

Задачи ЭМС

2

Инженерная методика оценивания развязки между антеннами

Инженерные методики позволяют полуэмпирическими средствами получить приближенно оценивать развязку между антеннами, что позволит определить взаимное расположение и ориентацию антенн.

Важно! Данная методика не может использоваться при ориентации антенн друг на друга нулем ДН. Используется для слабонаправленных антенн.

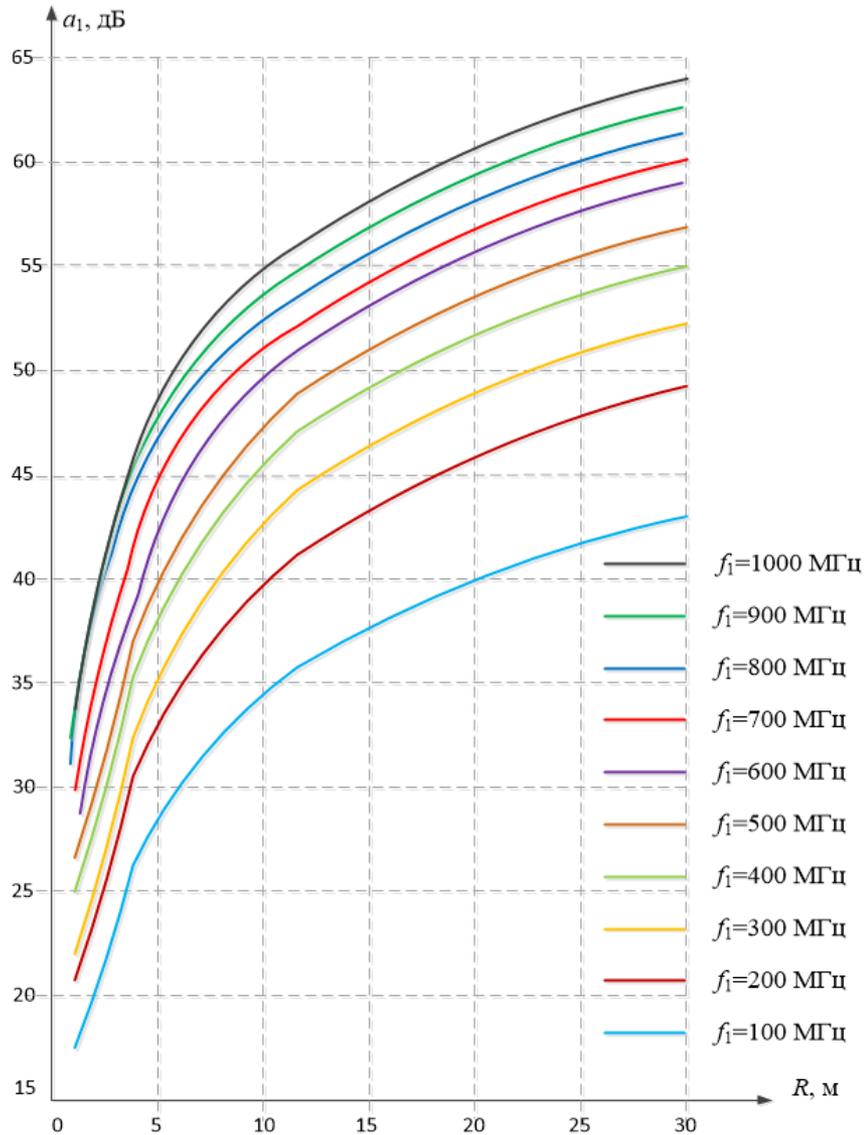
Общий подход: Пусть взаимодействуют две антенны, работающие на частотах f_1 и f_2 . Оценим развязку между ними на частоте первой антенны.

Развязка оценивается величиной рабочего ослабления:

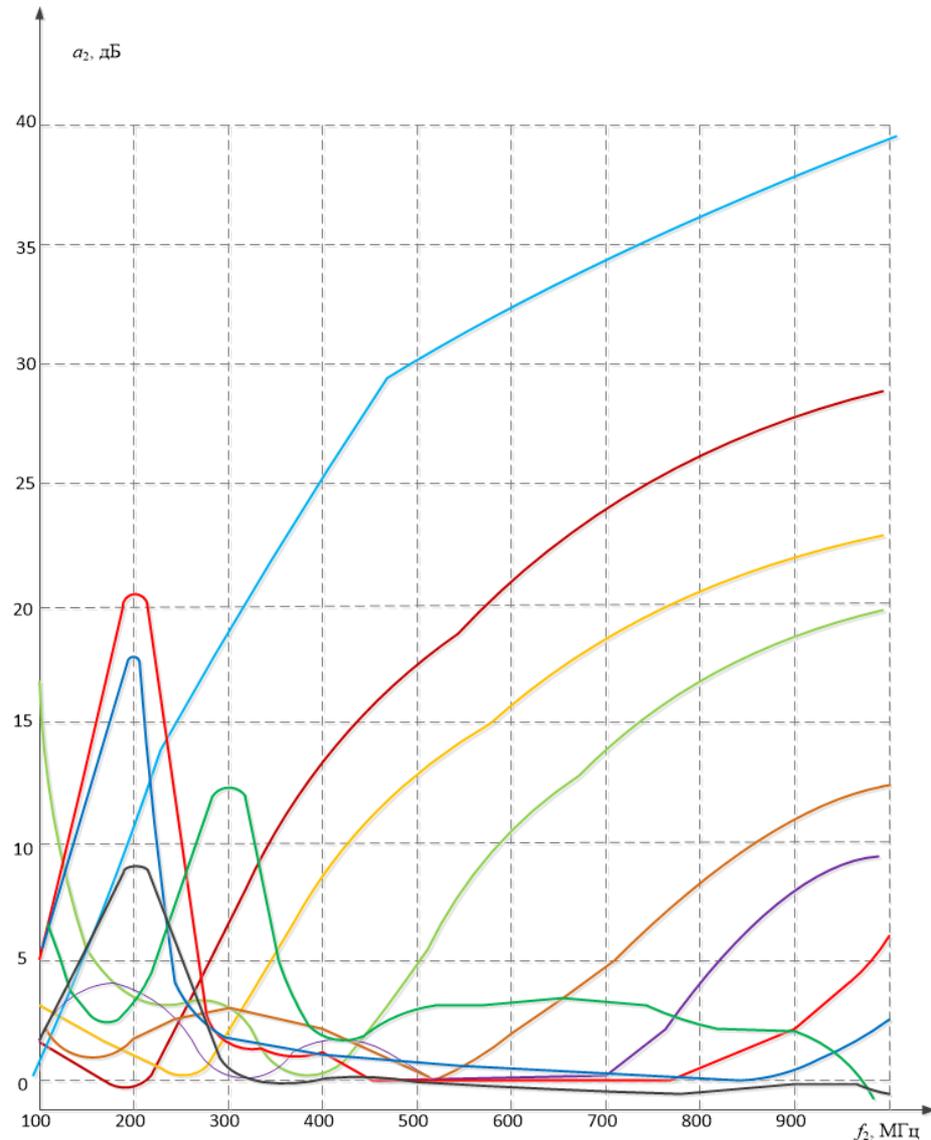
$$a = a_1(R, f_1) + a_2(f_1, f_2) + a_3^{(1)} + a_3^{(2)} + a_4 \quad (1)$$

где $a_1(R, f_1)$ - развязка между антеннами на частоте f_1 (табл. знач.); $a_2(f_1, f_2)$ - поправка на внеполосность (табл. знач.); $a_3^{(1)}$ - поправка на направленность антенны 1; $a_3^{(2)}$ - поправка на направленность антенны 2; a_4 - поправка на поляризационное рассогласование антенн; R – минимальное расстояние между антеннами.

Развязка между антеннами на частоте f_1



Поправка на внеполосность



Поправки на направленность. Имеют различные методы определения в зависимости от информации от направленных свойствах антенны.

- Известна амплитудная ДН и ее коэффициент усиления:

$$a_3^{(k)} = 2,15 - 20 \lg \frac{F^{(k)}(\theta_1^{(k)}, \psi_1^{(k)})}{F^{(k)}(\theta_0^{(k)}, \psi_0^{(k)})} - G^{(k)} - G_{\text{норм}}^{(k)} \quad (2)$$

где $F^{(k)}$ - амплитудная ДН k -той антенны; $\theta_1^{(k)}, \psi_1^{(k)}$ - полярный угол и азимут направления на антенну в сферической системе координат относительно k -той антенны; $\theta_0^{(k)}, \psi_0^{(k)}$ - полярный угол и азимут направления для которого задан коэффициент усиления $G^{(k)}$; $G_{\text{норм}}^{(k)}$ - коэффициент усиления эталонной антенны (табличное значение: 2,15 дБ относительно полуволнового вибратора, 0 дБ – относительно изотропного излучателя).

Если коэффициент усиления задается в максимуме нормированной ДН, то $F^{(k)}(\theta_0, \psi_0) = 1$.

- Известна амплитудная ДН и коэффициент направленного действия $D^{(k)}$, дБ:

$$a_3^{(k)} = 2,15 - 20 \lg \frac{F^{(k)}(\theta_1^{(k)}, \psi_1^{(k)})}{F^{(k)}(\theta_0^{(k)}, \psi_0^{(k)})} - D^{(k)} \quad (3)$$

- Известны основные параметры ДН, но она сама не задана:

Параметры:

$G^{(k)}$ - коэффициент усиления в максимуме ДН

$\Delta_\theta^{(k)}$ - ширина главного лепестка ДН по полярному кругу

$\Delta_\psi^{(k)}$ - ширина главного лепестка ДН по азимуту

$U_{\text{бл}}^{(k)}$ - уровень боковых лепестков

(если не задан, но принять $|U_{\text{бл}}^{(k)}| = 10$ дБ)

$$a_3^{(k)} = \begin{cases} 2,15 + |U_{\text{бл}}^{(k)}| - G^{(k)} - G_{\text{норм}}^{(k)}, & \text{если } |\theta_1^{(k)} - \theta_0^{(k)}| > \frac{\Delta_\theta^{(k)}}{2} \text{ или } |\psi_1^{(k)} - \psi_0^{(k)}| > \frac{\Delta_\psi^{(k)}}{2} \\ 2,15 - G^{(k)} - G_{\text{норм}}^{(k)}, & \text{если } |\theta_1^{(k)} - \theta_0^{(k)}| \leq \frac{\Delta_\theta^{(k)}}{2} \text{ или } |\psi_1^{(k)} - \psi_0^{(k)}| \leq \frac{\Delta_\psi^{(k)}}{2} \end{cases} \quad (4)$$

- Известен параметр $D^{(k)}$ - коэффициент направленного действия:

$$a_3^{(k)} = \begin{cases} 2,15 + |U_{\text{бл}}^{(k)}| - D^{(k)}, \text{ если } |\theta_1^{(k)} - \theta_0^{(k)}| > \frac{\Delta_\theta^{(k)}}{2} \text{ или } |\psi_1^{(k)} - \psi_0^{(k)}| > \frac{\Delta_\psi^{(k)}}{2} \\ 2,15 - D^{(k)}, \text{ если } |\theta_1^{(k)} - \theta_0^{(k)}| \leq \frac{\Delta_\theta^{(k)}}{2} \text{ или } |\psi_1^{(k)} - \psi_0^{(k)}| \leq \frac{\Delta_\psi^{(k)}}{2} \end{cases} \quad (5)$$

- Известны $D^{(k)}$ или $G^{(k)}$, но не заданы $\Delta_\theta^{(k)}$ и $\Delta_\psi^{(k)}$:

1. Антенна не является всенаправленной по полярному кругу или азимуту, и угловые интервалы можно оценить как:

$$\Delta_\theta^{(k)} = 2,3p \sqrt{\frac{\pi}{\tilde{G}^{(k)}}} = 2,3p \sqrt{\frac{\pi}{\tilde{D}^{(k)}}},$$

$$\Delta_\psi^{(k)} = \frac{2,3}{p} \sqrt{\frac{\pi}{\tilde{G}^{(k)}}} = \frac{2,3}{p} \sqrt{\frac{\pi}{\tilde{D}^{(k)}}},$$

(6)

2. Антенна является всенаправленной по полярному кругу или азимуту, и угловые интервалы можно оценить как:

$$\Delta_{\theta}^{(k)} = 2\pi, \Delta_{\psi}^{(k)} \approx \frac{2,3\pi}{\tilde{G}^{(k)}} = \frac{2,3\pi}{\tilde{D}^{(k)}}, \quad (7)$$

$$\Delta_{\theta}^{(k)} \approx \frac{2,3}{\tilde{G}^{(k)}} = \frac{2,3}{\tilde{D}^{(k)}}, \Delta_{\psi}^{(k)} = 2\pi, \quad (8)$$

где зависимость ширины ДН от поляризационных характеристик антенны определяется множителем:

$$p = \begin{cases} 1 & \text{для эллиптической поляризации} \\ 1,19 & \text{для горизонтальной поляризации} \\ 0,84 & \text{для вертикальной поляризации} \end{cases}$$

$\tilde{G}^{(k)} = 10^{0,1G^{(k)} + 0,1G^{(k)}_{\text{норм}}}$ - нормированный к изотропному излучателю коэффициент усиления;

$\tilde{D}^{(k)} = 10^{0,1D^{(k)}}$ - нормированный коэффициент направленного действия

- Информация о направленных свойствах антенны отсутствует:

$$a_3^{(k)} = 0 \text{ дБ}$$

Поправка на поляризационное рассогласование антенн:

- Антенны имеют одинаковый тип поляризации:

$$a_4 = 0 \text{ дБ}$$

- Одна антенна имеет линейную поляризацию, а вторая – эллиптическую:

$$a_4 = 3 \text{ дБ}$$

- Одна антенна имеет горизонтальную поляризацию, а вторая – вертикальную:

$$a_4 \approx -20 \lg \left(\frac{|h|}{R} \right) \text{ дБ},$$

где h – разница высот подвеса антенн в метрах.

Задача 1. Оценить развязку между антенной 1 и антенной 2 на частоте 350 МГц, размещенных на смежных поясах опоры на высотных отметках 88 м и 70 м соответственно, если известно, что расстояние между антеннами 18,05 м, расстояние между поясами опоры по горизонтали 2,5 м. Антенна 1: поляризация вертикальная, максимум ориентирован горизонтально, частота 350 МГц, $G_1=11,5$ дБ, $G_{1_{норм}}=2,15$ дБ, уровень боковых лепестков -16 дБ. Антенна 2: частота 160 МГц, поляризация вертикальная, ориентация относительно максимума антенны 1 – перпендикулярная.

Решение. Из графиков определим $a_1 \approx 49$ дБ и $a_2 \approx 4$ дБ.

ДН антенны не задана, поэтому найдем $a_3^{(1)}$ по формуле (4). Так как ширина ДН по полярному углу и азимуту не задана, то из (6) получим $\Delta\theta^{(1)} \approx 0,71$ рад, $\Delta\psi^{(1)} \approx 1,01$ рад.

Взаимное расположение антенн дает: $|\psi_1^{(k)} - \psi_0^{(k)}| = \frac{\pi}{2} > 0,505 = \frac{\Delta\theta^{(1)}}{2}$,

следовательно, используем выражение 1 в (4). Получим $a_3^{(1)} \approx 4,5$ дБ.

Так как поляризация одинакова, то $a_4 = 0$ дБ.

Используя формулу (1) получим $a \approx 57,5$ дБ.

Задача 2. Оценить развязку между логопериодической антенной ТВ (12 ТВ канал, частота 223,5 МГц) и вибраторной антенной (частота 243 МГц) на частоте первой антенны. Характеристики:

Антенна 1: поляризация горизонтальная, $D^{(1)}=8,8$ дБ, $U_{\text{бл}}^{(1)}=-20$ дБ, высота подвеса 9,7 м.

Антенна 2: высота подвеса 2,3 м.

Антенны установлены на собственных тонких опорах на крыше здания. Расстояние между опорами по горизонтали 11,5 м, минимальное расстояние между антеннами 13,8 м, $|\psi_1^{(1)} - \psi_0^{(1)}| = 0,157$ рад, ориентация максимумами ДН – горизонтальная: $\theta_0^{(1)} = \theta_0^{(2)} = \frac{\pi}{2}$

Решение. Из графиков определяем $a_1 \approx 43$ дБ и $a_2 \approx 1$ дБ. Так как задан $D^{(1)}$, то используем формулу (5). По формуле (6) оценим $\Delta\theta^{(1)} \approx 1,76$ рад и $\Delta\psi^{(1)} \approx 1,24$ рад, а $|\psi_1^{(1)} - \psi_0^{(1)}| = 0,157$ рад $< 1,24/2$.

$$\theta_1^{(1)} = \frac{\pi}{2} + \arctg\left(\frac{9,7-2,3}{11,5}\right) = 2,14 \text{ рад}, \quad |\theta_1^{(1)} - \theta_0^{(1)}| \leq \frac{\Delta\theta^{(1)}}{2}.$$

Следовательно, можно применить формулу (5), откуда $a_3^{(1)} \approx -6,65$ дБ.

Для антенны 2 оценим $a_3^{(2)}$ по формуле (5).

Так как антенна всенаправленная, то по формуле (6) оценим $\Delta\theta^{(1)} \approx 1,24$ рад и $\Delta\psi^{(1)} \approx 2\pi$, $\theta_1^{(2)} = \frac{\pi}{2} - \text{arctg}\left(\frac{9,7-2,3}{11,5}\right) = 1$ рад.

Так как выполняются оба условия применения формулы (5):

$$|\theta_1^{(2)} - \theta_0^{(2)}| < \frac{\Delta\theta^{(2)}}{2} \text{ и } |\psi_1^{(2)} - \psi_0^{(2)}| < \frac{\Delta\psi^{(2)}}{2},$$

то $a_3^{(2)} \approx -0,55$ дБ.

Оценим поправку $a_4 \approx -20\lg\left(\frac{|h|}{R}\right) = 5,41$ дБ.

Используя формулу (1) получим $a \approx 42,2$ дБ.