

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Recomendación UIT-R SM.575-3
(08/2021)

Protección de las estaciones fijas de comprobación técnica contra la interferencia ocasionada por transmisores cercanos y potentes

Serie SM
Gestión del espectro



Prólogo

El Sector de Radiocomunicaciones tiene como cometido garantizar la utilización racional, equitativa, eficaz y económica del espectro de frecuencias radioeléctricas por todos los servicios de radiocomunicaciones, incluidos los servicios por satélite, y realizar, sin limitación de gamas de frecuencias, estudios que sirvan de base para la adopción de las Recomendaciones UIT-R.

Las Conferencias Mundiales y Regionales de Radiocomunicaciones y las Asambleas de Radiocomunicaciones, con la colaboración de las Comisiones de Estudio, cumplen las funciones reglamentarias y políticas del Sector de Radiocomunicaciones.

Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

La política del UIT-R sobre Derechos de Propiedad Intelectual se describe en la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI a la que se hace referencia en la Resolución UIT-R 1. Los formularios que deben utilizarse en la declaración sobre patentes y utilización de patentes por los titulares de las mismas figuran en la dirección web <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/es>, donde también aparecen las Directrices para la implementación de la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI y la base de datos sobre información de patentes del UIT-R sobre este asunto.

Series de las Recomendaciones UIT-R

(También disponible en línea en <http://www.itu.int/publ/R-REC/es>)

| Series | Título |
|------------|--|
| BO | Distribución por satélite |
| BR | Registro para producción, archivo y reproducción; películas en televisión |
| BS | Servicio de radiodifusión (sonora) |
| BT | Servicio de radiodifusión (televisión) |
| F | Servicio fijo |
| M | Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos |
| P | Propagación de las ondas radioeléctricas |
| RA | Radioastronomía |
| RS | Sistemas de detección a distancia |
| S | Servicio fijo por satélite |
| SA | Aplicaciones espaciales y meteorología |
| SF | Compartición de frecuencias y coordinación entre los sistemas del servicio fijo por satélite y del servicio fijo |
| SM | Gestión del espectro |
| SNG | Periodismo electrónico por satélite |
| TF | Emisiones de frecuencias patrón y señales horarias |
| V | Vocabulario y cuestiones afines |

Nota: Esta Recomendación UIT-R fue aprobada en inglés conforme al procedimiento detallado en la Resolución UIT-R 1.

Publicación electrónica
Ginebra, 2021

© UIT 2021

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

RECOMENDACIÓN UIT-R SM.575-3

**Protección de las estaciones fijas de comprobación técnica
contra la interferencia ocasionada por
transmisores cercanos y potentes**

(1982-2007-2013-2021)

Cometido

Esta Recomendación especifica los máximos niveles de intensidad de campo en las estaciones de comprobación técnica para garantizar su funcionamiento sin interferencias.

Palabras clave

Niveles de intensidad de campo, estaciones de comprobación técnica, zonas de protección

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que una información sobre comprobación técnica del espectro fiable y precisa forma parte vital en el proceso de gestión del espectro;
- b) que la potencia radiada por los transmisores situados en las proximidades puede dar lugar a intensos campos electromagnéticos en las estaciones de comprobación técnica, lo que provoca efectos de desensibilización y bloqueo del receptor;
- c) que estos efectos a su vez producen falsas emisiones que deben evitarse en la medida de lo posible;
- d) que la instalación de estaciones radioeléctricas celulares y de radiodifusión dificulta la tarea de encontrar emplazamientos adecuados para una estación de comprobación técnica del espectro;
- e) que la intensidad de campo recibida es un parámetro importante a la hora de determinar la conveniencia de un emplazamiento de comprobación técnica;
- f) que distintas gamas de frecuencia requieren diferentes limitaciones de intensidad de campo,

observando

- a) que el Manual de la UIT sobre comprobación técnica del espectro (edición de 2011) proporciona consideraciones generales y específicas referentes al emplazamiento de las estaciones de comprobación técnica y una lista de verificación para examen del emplazamiento;
- b) que el Informe UIT-R SM.2125 describe los procedimientos de medición para determinar los parámetros técnicos de los receptores y los sistemas de comprobación técnica,

recomienda

que a fin de calcular la máxima intensidad de campo admisible para proteger las estaciones de comprobación técnica radioeléctrica se utilice el método descrito en el Anexo 1.

Anexo 1

Cálculo de la máxima intensidad de campo admisible para proteger las estaciones de comprobación técnica radioeléctrica

1 Introducción

Unas señales de RF de gran intensidad pueden reducir la capacidad de una estación de comprobación técnica de recibir señales débiles y medirlas correctamente. La protección de las estaciones de comprobación técnica radioeléctrica contra las señales de RF intensas reviste especial importancia teniendo en cuenta el número cada vez mayor de emplazamientos de antenas para servicios móviles y para otros servicios de radiocomunicaciones. Como las estaciones de comprobación técnica a menudo están ubicadas en zonas urbanas y lugares expuestos, es cada vez más difícil identificar nuevos emplazamientos adecuados y proteger los ya existentes.

Este Anexo describe los procedimientos y cálculos para el establecimiento de zonas de protección en torno a las estaciones de comprobación técnica radioeléctrica.

2 Consideraciones generales

La especificación de los criterios de protección para las estaciones de comprobación técnica radioeléctrica supone fundamentalmente considerar los aspectos técnicos y se basa en el principio de que las emisiones procedentes de estaciones de transmisión adyacentes no pueden causar ninguna interferencia a las estaciones de comprobación técnica.

Aunque principalmente hay varios efectos posibles de interferencia tales como las emisiones en banda lateral, el efecto más severo son los productos de intermodulación de 3^{er} orden que pueden generarse en un receptor dando lugar a emisiones falsas. Este es, por tanto, el único efecto considerado en la presente Recomendación.

Dada una cierta inmunidad contra señales intensas, la aparición de la intermodulación depende directamente de la potencia de entrada en el receptor de comprobación técnica. Sería, por consiguiente, más fácil especificar como criterio de protección la máxima potencia de entrada en el receptor que los transmisores circundantes pueden crear en el receptor de comprobación técnica. Este método, sin embargo, tiene el inconveniente de que la distancia de protección resultante dependería de las propiedades técnicas del receptor de comprobación técnica y la antena, que no son conocidas por el operador de un transmisor cercano ni son iguales en todos los emplazamientos de comprobación técnica. Además, sólo se proporcionaría protección a los actuales equipos de comprobación técnica. Si se cambian en el futuro (por ejemplo, instalando antenas de diferente ganancia) los criterios de protección también cambiarían dando lugar a una zona de protección distinta.

Además de los aspectos técnicos, también revisten gran importancia los temas económicos y de gestión. Para reducir los gastos administrativos debe establecerse un procedimiento de control sencillo y eficaz. Los operadores de los transmisores aceptarán con más facilidad un proceso sencillo.

Por estas razones, deberán aplicarse criterios de protección uniformes independientemente del emplazamiento de las estaciones de comprobación técnica y de sus especificaciones técnicas (radiogoniómetro o antena giratoria, tipo de receptor, ganancia de antena). Esto lleva al método de criterio de protección consistente en definir una intensidad de campo concreta que no debe rebasarse. Se trata también del método más transparente para las otras partes implicadas porque puede calcularse o medirse fácilmente la intensidad de campo que produce un transmisor en el emplazamiento de las estaciones de comprobación técnica.

No obstante, el hecho de que la máxima intensidad de campo produzca o no realmente interferencia en el receptor de comprobación técnica depende de los siguientes parámetros:

- inmunidad del receptor contra señales de gran intensidad;
- sensibilidad del receptor;
- nivel de ruido externo;
- ganancia de antena;
- atenuación del cable de RF entre la antena y el receptor;
- anchura de banda y frecuencia de las señales perturbadoras.

Como estos parámetros pueden variar dentro de una amplia gama, un cierto valor definido de máxima intensidad de campo no garantiza un funcionamiento sin interferencias de las estaciones de comprobación técnica para todas las posibles combinaciones de estos parámetros. Por ejemplo, un receptor muy sensible combinado con una antena de elevada ganancia daría lugar a un valor de máxima intensidad de campo tan bajo que no podría encontrarse en todo el territorio del país un emplazamiento adecuado para las instalaciones de comprobación técnica.

El siguiente procedimiento proporciona un método general para calcular la máxima intensidad de campo admisible. El valor resultante de esta intensidad de campo depende de la elección de unos valores razonables y típicos para los anteriores parámetros.

3 Determinación de la máxima intensidad de campo admisible

El cálculo de la máxima intensidad de campo admisible incluye:

- la inmunidad (3^{er} orden) del receptor contra señales de gran intensidad;
- la sensibilidad del receptor;
- la anchura de banda y la frecuencia de las señales perturbadoras;
- la ganancia de antena;
- la atenuación del cable de RF entre la antena y el receptor;
- el nivel de ruido externo.

3.1 Inmunidad del receptor contra señales de gran intensidad

El nivel de los productos e intermodulación de 3^{er} orden se calcula generalmente a partir de la potencia de entrada y el punto de intercepción de 3^{er} orden del receptor de comprobación técnica. La combinación más crítica es la intermodulación de tres señales de la misma potencia.

De acuerdo con la Recomendación UIT-R SM.1134-1, Cuadro 2, la potencia del producto de intermodulación en nuestro caso puede calcularse con la ecuación para IM3(1;1;1) (caso de tres señales):

$$P_{IM3} = 3P_S - 2P_{IP3} + 6 \text{ dB} \quad (1)$$

donde:

- P_{IM3} : la potencia del producto de intermodulación de 3^{er} orden IM3(1;1;1) (dBm)
- P_S : la potencia de cada una de las señales que intervienen en la intermodulación (dBm)
- P_{IP3} : el punto de intercepción de 3^{er} orden (IP3) del receptor (dBm).

El valor de IP3 figura en la hoja de especificaciones del receptor. Se trata de la potencia de las señales de entrada en el punto donde el nivel del producto de intermodulación de 3^{er} orden es igual al nivel de entrada de las señales de gran intensidad que contribuyen a esta intermodulación.

3.2 Sensibilidad del receptor

Una señal débil puede detectarse con un receptor cuando su nivel rebasa el ruido interno del propio receptor. Es el nivel indicado cuando no se conecta ninguna antena y el receptor funciona en su modo más sensible (por ejemplo, sin atenuación a la entrada).

El valor cuadrático medio (eficaz) del ruido interno del receptor se calcula generalmente como sigue:

$$P_R = (f - 1)kt_0B_n = (f - 1)p_nB_n \quad (2)$$

donde:

f : el factor de ruido del receptor

k : la constante de Boltzmann

t_0 : la temperatura de referencia que se considera con un valor de 290 K

B_n : la anchura de banda de ruido del receptor

$p_n = kt_0$ la potencia de ruido térmico disponible (W) en una anchura de banda de 1 Hz.

La sensibilidad de un receptor se caracteriza en las hojas de datos por el factor de ruido, NF . Por consiguiente, la ecuación (2) puede expresarse de la forma siguiente:

$$P_R = (10^{\frac{NF}{10}} - 1)p_nB_n \quad (3)$$

siendo:

$NF = 10 \log(f)$: factor de ruido del receptor (dB).

Expresado en dBm, el valor cuadrático medio (eficaz) del ruido interno del receptor es:

$$P_R(\text{dBm}) = 10 \log(10^{\frac{NF}{10}} - 1) + 10 \log(B_n) - 174(\text{dBm}) \quad (4)$$

donde:

-174 dBm: potencia de ruido térmico disponible a la temperatura ambiente en una anchura de banda de 1 Hz.

Normalmente, la anchura de banda de medición de un receptor es aproximadamente igual a su anchura de banda de ruido. Además, los factores de ruido (NF) de los receptores típicos de comprobación técnica presentan valores de 10 dB o superiores. Teniendo esto en cuenta, la ecuación del valor cuadrático medio (eficaz) del ruido interno del receptor es menos compleja:

$$P_R(\text{dBm}) = P_n + NF + 10 \log(B) \quad (5)$$

donde:

P_n : la potencia de ruido térmico disponible a la temperatura ambiente en una anchura de banda de 1 Hz (-174 dBm)

B : la anchura de banda de medición (Hz).

El valor del factor de ruido puede consultarse en la hoja de especificaciones del receptor. El parámetro P_R también se conoce con el nombre de «nivel de ruido medio visualizado» (DANL).

3.3 Anchura de banda del receptor

Siempre que se especifican los niveles de las señales de RF, también debe especificarse la anchura de banda de referencia empleada para medir este nivel. Sin otra información adicional, la máxima intensidad de campo para proteger una estación de comprobación técnica normalmente se mediría en la anchura de banda total de la señal respectiva.

3.4 Ganancia de antena

Para convertir los niveles de entrada medidos en intensidad de campo, es importante conocer las propiedades de la antena y la atenuación del cable de RF entre la antena y el receptor. La ganancia de antena está relacionada con el factor de antena de acuerdo con la siguiente expresión:

$$G_i = 20 \log(f) - k - 30 \text{ dB} \quad (6)$$

donde:

G_i : la ganancia de antena en la dirección del haz principal (dBi)

f : la frecuencia (MHz)

k : el factor de antena (dB/m).

El factor de antena y la atenuación del cable de RF pueden utilizarse para calcular la intensidad de campo a partir de la tensión en la entrada del receptor de acuerdo con la ecuación:

$$E = U + k + \alpha_c \quad (7)$$

donde:

E : la intensidad de campo eléctrico (dB μ V/m)

U : la tensión a la entrada del receptor (dB μ V)

α_c : la atenuación del cable de RF (dB).

Los valores del factor de antena y/o de la ganancia de antena y la atenuación del cable de RF pueden extraerse de las hojas de especificaciones de la antena y el cable.

Para sistemas de 50 ohmios, la potencia de RF y la tensión de RF están relacionadas por la expresión:

$$P(\text{dBm}) = U(\text{dB}\mu\text{V}) - 107 \text{ dB} \quad (8)$$

de manera que:

$$E \left(\frac{\text{dB}\mu\text{V}}{\text{m}} \right) = P(\text{dBm}) + 20 \log(f(\text{MHz})) - G_i(\text{dB}) + \alpha_c(\text{dB}) + 77 \text{ dB} \quad (9)$$

3.5 Ruido externo

El ruido externo en este contexto es el nivel de todas las emisiones no deseadas, ya sean artificiales o naturales, que le llegan al receptor de comprobación técnica a través de la antena. Para frecuencias por encima de unos 30 MHz, la componente principal es el ruido artificial. Sin embargo, en la mayoría de los casos el nivel de ruido artificial es inferior al nivel de ruido del receptor, especialmente en zonas rurales, y por tanto puede despreciarse en el proceso de cálculo.

No obstante, para frecuencias por debajo de 30 MHz, la sensibilidad del montaje de comprobación técnica se determina mediante el ruido externo en vez del ruido del receptor. El nivel real de ruido externo depende en gran medida del emplazamiento de la estación de comprobación técnica e incluso de la hora del día.

Además, la propagación por onda ionosférica de las señales por debajo de 30 MHz normalmente produce las señales de mayor intensidad recibidas de las estaciones de radiodifusión con AM. Aunque el nivel de recepción de estas estaciones puede ser tan alto que se reduce considerablemente la calidad de la comprobación técnica, la administración que realiza esta comprobación técnica no tiene influencia legal sobre la presencia de estas señales. Por otra parte, están presentes en cualquier posible emplazamiento de comprobación técnica. Por consiguiente, no parece sensato calcular las intensidades de campo de protección para frecuencias por debajo de 30 MHz.

El siguiente cálculo sólo es válido para frecuencias por encima de 30 MHz en las que el ruido térmico no es dominante.

3.6 Proceso de cálculo

Para calcular la potencia del producto de intermodulación de 3^{er} orden (IM3) se supone que en el circuito de entrada del receptor interactúan tres señales de igual potencia y anchura de banda.

La anchura de banda de un producto de intermodulación procedente de tres señales es tres veces la anchura de banda de la señal B_s .

No es fácil determinar la anchura de banda de un producto de intermodulación cuando interactúan señales reales (por ejemplo, DVB-T o LTE). Normalmente, estos espectros no tienen mínimos y máximos significativos. Por tanto, es posible suponer, sin temor a error, que el espectro de este producto de intermodulación es rectangular.

La parte de potencia ΔP_{IM3} del producto de intermodulación medida en la anchura de banda B puede calcularse como sigue:

$$\Delta P_{IM3}(\text{dBm}) = P_{IM3} + 10 \log \left(\frac{B}{3B_s} \right) \quad (10)$$

Utilizando la ecuación (1) este término pasa a ser:

$$\Delta P_{IM3}(\text{dBm}) = 3P_S - 2P_{IP3} + 6 \text{ dB} + 10 \log \left(\frac{B}{3B_s} \right) = 3P_S - 2P_{IP3} + 6 \text{ dB} + 10 \log(B) - 10 \log(3B_s) \quad (11)$$

La inferencia debida a los productos de IM empieza a ser visible cuando el nivel de ΔP_{IM3} rebasa el umbral de ruido del receptor:

$$\Delta P_{IM3} \geq P_R \quad (12)$$

El punto «crítico» en el que aparece esta situación puede determinarse utilizando las ecuaciones (5) y (11), como sigue:

$$3P_S - 2P_{IP3} + 6 \text{ dB} + 10 \log(B) - 10 \log(3B_S) = NF + 10 \log(B) - 174 \text{ dBm} \quad (13)$$

$$P_S = \frac{2P_{IP3} + NF + 10 \log(B_S) + 10 \log(3) - 6 \text{ dB} - 174 \text{ dB}}{3} \quad (14)$$

$$P_S = \frac{2P_{IP3} + NF + 10 \log(B_S)}{3} - 58,4 \text{ dBm} \quad (15)$$

La intensidad de campo correspondiente a P_S puede calcularse utilizando la ecuación (9):

$$E_{m\acute{a}x} \left(\frac{\text{dB}\mu\text{V}}{\text{m}} \right) = \frac{2P_{IP3}(\text{dBm}) + NF(\text{dB}) + 10 \log B_S(\text{Hz})}{3} + 20 \log(f)(\text{MHz}) - G_i(\text{dB}) + \alpha_c(\text{dB}) + 18,6 \text{ dB} \quad (16)$$

3.7 Efecto de la interferencia causada por un gran número de estaciones

La ecuación (16) ya revela la máxima intensidad de campo admisible de cada transmisor perturbador que puede estar implicado en un posible producto de intermodulación.

Si se reciben más de tres transmisiones con esta máxima intensidad de campo, el único efecto será que los productos de intermodulación adicional aparecerán a distintas frecuencias, pero el nivel de cada uno de estos productos de intermodulación no se incrementará. Por tanto, no es necesaria una adaptación adicional de los máximos valores de intensidad de campo admisible.

4 Valores típicos de los parámetros

Para conseguir un valor numérico de la máxima intensidad de campo admisible a partir de la ecuación (16) deben elegirse valores realistas para los parámetros de factor de ruido del receptor, punto de intercepción de 3^{er} orden, anchura de banda de referencia y ganancia de antena. Este punto ofrece orientaciones sobre la forma de seleccionar estos valores.

4.1 Factor de ruido del receptor

Los factores de ruido de los receptores de comprobación técnica y de los analizadores de espectro a menudo se encuentran en la gama entre 7 y 24 dB. El factor de ruido global del montaje de medición puede mejorarse hasta descender a un valor de 1 dB utilizando amplificadores de bajo nivel de ruido (LNA), pero para una estación de comprobación técnica fija, esto no es una configuración típica. Suponiendo que amplificadores incorporados, se sugiere utilizar un factor de ruido típico de unos 10 dB cuando se calcule la máxima intensidad de campo admisible en el contexto de la presente Recomendación.

4.2 IP3

Los niveles IP3 de los receptores de comprobación técnica y de los analizadores de espectro a menudo se encuentran en la gama entre +10 y +30 dBm. Un valor de +15 dBm puede considerarse típico, aunque los receptores de banda ancha digitales especiales sin ninguna preselección y una baja gama dinámica pueden tener menores niveles de IP3.

4.3 Anchura de banda de la señal

Cuando se miden señales débiles, el valor más elevado de S/N se logra cuando se utiliza la anchura de banda de medición más estrecha posible porque ello se traduciría en el DANL más bajo posible. Sin embargo, esto sólo es cierto para portadoras sin modular. Cuando se miden señales digitales, por ejemplo, las anchuras de banda de medición más estrechas no incrementan la relación señal/ruido (S/N) y, por tanto, no aumentaría la sensibilidad de la medición. Además, los productos de IM que interfieren con una medición no son portadoras sin modular. Tienen una anchura de banda incluso mayor que las señales de gran intensidad implicadas, de manera que la posible interferencia no aumenta cuando se utiliza una anchura de banda de medición más estrecha que la anchura de banda de la señal.

Por tanto, se recomienda especificar una anchura de banda de la señal típica en la respectiva banda de frecuencias cuando se calcula la máxima intensidad de campo para proteger a las estaciones de comprobación técnica.

4.4 Ganancia de antena

Una antena dipolo sintonizada tiene una ganancia de 2,15 dBi. Muchas antenas de comprobación técnica son omnidireccionales y no tienen una ganancia elevada. Además, normalmente puede considerarse que las antenas utilizadas en los radiogoniómetros tienen la ganancia de los dipolos. Sin embargo, muchas estaciones de comprobación técnica también van equipadas con antenas directivas. La ganancia de estas antenas reduciría a su vez la intensidad de campo admisible. No obstante, se recomienda suponer una antena dipolo en el cálculo de la máxima intensidad de campo admisible, por las siguientes razones:

- si se consideran antenas directivas se obtendría una intensidad de campo admisible que depende de los equipos de comprobación técnica, lo cual se pretende evitar (véase el § 2) para lograr unos límites de intensidad de campo transparentes y uniformes;
- los productos de intermodulación aquí considerados siempre suponen al menos dos señales intensas. El cálculo con la ganancia de una antena directiva en su haz principal supone que todas las señales intensas se reciben de la misma dirección, lo cual no es siempre realista y se sobrestima la posible interferencia;
- la posible interferencia debida a un incremento del nivel de señal con antenas directivas sólo sería efectiva en cierta dirección mientras que en el resto de direcciones la intensidad de campo, y por tanto la posible interferencia, es incluso inferior que en el caso de antenas omnidireccionales.

Cabe señalar que el uso de antenas directivas de alta ganancia puede dar lugar a efectos de interferencia en ciertas direcciones debido a unos niveles de intensidad de campo superiores a los calculados cuando se suponen antenas omnidireccionales. Si estos efectos no son tolerables, pueden instalarse filtros de banda eliminada o atenuadores para evitar mediciones incorrectas.

4.5 Atenuación del cable de RF

Para convertir los niveles de entrada medidos en intensidad de campo, es importante conocer las propiedades no sólo de la antena, sino también la atenuación del cable de RF entre la antena y el receptor. Cabe destacar que según aumenta el diámetro del cable, tanto su frecuencia superior como su atenuación disminuyen. Por tanto, el cable con la frecuencia de funcionamiento superior necesaria mínima tendrá la atenuación mínima. En consecuencia, un cable con un rango de frecuencias mayor que el necesario puede no ser óptimo debido a una mayor atenuación.

Un ejemplo realista es el caso de una frecuencia de funcionamiento superior de la estación de 6 GHz, y una longitud del cable entre la antena y el receptor de 40 metros. La atenuación de dicha longitud

de un cable popular con una frecuencia de corte de 6 GHz es 8 dB, mientras que la atenuación del mismo modelo de cable con una frecuencia de corte de 12 GHz es 12,8 dB. En la banda GSM de 950 MHz, la atenuación de estos cables sería de 2,8 dB y 4,5 dB respectivamente.

5 Ejemplo de cálculo utilizando valores típicos

En este punto aparece un ejemplo de cálculo empleando valores de los parámetros típicos sugeridos en el § 4. Aplicando la ecuación (16) y considerando las diferentes anchuras de banda de referencia, es evidente que la máxima intensidad de campo resultante será dependiente de la frecuencia.

Para la gama de frecuencias GSM en torno a 950 MHz, por ejemplo, la ecuación (16) arroja el siguiente resultado:

$$E_{m\acute{a}x} \left(\frac{\text{dB}\mu\text{V}}{\text{m}} \right) = \frac{2 \cdot 15 \text{ dBm} + 10 \text{ dB} + 10 \log(250.000 \text{ Hz})}{3} + 20 \log(950 \text{ MHz}) - 2,15 \text{ dB} + 2,8 \text{ dB} + 18,6 \text{ dB} = 110,1 \text{ dB}\mu\text{V/m}$$
