

# Лекция 4

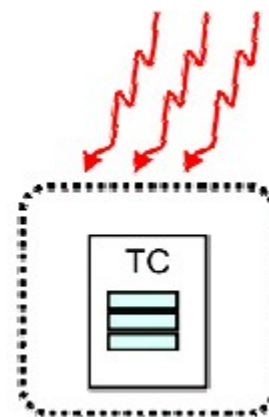
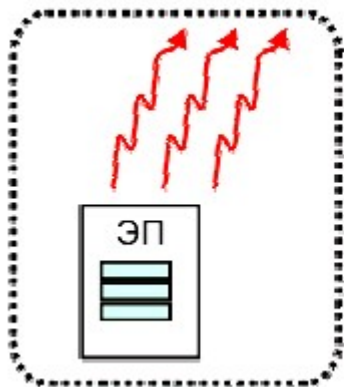
## Экранирование

# Определения

- **Экранированием** называется локализация электромагнитного поля в определенном пространстве путем ограничения его распространения всеми возможными способами
- **Электромагнитный экран** – конструкция, предназначенная для ослабления электромагнитных полей, создаваемых какими-либо источниками в некоторой области пространства, не содержащей этих источников

# Классификация экранов

- **С внутренним возбуждением электромагнитного поля**
  - *локализация источник помех*
- **Экраны внешнего электромагнитного поля**
  - *во внутренней полости которых помещаются чувствительные к этим полям устройства для защиты от воздействия внешних помех*



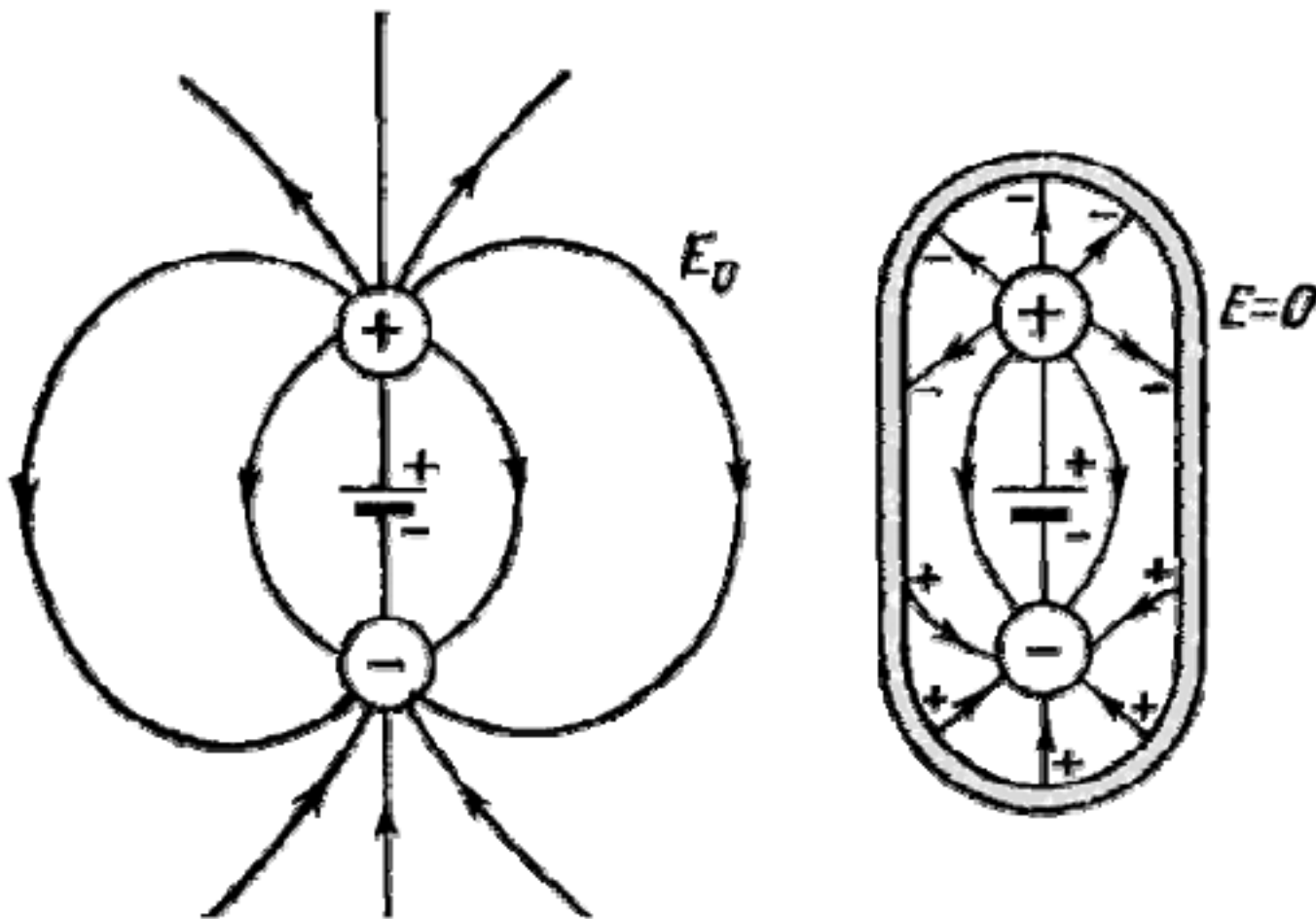
# Режимы работы экрана

- **электростатический** (при  $r \ll \lambda$ ), когда преобладает электрическая составляющая, то есть  $|E| \gg |H|$
- **магнитостатический** (при  $r \ll \lambda$ ), когда преобладает магнитная составляющая, то есть  $|H| \gg |E|$
- **электромагнитный** (при  $r \gg \lambda$ ), когда обе составляющие равноценны,  $E = 377 H$

# Электростатическое экранирование

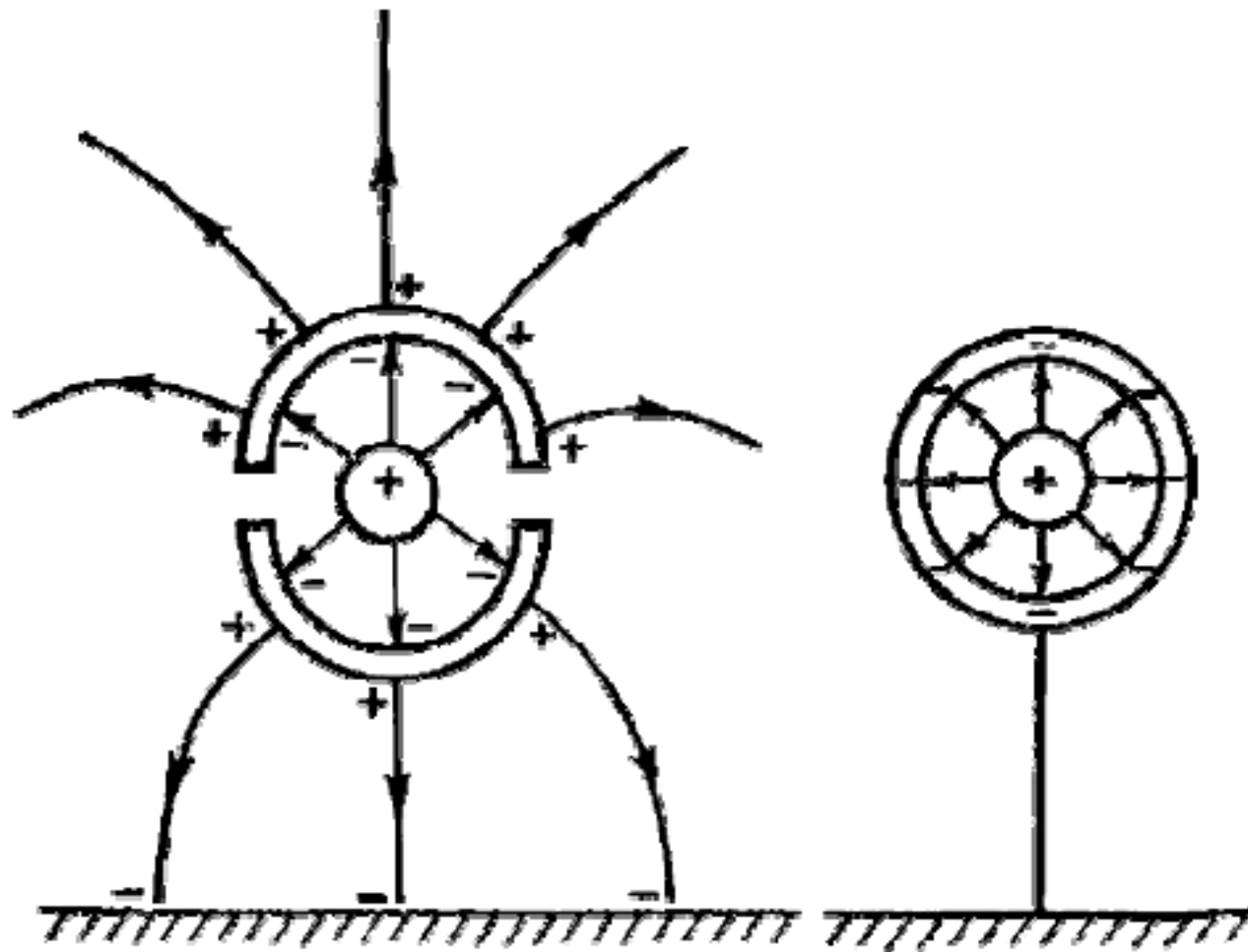
- Электростатическое экранирование состоит в шунтировании паразитной емкости (между источником и приемником наводок) на корпус
- Эффективность не зависит от толщины и металла экрана
  - *часто электростатические экраны – тонкий слой металлизированного диэлектрика тонкого слоя*
  - *в трансформаторах часто экран выполняют в виде не замкнутого кольца из медной фольги или обмоток, один конец которых заземлен*

# Электростатическое экранирование электрического диполя



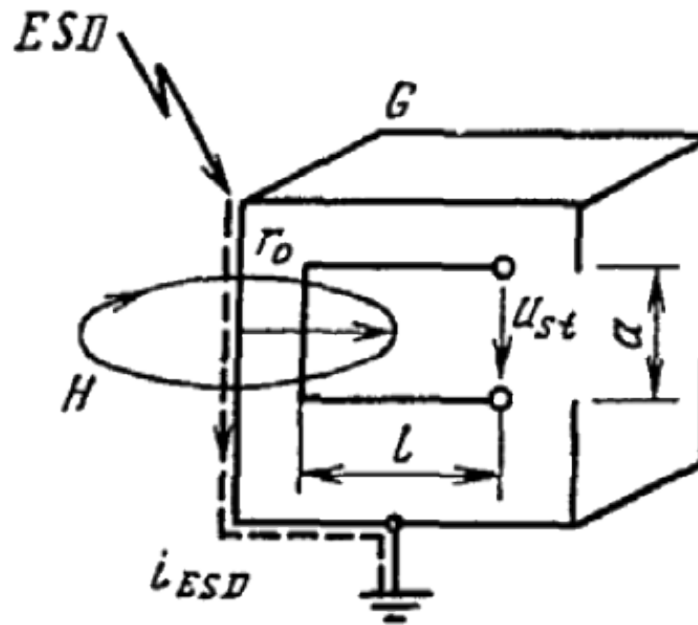
Сумма всех зарядов внутри экрана равна нулю – заземление экрана не требуется

# Электростатическое экранирование заряженного тела



Экран не заземлен

Экран замкнут и заземлен

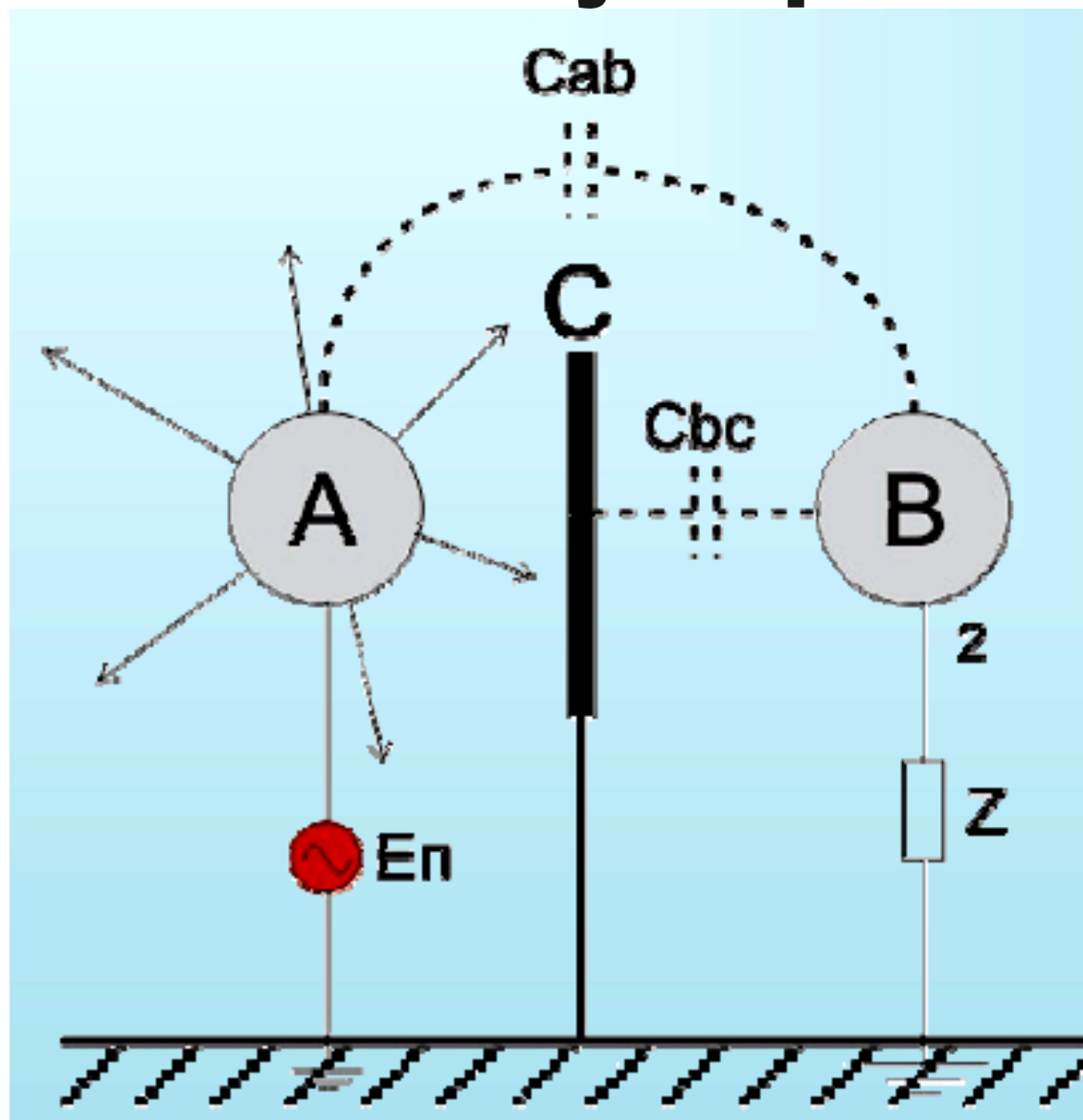


Индуктивное влияние разряда статического электричества  $ESD$  на петлю  $l$  внутри прибора  $G$

Влияющие контура могут быть образованы, например, путями протекания тока при ударах молнии или разрядах статического электричества.



# Электростатическое экранирование емкостным шунтированием

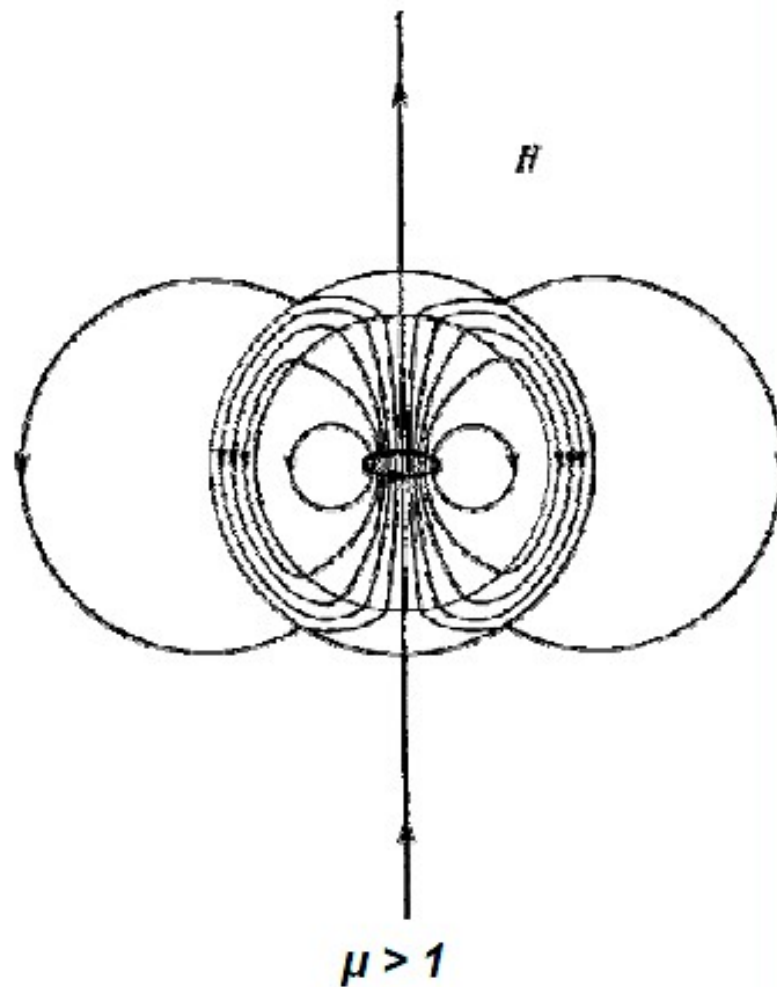
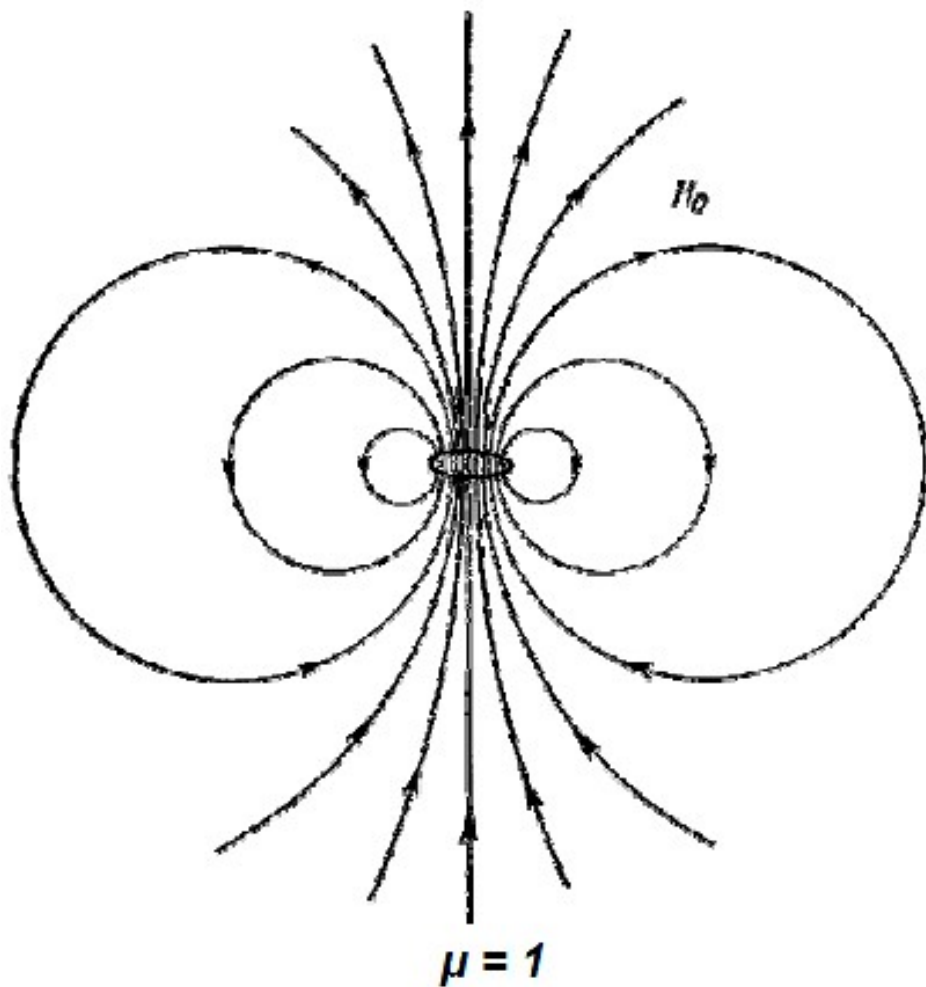


# Магнитоэкранирование

- Защита осуществляется от постоянных и медленно меняющихся магнитных полей.
  - *Экраны изготавливают в основном из ферромагнитных материалов (пермаллой, сталь, ферриты) с большой магнитной проницаемостью. При наличии такого экрана силовые линии магнитного поля проходят в основном по его стенкам, которые обладают малым магнитным сопротивлением по сравнению с сопротивлением воздушного пространства около экрана (**магнитное шунтирование**)*
- Эффективность экранирования таких полей **зависит от магнитной проницаемости экрана и его толщины**, а также от наличия **стыков и швов**, расположенных перпендикулярно силовым линиям магнитного поля

# Магнитостатическое экранирование

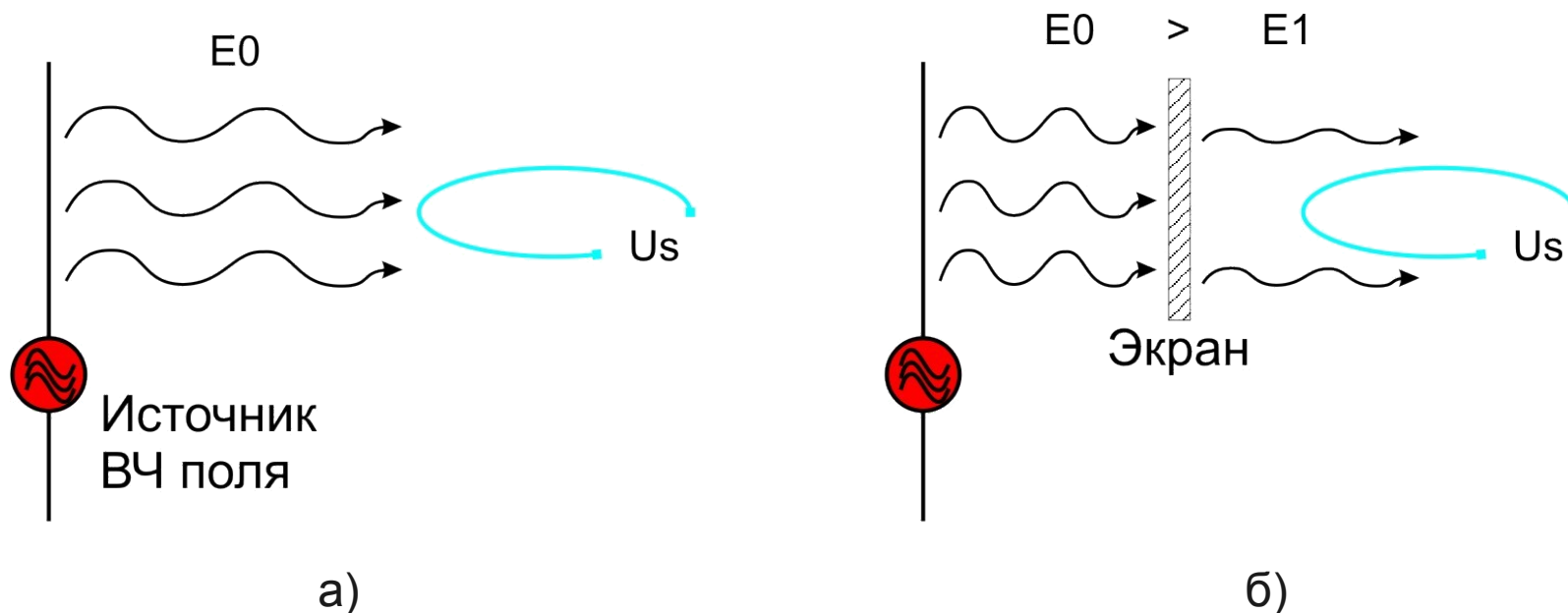
## ВИТКА С ПОСТОЯННЫМ ТОКОМ



# Электромагнитное экранирование

- Под действием источника электромагнитной энергии на стороне экрана, обращенной к источнику, возникают заряды, а в его стенках – токи, образующие во внешнем пространстве поля, по напряженности близкие к полю источника, а по направлению – противоположные ему
- В результате внутри экрана происходит взаимная компенсация полей, а снаружи его – вытеснение внешнего поля полями вихревых токов (эффект отражения).
- Кроме того, происходит поглощение поля за счет потерь на джоулеву теплоту (при протекании вихревых токов по стенкам экрана) и на перемагничивании (если экран выполнен из ферромагнитного материала)

## Электромагнитное влияние на контур без экрана (а) и с экраном (б)



За счет поглощения энергии поля и отражения падающей волны напряженность поля  $E_1$  за экраном меньше напряженности поля  $E_0$ . Экран должен быть выполнен из материала с высокой электропроводностью и высокой магнитной проницаемостью.

$$\mathcal{E} = \frac{E_0}{E} \quad \text{или} \quad \mathcal{E} = \frac{H_0}{H}$$

# Эквивалентная глубина проникновения

- величиной, характеризующей экранирующее действие материала экрана, является эквивалентная глубина проникновения  $\Delta$

$$\Delta = 0,52 \sqrt{\frac{\rho}{\mu_r f}}$$

- $\rho$  - удельное сопротивление материала экрана, Ом·м;
- $f$  - частота, МГц,
- $\mu_r$  – относительная магнитная проницаемость материала
- экрана

# Эквивалентный радиус экрана

- Чтобы сравнивать экраны различных форм, вводится обобщенный параметр -  $R_{\text{э}}$ .
- Для экрана прямоугольной формы с размерами  $a$ ,  $b$ ,  $c$ :

$$R_{\text{э}} = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi} abc}$$

- Для сферического экрана  $R_{\text{э}} = r_{\text{э}}$

# Эффективность электромагнитного экранирования реальных экранов

$$\mathcal{E}_{0E(H)} = \sqrt{\frac{\Delta}{\rho} Z_E(H)} \sqrt[3]{\frac{\lambda}{R_\varepsilon}} e^{\left(\frac{2\pi d}{m}\right)} \left(1 - \frac{\pi m}{\lambda}\right)^6$$

где  $\Delta$  - глубина проникновения, м;

$\rho$  - удельное сопротивление материала экрана, Ом·м;

$Z_{E(H)}$  - волновое сопротивление электрического (магнитного) поля;

$R_\varepsilon$  - эквивалентный радиус экрана, м;

$m$  - наибольший размер отверстия (щели) в экране, м;

$d$  - толщина материала экрана, м.



# Эффективность экранов, изготовленных из сетчатых материалов

$$\alpha_{0c} = \sqrt{\frac{d_{\text{э}}}{\rho} Z_E} \sqrt[3]{\frac{\lambda}{R_{\text{э}}}} e^{\frac{\pi d_s}{S - d_s}} \left(1 - \frac{\pi m}{\lambda}\right)^6$$

- где  $d_{\text{э}}$  - эквивалентная толщина сетки, м:  $d_{\text{э}} = \pi r_s^2 / S$
- $d_s$  - диаметр провода сетки, мм ;
- $r_s$  - радиус провода сетки мм;
- $S$  - шаг сетки, мм.

**Эффективность экранов, изготовленных из электрически тонких материалов, в том числе с металлизированными поверхностями:**

$$\varepsilon_0 = 1,25 \pi \sqrt{\frac{d}{\rho} Z_E} \sqrt[3]{\frac{\lambda}{R_\varepsilon} \left(1 - \frac{\pi t}{\lambda}\right)^6}$$

За толщину экрана с металлизированными поверхностями принимают толщину нанесенного слоя металла  $d = P_{\text{рм}}/\gamma$ , где  $P_{\text{рм}}$  – расход металла, кг/м<sup>2</sup>;  
 $\gamma$  - плотность исходного материала, кг/м<sup>3</sup>.

# Эффективность экранирования токопроводящей краской

$$\mathcal{E}_0 = 1,25 \pi \sqrt{\frac{Z_E}{R_{кв}}} \sqrt[3]{\frac{\lambda}{R_\varepsilon} \left(1 - \frac{\pi t}{\lambda}\right)^6}$$

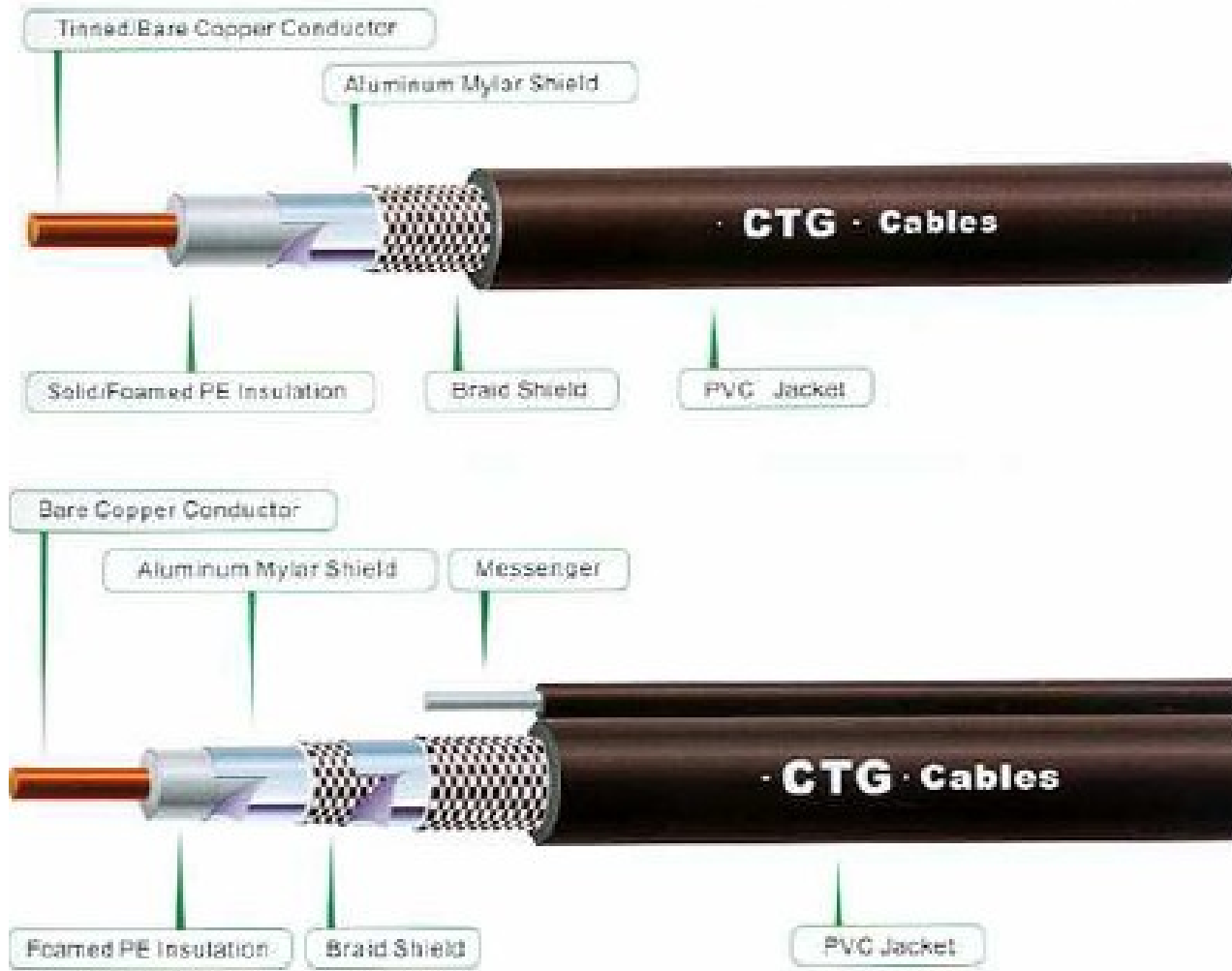
где  $R_{кв}$  - сопротивление на квадрат площади поверхности экрана, Ом.

# Эффективность экранирования устройств замкнутых экранов, дБ

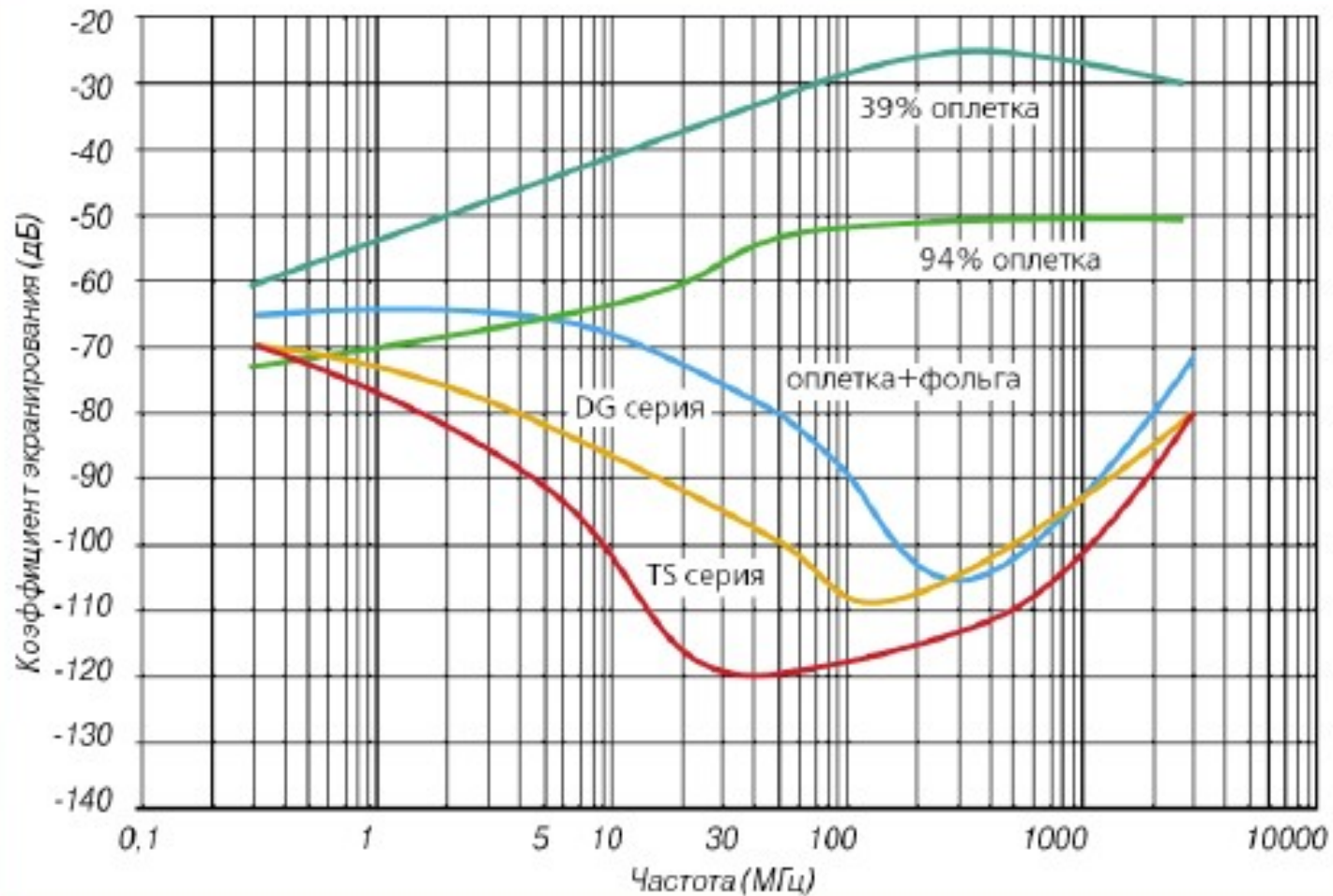
Материал, экранируемое устройство и конструкция экрана	Диапазон частот, МГц			
	0,15-3	3-30	30-300	300- 3000
Экранирование оконных проемов: штора из металлической сетки с ячейкой 1...1,5 мм	70	60	60	40
приваренный стальной или припаянный жестяной лист	100	100	80	80
сотовая решетка	100	100	100	20
металлическая сетка с ячейкой до 2 мм	70	60	40	30
стекло с токопроводящей поверхностью	70	30	30	30
Экранирование дверных проемов: одинарная дверь на каркасе, обшитым стальным листом, контакт сплошной регулируемый	80	70	70	60
То же, но контакт щеточный с шагом 100 мм	70	60	40	30
Двойная дверь с тамбуром, контакт сплошной регулируемый	100	100	80	60
Фольга: склейка внахлест (шов перекрыт)	100	80	80	70
Металлизация: расход металла 0,3 кг/м <sup>2</sup>	100	80	60	50

# Экранирование кабелей

# Экранированный коаксиальный кабель



# Коэффициент экранирования кабелей с различным исполнением экрана



\*TS-серия - тройной экран (фольга+оплетка+фольга)

# Кабель «защищенная витая пара» категории 7

