

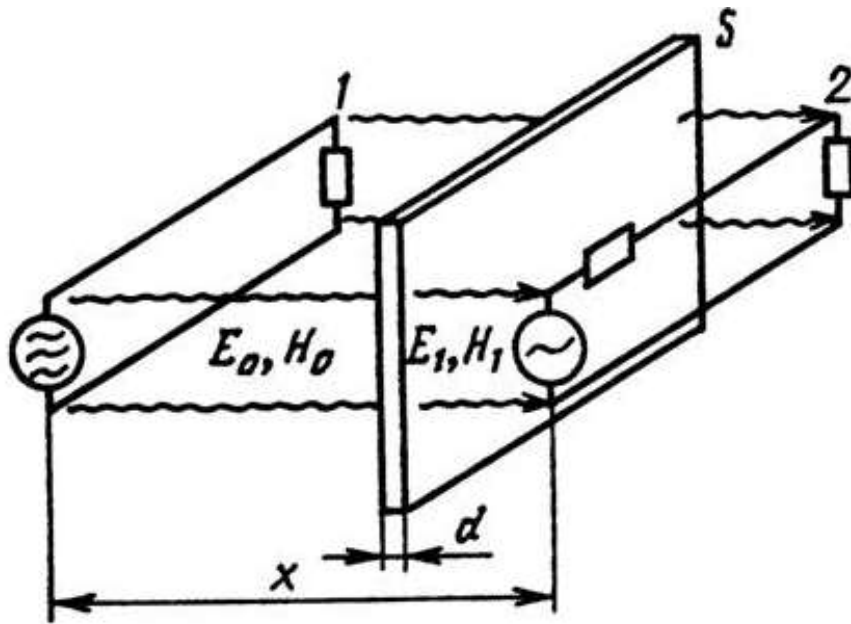
ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ.

Экраны и их расчет.

Цель занятия: дать понятие электромагнитных экранов, принципа их действия, коэффициента затухания, применения.

Разобрать основные способы расчета коэффициента затухания.

Научиться использовать метод Щелкунова при расчете экранирующего действия плоского экрана.

Экраны и их расчет.

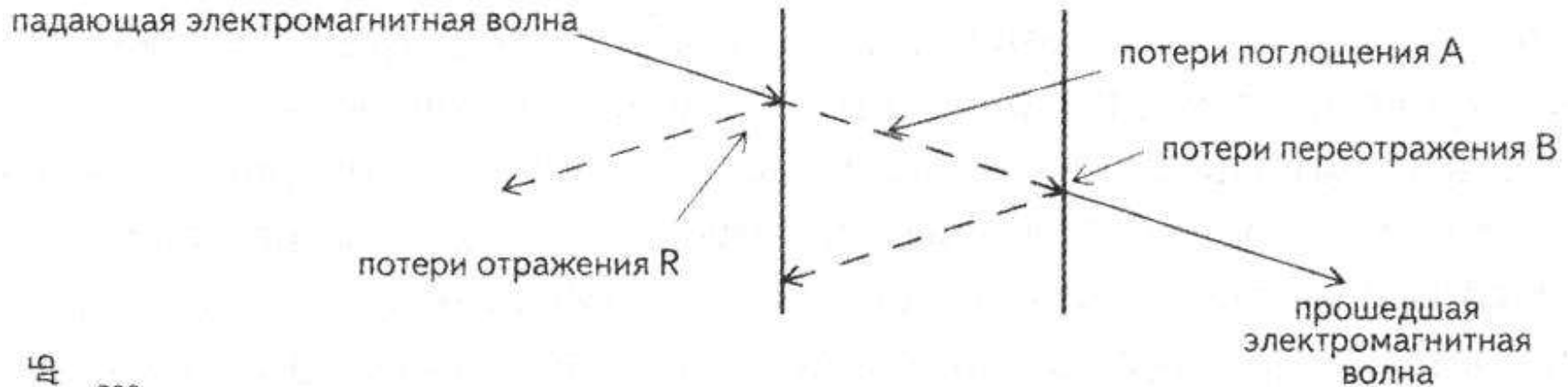
$$\begin{aligned} \mathcal{E}_E &= 20 \lg(E_0/E_1) \text{ или} \\ \mathcal{E}_H &= 20 \lg(H_0/H_1), \text{ дБ} \end{aligned}$$

Экранирование служит для ослабления электрических, магнитных и электромагнитных полей на ТС, а также для того, чтобы подавить исходящие из электрических и электронных промышленных средств и устройств помехи, обусловленные полями.

Экран устанавливается между источником и приемником помех и снижает напряженности E_0 и H_0 , воздействующего поля до значений E_1 , H_1 за экраном

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ.

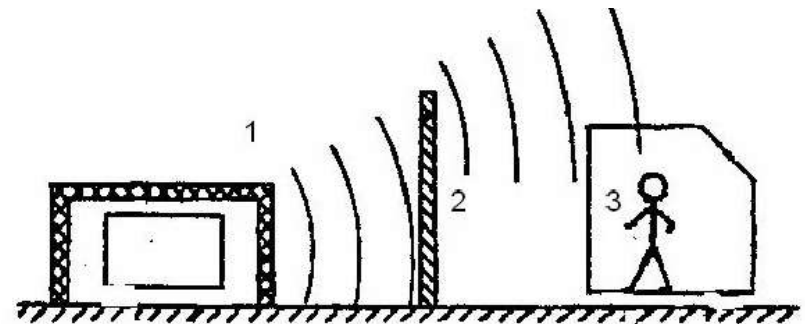
Экраны и их расчет.



Физическая сущность электромагнитного экранирования сводится к тому, что под действием источника электромагнитной энергии на стороне экрана, обращенной к источнику, возникают заряды, а в его стенках - токи, поля которых во внешнем пространстве по интенсивности близки к полю источника, а по направлению противоположны ему, в результате чего происходит взаимная компенсация полей.

Эффективность защитного экранирования зависит от:

- Частоты поля.
- Электропроводимости материала защитного экрана.
- Магнитной проницаемости материала защитного экрана.
- Месторасположения, размеров и конструкции экрана.



Эффективность экранирования зависит от наличия дефектов и отверстий в стенке экрана (трещин, дверных, вентиляционных и оконных проемов, кабельных вводов и отверстий для элементов обслуживания и сигнализации), а также то, что внутри экранированных объемов могут возникать резонансные эффекты.

Экранирование осуществляется за счёт:

- а) Поглощение материалом экрана энергии электрического и магнитного поля (коэффициент затухания a_{SA}).
- б) Отражение падающей электромагнитной волны материалом экрана (a_{SR} - коэффициент затухания).

$$\mathcal{E} = a_{SA} + a_{SR}$$

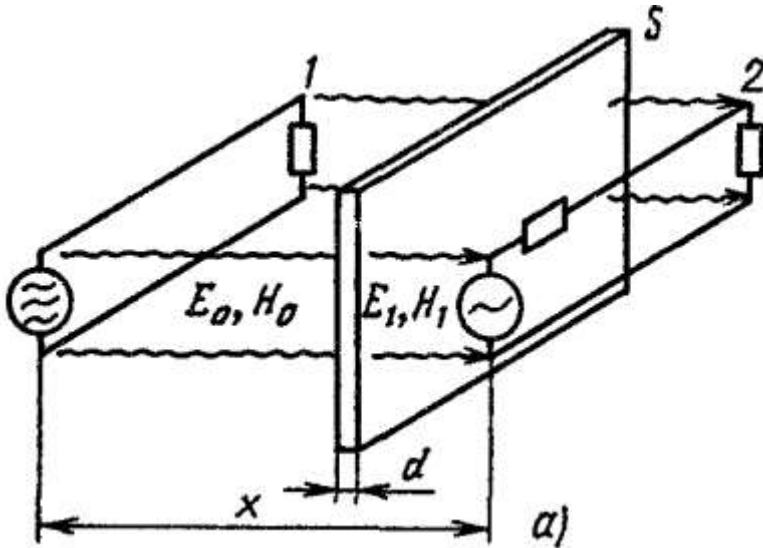
Эффективность защитных экранов оценивается:

Если $\mathcal{E} < 10$ дБ – экранирование недостаточно эффективно.

Если $10 < \mathcal{E} < 30$ дБ – обеспечиваются минимальные требования по экранированию.

Если $30 < \mathcal{E} < 60$ дБ – требования по экранированию обеспечены для большинства случаев.

Если $60 < \mathcal{E} < 90$ дБ – хороший уровень экранирования.

Экраны и их расчет.Ближняя зона:

Электромагнитная волна не распространяется в пространстве, а колеблется около антенны, причем амплитуды колебаний напряженностей и быстро падают с ростом расстояния X

Дальняя зона:

При достаточно больших расстояниях от излучателя.

Экраны и их расчет.

Расстояние R от источника до рассматриваемой точки для ближней зоны

$$R \ll \frac{\lambda}{2 \cdot \pi}$$

где λ - длина электромагнитной волны.

Волновое сопротивление среды в ближней зоне зависит от расстояния до источника излучения

$$Z_{-OH} = j \cdot Z_0 \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{\lambda}$$

где $Z_0 = 377$ Ом волновое сопротивление вакуума.

Экраны и их расчет.

Помехоподавление характеризует степень защитного воздействия электромагнитного экрана, оно чаще всего указывается в функции частоты в децибелах или неперах это, так называемый, коэффициент экранирования:

$$\mathcal{E} = 20 \cdot \lg\left(\frac{E_1}{E_2}\right), \quad \mathcal{E} = 20 \cdot \lg\left(\frac{H_1}{H_2}\right)$$

Экраны и их расчет.

Величины E и H в случае переменного электромагнитного поля связаны между собой посредством волнового сопротивления среды:

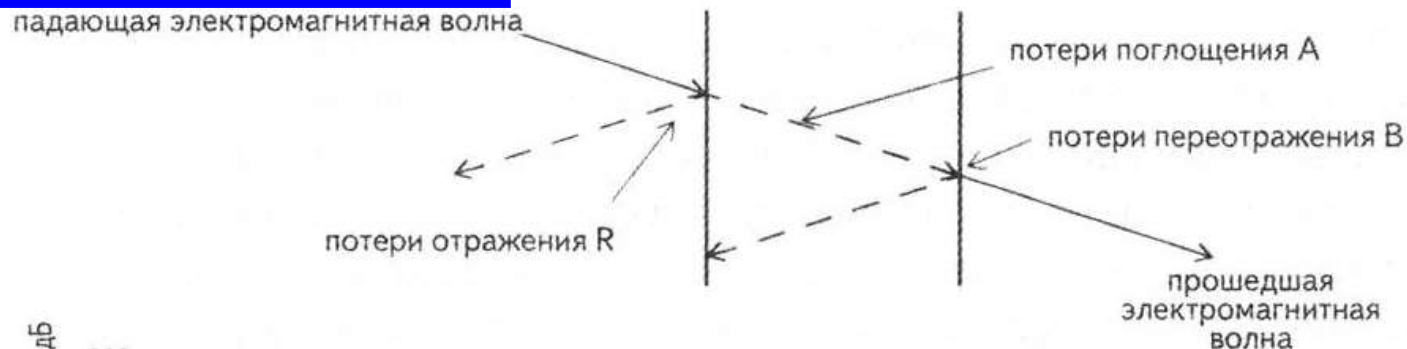
$$\underline{Z}: \frac{E}{H} = \underline{Z} = \sqrt{\frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0}{\mu \cdot \mu_0}}$$

Экраны и их расчет.

Общий коэффициент экранирования (затухания) электромагнитного экрана состоит из:

- Коэффициента затухания вследствие отражения на граничных плоскостях R ,
- Коэффициента затухания из-за поглощения в стенке экрана Π (переход энергии электромагнитного поля в тепло),
- Корректирующего коэффициента B , учитывающего многократные волны отражения внутри экрана:

$$\mathcal{E} = R + \Pi + B$$



Коэффициент затухания вследствие отражения.

Отношение напряженностей электромагнитного поля падающей и прошедшей волн определяется формулой:

$$\frac{E_{ВШ}}{E_{ЭВШ}} = \frac{(Z_{ВШ} + Z_{Э})}{2 \cdot Z_{Э}}$$

Аналогичным образом это отношение определится и на внутренней стенке экрана - на внутреннем пограничном слое.

Экраны и их расчет.

Суммарное влияние отражения можно получить из соотношения:

$$\frac{E_{ВШ}}{E_{ВН}} = \frac{(Z_{ВШ} + Z_{Э})^2}{4 \cdot (Z_{Э} + Z_{ВШ})}$$

Введем обозначение $K = Z_{ВШ} / Z_{Э}$

Тогда формула принимает вид

$$\frac{E_{ВШ}}{E_{ВН}} = \frac{(1 + K)^2}{4 \cdot K}$$

Экраны и их расчет.

Переходя к логарифмическим характеристикам, получаем выражение для коэффициента затухания вследствие отражения:

$$P_{\text{дБ}} = 20 \cdot \lg \frac{|(1 + K)|^2}{4 \cdot |K|}$$

Для его определения необходимо знать волновые сопротивления.

Экраны и их расчет.

Волновое сопротивление в пространстве источника помехи для дальней зоны $Z_{ВШ}=Z_0=377$ Ом,
для ближней зоны в ВЫСОКООМНЫХ полях:

$$Z_{ВШ} = Z_0 \cdot \frac{\lambda}{2 \cdot \pi \cdot r} = \frac{0.018}{r \cdot f}$$

в НИЗКООМНЫХ полях:

$$Z_{ВШ} = Z_0 \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{\lambda} = 7.9 \cdot 10^{-6} \cdot r \cdot f$$

Экраны и их расчет.

Волновое сопротивление стенки экрана:

$$Z_{\dot{Y}} = \sqrt{\frac{i \cdot \omega \cdot \mu}{(\sigma + i \cdot \omega \cdot \varepsilon)}}$$

а при условии, что толщина стенки больше глубины проникновения:

$$Z_{\dot{Y}} = \sqrt{\frac{i \cdot \omega \cdot \mu}{\sigma}}$$

Экраны и их расчет.

Выразим коэффициенты затухания вследствие отражения через параметры материала экрана и частоту:

$$P_{\text{дБ}} = 108 - 10 \cdot \lg \frac{\mu \cdot f}{\sigma_r} \text{ - дальняя зона;}$$

$$P_{\text{дБ}} = 142 - 10 \cdot \lg \frac{\mu \cdot f^3 \cdot r^2}{\sigma_r} \text{ - электрическое поле в ближней зоне;}$$

$$P_{\text{дБ}} = 75 - 10 \cdot \lg \frac{\mu}{f \cdot \sigma_r \cdot r^2} \text{ - магнитное поле в ближней зоне.}$$

где r - расстояние от источника помехи, м;

f - частота, МГц;

σ_r - относительная удельная электропроводность;

базовая электропроводность меди: $\sigma_r = \frac{\sigma}{5.8 \cdot 10^7}$

Экраны и их расчет.Коэффициенты затухания вследствие поглощения Π

описывают экспоненциальное ослабление падающей волны при прохождении стенки экрана толщиной d :

$$\frac{E_{ЭВШ}}{E_{ЭВН}} = e^{\alpha \cdot d}$$

В логарифмических величинах получаем:

$$\Pi_{дБ} = 20 \cdot \lg \frac{E_{ЭВШ}}{E_{ЭВН}}$$

Учитывая, что $\alpha = \sqrt{\pi \cdot f \cdot \mu \cdot \sigma}$

получаем для коэффициента затухания вследствие поглощения:

$$\Pi_{дБ} = 1314 d \cdot \sqrt{f \cdot \mu \cdot \sigma_r}$$

где μ и σ_r - относительная магнитная проницаемость и относительная удельная электропроводность соответственно, частота f выражена в МГц.

Коррекция коэффициента затухания при многократном отражении В
волны в стенке экрана осуществляется на основании формулы:

$$B_{\text{дБ}} = 20 \cdot \lg \left| 1 - \frac{(K - 1)^2}{(K + 1)^2} \cdot e^{2 \cdot \gamma \cdot d} \right|$$

где $\gamma = (1 + i) \cdot \sqrt{\pi \cdot f \cdot \mu \cdot \sigma}$

- комплексный коэффициент распространения.

Пример решения задачи.

Рассчитать коэффициент экранирования
плоского металлического экрана
толщиной 0.05 мм
на частоте 10^5 Гц
в ближней и дальней зонах излучателя помех.

Проводимость материала экрана $5.8 \cdot 10^8$ См/м,
относительная магнитная проницаемость 100.

Экраны и их расчет.

$$\sigma := 5.8 \cdot 10^7$$

$$f := 0.1 \cdot 10^6$$

$$\mu := 100$$

$$d := 0.05$$

Э - ?

Решение:

1. Определяем относительную проводимость материала и глубину проникновения волн в него:

$$\sigma_r = \frac{\sigma}{5.8 \cdot 10^7}$$

$$\delta := \frac{1}{\sqrt{\pi \cdot f \cdot \mu \cdot \sigma_r \cdot 10^{-6}}}$$

$$\delta = 0.178$$

Экраны и их расчет.

2. Определяем волновое сопротивление материала стенки экрана:

$$Z_e := \sqrt{i \cdot \omega \cdot \frac{\mu}{\sigma}}$$

$$\omega := 2 \cdot \pi \cdot f \cdot 10^6$$

$$Z := 377$$

$$Z_e = 735.971 + 735.971i$$

3. Находим волновое сопротивление пространства в ближней зоне излучателя:

$$Z_{bm} := 7.9 \cdot 10^{-6} \cdot r \cdot f$$

$$Z_{bm} = 188.599$$

$$Z_d := 377$$

Экраны и их расчет.

4. Определяем коэффициент затухания экрана вследствие отражения

в дальней зоне:

$$P_1 := 108 - 10 \cdot \log \left(\mu \cdot \frac{f \cdot 10^{-6}}{\sigma r} \right)$$

$$P_1 = 98$$

в ближней зоне:

$$P_{be} := 142 - 10 \cdot \log \left[\mu \cdot (f \cdot 10^{-6})^3 \cdot \frac{r^2}{\sigma} \right]$$

$$P_{be} = 104.442$$

Экраны и их расчет.

5. Определяем коэффициент затухания вследствие поглощения в стенке экрана:

В ближней зоне

$$\Pi_1 := 131.4 \cdot d \cdot \sqrt{f \cdot \mu \cdot \sigma}$$

$$\Pi_1 = 2.078 \times 10^4$$

В дальней зоне

$$\Pi := \left(0.1314 \cdot \frac{d}{db} \right) \cdot \sqrt{\mu \cdot \sigma} \cdot \sqrt{\frac{f}{fb}}$$

$$\Pi = 2.078 \times 10^4$$

$$db := 0.001$$

$$fb := 1$$

Экраны и их расчет.

6. Находим корректирующий коэффициент:

$$B := 20 \cdot \log \left(\left| 1 - e^{2 \cdot d \cdot \sqrt{\pi \cdot f \cdot \mu \cdot \sigma \cdot 10^{-6}}} \cdot e^{i \cdot 2 \cdot d \cdot \sqrt{\pi \cdot f \cdot \mu \cdot \sigma \cdot 10^{-6}}} \right| \right)$$

$$B = 0.417$$

7. Общий коэффициент затухания в дальней (d) и ближней зонах (be):

$$\mathcal{E}_d := P_1 + \Pi + B$$

$$\mathcal{E}_{be} := P_{be} + \Pi + B$$

$$\mathcal{E}_d = 2.087 \times 10^4$$

$$\mathcal{E}_{be} = 2.088 \times 10^4$$

Экраны и их расчет.Задача.

Рассчитать коэффициент экранирования плоского металлического экрана толщиной 0,01 мм на частоте 10^3 Гц в ближней (излучение штыревой антенны на расстоянии $0,01\lambda$) и дальней зонах излучателя помех.

Проводимость материала экрана $0,8 \cdot 10^8$ См/м, относительная магнитная проницаемость 200.

Экраны и их расчет.

$$\sigma := 0,8 \cdot 10^8$$

$$f := 10^3$$

$$\mu := 200$$

$$d := 0,01$$

$$0,01\lambda$$

$$\text{Эд}$$

Решение:

1. Определяем относительную проводимость материала и глубину проникновения волн в него:

$$\delta := \frac{1}{\sqrt{\pi \cdot f \cdot \mu \cdot \sigma \cdot 10^{-6}}}$$

$$\delta =$$

Экраны и их расчет.

2. Определяем волновое сопротивление материала стенки экрана:

$$Z_e := \sqrt{i \cdot \omega \cdot \frac{\mu}{\sigma}}$$

$$Z_e =$$

$$\omega := 2 \cdot \pi \cdot f \cdot 10^6$$

$$Z_{-OH} = j \cdot Z_0 \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{\lambda}$$

3. Находим волновое сопротивление пространства в ближней зоне излучателя:

$$Z_{bm} := 7.9 \cdot 10^{-6} \cdot r \cdot f$$

$$Z_{bm} =$$

$$Z_d := 377$$

Экраны и их расчет.

4. Определяем коэффициент затухания экрана вследствие отражения

в дальней зоне:

$$P_1 := 108 - 10 \cdot \log \left(\mu \cdot \frac{f \cdot 10^{-6}}{\sigma r} \right)$$

$$P_1 =$$

в ближней зоне:

$$P_{be} := 142 - 10 \cdot \log \left[\mu \cdot (f \cdot 10^{-6})^3 \cdot \frac{r^2}{\sigma} \right]$$

$$P_{be} =$$

Экраны и их расчет.

5. Определяем коэффициент затухания вследствие поглощения в стенке экрана:

$$\Pi := 131.4 \cdot d \cdot \sqrt{f \cdot \mu \cdot \sigma}$$

$$\Pi =$$

$$\Pi := \left(0.1314 \cdot \frac{d}{db} \right) \cdot \sqrt{\mu \cdot \sigma} \cdot \sqrt{\frac{f}{fb}}$$

$$\Pi =$$

$$db := 0.001$$

$$fb := 1$$

Экраны и их расчет.

6. Находим корректирующий коэффициент:

$$B := 20 \cdot \log \left(\left| 1 - e^{2 \cdot d \cdot \sqrt{\pi \cdot f \cdot \mu \cdot \sigma \cdot 10^{-6}}} \cdot e^{i \cdot 2 \cdot d \cdot \sqrt{\pi \cdot f \cdot \mu \cdot \sigma \cdot 10^{-6}}} \right| \right)$$

$$B =$$

7. Общий коэффициент затухания в дальней (d) и ближней зонах (be):

$$\mathcal{E}_d := P_1 + \Pi + B$$

$$\mathcal{E}_{be} := P_{be} + \Pi + B$$

$$\mathcal{E}_d =$$

$$\mathcal{E}_{be} =$$

Задача – для группы 5AM95:

Определите напряженность электрического поля внутри экрана толщиной 0,01 мм на частоте 10^2 Гц в ближней зоне, на расстоянии $0,01\lambda$ от излучателя.

Проводимость материала экрана $5,8 \cdot 10^8$ См/м,
относительная магнитная проницаемость 2.

Напряженность электрического поля в пространстве излучателя 0,1 В/м.

Задача – для группы 5АМ96:

Рассчитать коэффициент экранирования плоского металлического экрана толщиной 0,03 мм на частоте 10^4 Гц в ближней (излучение штыревой антенны на расстоянии $0,015\lambda$) зонах излучателя помех.

Проводимость материала экрана $0,9 \cdot 10^8$ См/м, относительная магнитная проницаемость 100.

Задача – для группы 5AM97:

Рассчитать коэффициент экранирования плоского металлического экрана толщиной 0,02мм на частоте 102 Гц в ближней (излучение рамочной антенны на расстоянии 0.03λ) и дальней зонах излучателя помех.

Проводимость материала экрана $0,1 \cdot 10^8$ См/м, относительная магнитная проницаемость 400.

Задача – для группы 5АМ98:

Определите напряженность магнитного поля внутри экрана толщиной 0,03 мм на частоте 10^3 Гц на расстоянии 0.1λ от источника излучения.

Проводимость материала экрана $5.8 \cdot 10^8$ См/м, относительная магнитная проницаемость 2.

Напряженность магнитного поля в пространстве излучателя 0,1 А/м.

**СПАСИБО ЗА
ВНИМАНИЕ!**

<http://900igr.net/prezentacija/fizika/meroprijatija-po-obespecheniju-elektromagnitnoj-sovmestivosti-210504/elektromagnitnye-ekrany-18.html>

<http://www.stgau.ru/company/personal/user/15319/files/lib/%D0%A3%D1%87%D0%B5%D0%B1%D0%BD%D0%BE%D0%B5%20%D0%BF%D0%BE%D1%81%D0%BE%D0%B1%D0%B8%D0%B5%20%D0%AD%D0%9C%D0%A1.pdf>