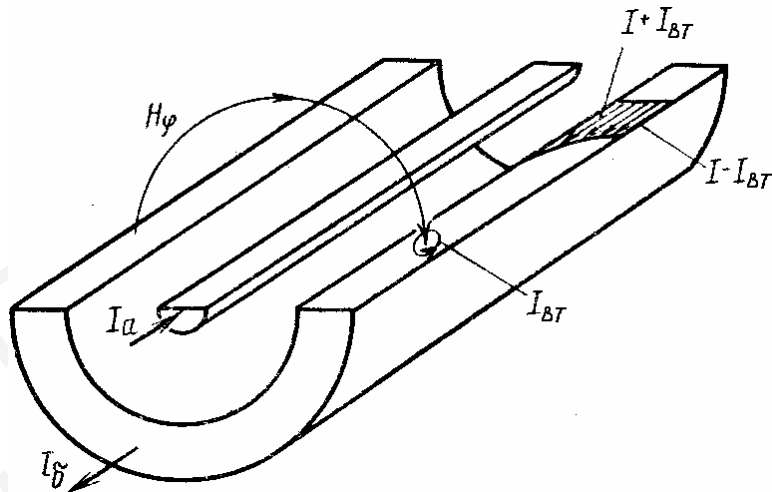
В результате ток в проводнике перераспределяется таким образом, что



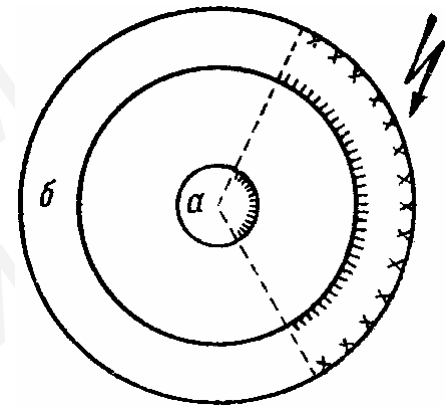
его плотность возрастает в направлении к внутренней

поверхности. Следовательно, токи в проводниках a и b как бы смещаются и концентрируются на взаимно обращенных поверхностях проводников.

Чем выше частота, тем сильнее эффект смещения тока на внешнюю поверхность проводника a и внутреннюю поверхность проводника b . В результате энергия сосредотачивается внутри коаксиального кабеля в диэлектрике, а проводники лишь задают направление распространению волн электромагнитной энергии.



Мешающее электромагнитное поле высокой частоты, создаваемой соседними цепями передачи или другими источниками помех, действуя на внешний проводник коаксиальной пары, также будет распространяться не по всему сечению кабеля, а лишь по его наружной поверхности.



Внешний проводник коаксиальной пары выполняет две функции:

- является *обратным проводником* цепи передачи;
- *защищает* (экранирует) передачу от мешающих влияний.

Основной ток передачи концентрируется на внутренней поверхности внешнего проводника, а ток помех – на наружной стороне внешнего проводника.

Как основной ток, так и ток помех проникают в толщу проводника лишь на глубину, определяемую коэффициентом вихревых токов $k = \sqrt{\omega\mu_a\sigma}$. Чем выше частота, тем больше отдаляются друг от друга указанные токи и, следовательно, кабель лучше защищен от действия посторонних помех.

Таким образом, основные преимущества коаксиального кабеля особенно ярко проявляются в высокочастотной части передаваемого спектра частот.

Определение первичных параметров коаксиальных линий

Сопротивление и индуктивность

Определение этих параметров производится на основе учета поглощаемой проводниками энергии, направленной внутрь коаксиального кабеля.

Полное сопротивление коаксиальной пары складывается из сопротивлений внутреннего R_a и внешнего R_b проводников.

При определении общей индуктивности коаксиального кабеля необходимо учесть, кроме внутренней индуктивности проводников L_a и L_b , также внешнюю межпроводниковую индуктивность $L_{вн}$.

Для высоких частот (60...100 кГц и выше), представляющих наибольший интерес для коаксиального кабеля, расчет этих параметров можно производить по следующим упрощенным формулам:

$$R = R_a + R_b = \frac{\sqrt{2}k}{4\pi\sigma} \left(\frac{1}{r_a} + \frac{1}{r_b} \right), \text{ [Ом/км]},$$

где r_a – радиус внутреннего проводника;

r_b – внутренний радиус внешнего проводника;

k – коэффициент вихревых токов; σ – проводимость проводников;

$$L = L_a + L_b + L_{\text{вн}} = \left[\frac{\sqrt{2}\mu_a}{4\pi k} \left(\frac{1}{r_a} + \frac{1}{r_b} \right) + 2 \ln \frac{r_b}{r_a} \cdot 10^{-4} \right], \text{ [Гн/км]},$$

где μ_a – абсолютная магнитная проницаемость проводников.

Емкость и проводимость изоляции

При определении емкости коаксиального кабеля учитывают, что он аналогичен цилиндрическому конденсатору и его электрическое поле создается двумя цилиндрическими поверхностями с общей осью, вследствие этого напряженность электрического поля имеет равные потенциалы на одинаковом расстоянии от центра кабеля:

$$C = \frac{\varepsilon \cdot 10^{-6}}{18 \ln(r_b/r_a)}, \text{ [Ф/км]},$$

где ε – диэлектрическая проницаемость изоляции;

Проводимость изоляции коаксиального кабеля определяется по той же формуле, что и симметричного кабеля:

$$G = \frac{1}{R_{\text{из}}} + \omega C \operatorname{tg} \delta, \text{ [См/км]}.$$

Поскольку на практике $R_{\text{из}}$ нормируется на уровне 10^4 МОм·км, то в используемом диапазоне часто проводимость изоляции можно не учитывать.

Основные зависимости первичных параметров коаксиальных линий

Частотные зависимости первичных параметров коаксиальных линий полностью аналогичны зависимостям параметров симметричных линий.

С ростом частоты активное сопротивление закономерно возрастает за счет поверхностного эффекта и эффекта близости. Причем наибольшее удельное значение имеет сопротивление внутреннего проводника – величина R_a больше R_b в 3...4 раза.

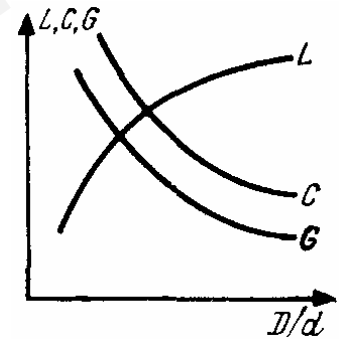
Индуктивность с увеличением частоты уменьшается. Это обусловлено уменьшением внутренней индуктивности проводников L_a и L_b за счет поверхностного эффекта. Внешняя индуктивность $L_{вн}$ с изменением частоты не меняется.

Емкость не зависит от частоты.

Проводимость изоляции с ростом частоты линейно возрастает. Величина ее в первую очередь зависит от качества диэлектрика, используемого в кабеле.

Изменение первичных параметров с увеличением соотношения радиусов (диаметров) внешнего и внутреннего проводников коаксиального кабеля имеет вид.

С увеличением D/d (r_b/r_a) индуктивность кабеля возрастает, а его емкость и проводимость изоляции снижаются.



Активное сопротивление R зависит не от соотношения D/d , а от абсолютных значений радиусов внешнего и внутреннего проводников. Чем толще проводники, тем меньше активное сопротивление.