

Значения первичных параметров существующих типов линий составляют: $R = 5 \dots 200 \text{ Ом/км}$; $L = 0,6 \dots 2 \text{ мГ/км}$; $C = 6 \dots 50 \text{ нФ/км}$; $G = 1 \dots 200 \text{ мкСм/км}$.

В кабельных линиях за счет тонких проводников и близкого их расположения преобладают параметры R и C . Емкость кабеля в 3...5 раз больше емкости воздушной линии, а активное сопротивление – в 5...10 раз. Индуктивность кабеля, наоборот, меньше в 2...3 раза.

Определение вторичных параметров симметричных линий

Вторичные параметры симметричных линий (Z_B , α , β , v) рассчитываются по общим формулам. В ряде случаев их можно выразить непосредственно через габаритные размеры цепей (a , d) и качество исходных материалов (ϵ , $\text{tg}\delta$).

Волновое сопротивление симметричной линии:

$$Z_B = \frac{120}{\sqrt{\epsilon}} \ln \left(\frac{a-r}{r} \right), [\text{Ом}].$$

Коэффициент затухания:

$$\alpha = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2} \sqrt{\frac{L}{C}}, \text{ [дБ/км]}.$$

Коэффициент фазы:

$$\beta = \omega \sqrt{LC} = \omega \sqrt{\varepsilon} / c, \text{ [рад/км]}.$$

Скорость распространения энергии:

$$v = 1 / \sqrt{LC} = c / \sqrt{\varepsilon}, \text{ [км/с]}.$$

Определение параметров симметричных экранированных линий

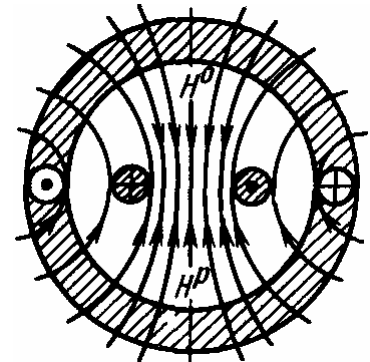
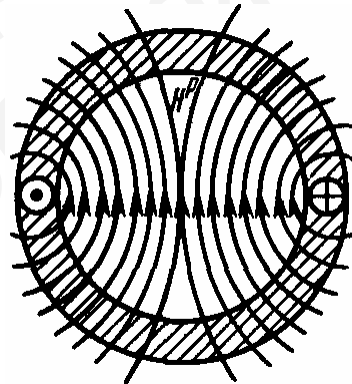
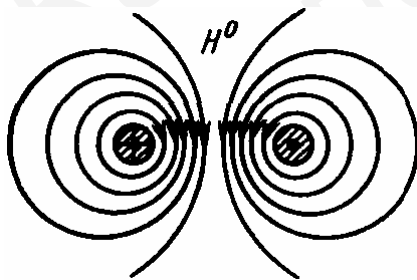
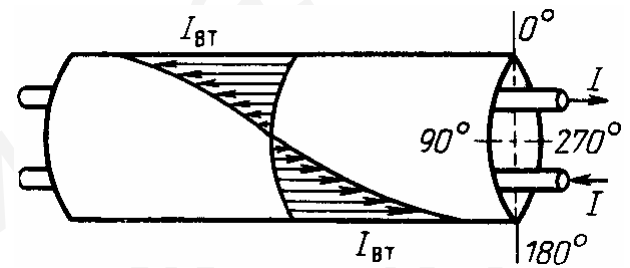
Параметры экранированного симметричного кабеля из-за эффекта отражения экрана отличаются от параметров неэкранированного кабеля.

Этот эффект состоит в том, что электромагнитная волна, падая на экран, лишь частично проникает внутрь него, а остальная часть ее отражается, накладываясь на поле кабеля, изменяя его амплитуду и фазу.

Переменное магнитное поле, пронизывая металлическую толщу экрана, наводит в ней вихревые токи.

Вихревые токи циркулируют вдоль экрана в прямом направлении с одной стороны ($\varphi = 0^\circ$) и в обратном – с другой ($\varphi = 180^\circ$). В этих точках вихревые токи имеют наибольшую концентрацию. При $\varphi = 90^\circ$ и 270° вихревые токи равны нулю.

Вихревые токи в экране имеют направление, обратное направлению тока в близлежащей жиле. В результате создаются как бы две цепи с токами разных направлений (основного и вихревых токов) и соответственно возникают разнонаправленные магнитные поля (основное H^0 и поле реакции H^p).



Вихревые токи, циркулируя по замкнутым путям, нагревают экран и создают дополнительные потери энергии.

Сопротивление и индуктивность

При расчете активного сопротивления экранированного симметричного кабеля, кроме сопротивления поверхностного эффекта $R_{п.э.}$ и сопротивления эффекта близости $R_{э.б.}$, необходимо также учитывать воздействие экрана на эффект близости $R_{р.э.}$ и дополнительные потери, вызываемые экраном $R_э$:

$$R = 2(R_0 + R_{п.э.} + R_{э.б.} + R_{р.э.}) + R_э.$$

Сопротивление от эффекта близости с учетом воздействия экрана

$$R_{э.б.} + R_{р.э.} = \left(1 - 4 \frac{a^2 r_э^2}{r_э^4 - a^4} \right) R_{э.б.},$$

где $r_э$ – внутренний радиус экрана.

Экран, уменьшая магнитное поле, снижает действие эффекта близости.

Можно подобрать такие размеры поперечного сечения кабеля, при которых потери от эффекта близости будут устранены. Таким условием является:

$$4a^2r_3^2 / (r_3^4 - a^4) = 1 \Rightarrow a/r_3 = 0,486.$$

Следовательно, оптимальное с точки зрения активных потерь расстояние между жилами кабеля равно приблизительно половине радиуса экрана.

При соблюдении указанного оптимального соотношения a и r_3 полное активное сопротивление симметричного экранированного кабеля составит:

$$R = 2(R_0 + R_{\text{п.э.}}) + R_3,$$

где сопротивление за счет потерь в экране определяется как:

$$R_3 = 8R_{03} \left(G(k_3 r_3) \frac{a^2 r_3^2}{r_3^4 - a^4} \right) / \left(1 - H(k_3 r_3) \frac{a^2 r_3^2}{r_3^4 - a^4} \right),$$

где R_{03} – сопротивление экрана постоянному току;

$k_3 = \sqrt{\omega \mu_3 \sigma}$ – коэффициент потерь для металла экрана;

μ_3 – абсолютная магнитная проницаемость экрана.

Индуктивность симметричной экранированной цепи за счет воздействия отраженного от экрана магнитного поля несколько уменьшается:

$$L_{\text{внэ}} = 4 \ln \frac{2a r_3^2 - a^2}{r r_3^2 + a^2} \cdot 10^{-4}.$$

С уменьшением радиуса экрана межпроводниковая индуктивность существенно уменьшается. В реальных кабельных конструкциях изменение может достигать 15...20%.

Емкость и проводимость изоляции

Емкость симметричной экранированной цепи определяется выражением:

$$C_3 = \frac{\varepsilon}{36 \ln \frac{2a r_3^2 - a^2}{r r_3^2 + a^2}} \cdot 10^{-6}.$$

Емкость экранированной цепи больше емкости неэкранированной. Чем ближе проводники расположены к экрану ($a/r_3 \rightarrow 1$), тем сильнее эффект воздействия экрана и больше емкость цепи. При больших радиусах экрана ($r_3 \rightarrow \infty$) емкость экранированной цепи приближается к емкости неэкранированной.

Проводимость изоляции экранированной цепи, так же, как и неэкранированной, определяется выражением

$$G_э = 1/R_{из} + \omega C_э \operatorname{tg} \delta.$$

Оптимальные соотношения параметров линий связи

Одной из актуальных проблем кабельной техники является увеличение дальности связи без дополнительного расхода цветных металлов (за счет увеличения сечения проводников кабеля и снижения их сопротивления).

Для решения этой проблемы совершенствуют аппаратуру связи и уменьшают затухание кабельной цепи.

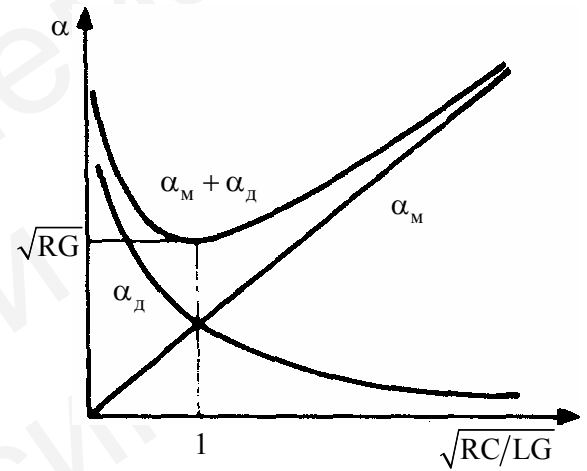
Коэффициент затухания определяется выражением:

$$\alpha = R/2\sqrt{C/L} + G/2\sqrt{L/C} = \alpha_m + \alpha_d,$$

где α_m , α_d – коэффициенты затухания в металле и диэлектрике.

Создать такую линию, в которой $R = G = 0$ невозможно, поскольку любая реальная кабельная цепь обладает активным сопротивлением R и проводимостью G . Можно лишь подобрать такое соотношение между параметрами цепи, чтобы затухание ее было наименьшим.

Характер изменения коэффициентов α_M и α_D при различных $X = \sqrt{RC/LG}$ имеет следующий вид. С ростом X величина α_M увеличивается, а α_D резко уменьшается. При $X = 1$ потери в металле равны потерям в диэлектрике ($\alpha_M = \alpha_D$) и затухание кабеля имеет наименьшую величину $\alpha_{\min} = \alpha_0 = \sqrt{RG}$.



Это имеет место в том случае, когда первичные параметры цепи находятся в соотношении $RC = LG$. Такое соотношение является оптимальным, и к нему следует стремиться при конструировании кабелей связи. В кабелях существующих типов R и C превосходят по величинам L и G , т.е. $RC \gg LG$.

Затухание может быть снижено:

- уменьшением R – затруднительно, т.к. величина R регламентирована допустимым расходом меди (диаметром жилы);
- уменьшением емкости цепи C – нецелесообразно, т.к. требует увеличения расстояния между жилами кабеля (увеличения габаритных размеров);
- увеличением индуктивности L – единственный реальный путь уменьшения затухания.

Существует несколько различных способов искусственного увеличения индуктивности кабельных цепей связи:

- *пупинизация* – включение в кабельную цепь через определенные расстояния пупиновских (в честь автора Пупина) катушек индуктивности;
- *кранупизация* – применение ферромагнитной обмотки на токопроводящей жиле;
- *биметаллизация* – применение биметаллических ожелезненных жил;
- использование *магнитодиэлектрика*.