

EKSPERTYZA

dotycząca określenia kryteriów ochrony aktywnych anten oraz odbiorników stanowiących wyposażenie Regionalnych Stacji Kontroli Emisji Radiowych UKE przed zakłóceniami ze strony instalacji antenowych stacji bazowych, wykonana na zlecenie Urzędu Komunikacji Elektronicznej

WARSZAWA


2017

Spis treści

| | | |
|-------|--|----|
| 1. | Wykonawca ekspertyzy..... | 3 |
| 2. | Zleceniodawca..... | 3 |
| 3. | Przedmiot ekspertyzy | 3 |
| 4. | Miejsce badań..... | 3 |
| 5. | Wykonawcy pracy..... | 3 |
| 6. | Charakterystyka problemu | 4 |
| 7. | Podstawy teoretyczne | 6 |
| 7.1. | Obliczenia propagacyjne | 6 |
| 7.2. | Poziom produktów intermodulacji trzeciego rzędu | 8 |
| 7.3. | Obliczanie wypadkowej wartości IP3 łańcucha trzech urządzeń..... | 11 |
| 7.5. | Dopuszczalny poziom sygnału zakłócającego | 13 |
| 7.6. | Zysk anteny odbiorczej | 15 |
| 8. | Wyniki analizy i obliczeń..... | 15 |
| 8.1. | Obliczenia propagacyjne | 15 |
| 8.2. | Produkty intermodulacji urządzeń SKER | 16 |
| 8.3. | Wypadkowa wartość IP3 urządzeń SKER | 19 |
| 8.3. | Dopuszczalny poziom sygnału zakłócającego BS | 19 |
| 9. | Dokumenty źródłowe | 21 |
| 9.1. | Literatura | 21 |
| 9.2. | Specyfikacja parametrów | 21 |
| 10. | Badania laboratoryjne | 21 |
| 10.1. | Badania odporności odbiornika na blokowanie | 22 |
| 10.2. | Badanie odporności odbiornika na intermodulacje | 28 |

Zatwierdził:

Kierownik Laboratorium Badań
Urządzeń Telekomunikacyjnych,



mgr inż. Aleksander Orłowski

1. Wykonawca ekspertyzy

| |
|--|
| Instytut Łączności – Państwowy Instytut Badawczy (IŁ-PIB), Zakład Badań Systemów i Urządzeń (Z-1), Laboratorium Badań Urządzeń Telekomunikacyjnych (LBUT), ul. Szachowa 1, 04-894 Warszawa. Kierownik LBUT: mgr inż. Aleksander Orłowski tel.: 22 51 28 360 faks: 22 51 28 180 e-mail: lbut@itl.waw.pl |
|--|

2. Zleceniodawca

| |
|---|
| Urząd Komunikacji Elektronicznej, ul. Kasprzaka 18/20, 01-211 Warszawa. |
|---|

| | |
|--------------|--|
| Umowa: | nr BFB.26.1.2017 z dn. 22 lutego 2017 r. |
|--------------|--|

3. Przedmiot ekspertyzy

Przedmiotem niniejszej ekspertyzy jest określenie kryteriów ochrony aktywnych anten oraz odbiorników stanowiących wyposażenie Regionalnych Stacji Kontroli Emisji Radiowych (RSKER) Urzędu Komunikacji Elektronicznej przed zakłóceniami ze strony instalacji antenowych stacji bazowych (BS).

W pracy wyjaśniono potrzebę ochrony odbiorników stacji kontroli emisji radiowych przed zakłóceniami ze strony stacji bazowych. Przedstawiono podstawy teoretyczne wymagane do określenia kryterium ochrony i sformułowano kryterium polegające na wyznaczeniu dopuszczalnego natężenia pola zakłócenia ze strony BS w miejscu instalacji anteny odbiorczej SKER.

Przedstawiono także wyniki wykonanych badań laboratoryjnych odporności odbiornika R&S typu DF255 oraz anteny typu R&S ADD295 w zestawie z tym odbiornikiem na intermodulację i blokowanie.

4. Miejsce badań

Instytut Łączności – PIB,
Laboratorium Badań Urządzeń Telekomunikacyjnych,
ul. Szachowa 1,
04-894 Warszawa.

5. Wykonawcy pracy

- Aleksander Orłowski (kierownik pracy)
- Augustyn Wójcik
- Arkadiusz Kalinowski

6. Charakterystyka problemu

Zagęszczenia lokalizacji stacji bazowych (BS) związane z rozwojem radiowych sieci komórkowych systemów kolejnych generacji powoduje zwiększenie poziomu pól elektromagnetycznych w środowisku, także w otoczeniu stacji kontroli emisji radiowych (SKER) użytkowanych przez UKE. W związku z tym lokalizacja każdej nowej BS w pobliżu SKER powinna być zbadana i oceniona pod względem zakłóceń, które może powodować w działaniu odbiorników SKER.

W literaturze [2, 3, 5, 6] opisano różna zjawiska, które mogą być przyczyną zakłóceń powodowanych przez niepożądane sygnały o dużym poziomie występujące na wejściu odbiornika radiowego: w tym intermodulacje drugiego i trzeciego rzędu oraz blokowanie. Spośród wymienionych, jako najbardziej uciążliwą wskazuje się intermodulacje trzeciego rzędu, której produkty powstające w odbiorniku są fałszywymi sygnałami o częstotliwościach w paśmie dostrojenia odbiornika, powodują degradację jakości odbioru sygnału użytecznego, a w SKER mogą być identyfikowane jako emisje, które w rzeczywistości nie istnieją.

Ponieważ powstawanie intermodulacji jest związane z mocą sygnałów na wejściu odbiornika (por. p. 7.3) jako kryterium ochrony SKER przed intermodulacją można rozważyć przyjęcie:

a) Maksymalnej dopuszczalnej mocy sygnałów BS na wejściu odbiornika SKER.

Zastosowanie tego kryterium, jak pokazano dalej w Tab. 5 (przy ustalonej równoważnej mocy promieniowanej nadajnika P_{TX}), uzależnia wymaganą odległość ochronną od:

- parametrów instalacji antenowej odbiornika (zysku anteny G_{RX} i tłumienia toru antenowego L_{RX}), które obecnie nie są identyczne we wszystkich stacjach UKE i mogą ulec zmianie;
- częstotliwości nadajnika.

Operator sieci komórkowej planujący lokalizację BS w pobliżu SKER, aby zapewnić spełnienie tego wymagania, musiałby znać parametry odbiorczej instalacji antenowej SKER we wszystkich zakresach częstotliwości planowanej stacji.

b) Maksymalne natężenie pola elektrycznego w miejscu instalacji anteny SKER.

W przypadku zastosowania tego kryterium, jak pokazano dalej w Tab. 3, wymagana odległość ochronna jest zależna od równoważnej mocy promieniowanej nadajnika P_{TX} .

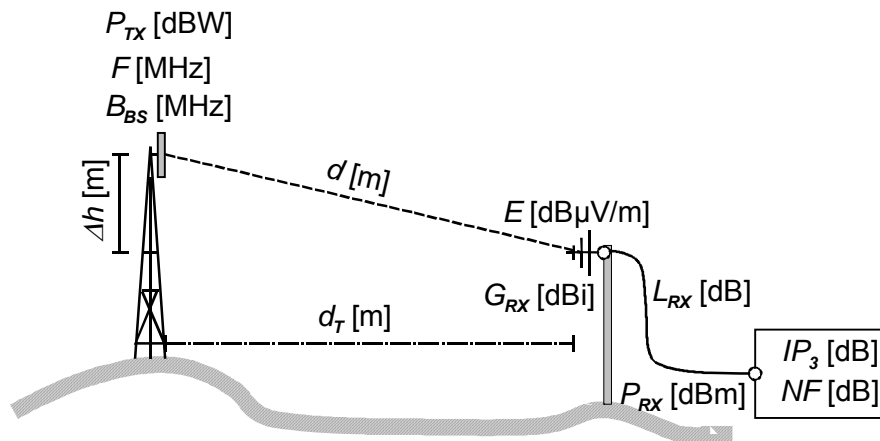
Zatem operator planujący lokalizację BS nie musi znać parametrów odbiorczej instalacji antenowej SKER we wszystkich zakresach częstotliwości planowanej stacji.

Maksymalna dopuszczalna wartości natężenia pola sygnału niepożądanego, która nie powoduje zauważalnych zakłóceń zależy od:

- odporności odbiornika na sygnały o dużym poziomie;
- czułości odbiornika;
- częstotliwości i szerokości pasma sygnałów zakłócających;
- poziomu szumu w otoczeniu anteny; /*
- zysku anteny;
- tłumienia toru pomiędzy anteną i odbiornikiem.

/* Szum otoczenia charakteryzuje niepożądane emisje związane z działalnością ludzi (np. zakłócenia przemysłowe) i zjawiskami naturalnymi (np. wyladowania atmosferyczne). Emisje te występują w zakresie poniżej 30 MHz w rozważaniu odległości ochronnej BS sieci komórkowej pominięto.

Na Rys. 1 przedstawiono scenariusz zakłóceń analizowany w niniejszym opracowaniu.



Rys. 1: Scenariusz zakłóceń odbiornika SKER przez emisję BS

Wykaz symboli stosowanych w przedstawionych dalej formułach:

Odnosnie stacji bazowej:

- P_{TX} [dBW] e.i.r.p. równoważna moc BS promieniowana izotropowo w kierunku anteny SKER
 F [MHz] częstotliwość fali nośnej (środkowa pasma emisji) BS
 B_{BS} [MHz] szerokość pasma emisji BS

Odnosnie stacji kontroli emisji radiowych:

- E [dBμV/m] wartość skuteczna natężenia pola elektrycznego emisji BS w punkcie instalacji anteny odbiorczej SKER
 G_{RX} [dBi] zysk anteny SKER (przy częstotliwości F) względem anteny izotropowej w kierunku anteny BS
 L_{RX} [dB] tłumienie toru łączącego antenę z odbiornikiem (przy częstotliwości F)
 P_{RX} [dBm] moc niepożądanego sygnału BS na wejściu odbiornika o impedancji 50 Ω
 IP_3 [dB] punkt przecięcia poziomu intermodulacji trzeciego rzędu (wg specyfikacji odbiornika)
 NF [dB] współczynnik szumu odbiornika (wg specyfikacji odbiornika)

Lokalizacja anten:

- Δh [m] różnica wysokości anten n.p.m.
 d_T [m] odległość pomiędzy antenami wg współrzędnych geograficznych lokalizacji
 d [m] odległość pomiędzy antenami w linii prostej: $d = \sqrt{d_T^2 + (\Delta h)^2}$
 Ponieważ $d \geq d_T$ w obliczeniach dotyczących zapewnienia ochrony SKER można dla uproszczenia zastąpić wartość d wartością d_T

7. Podstawy teoretyczne

7.1. Obliczenia propagacyjne

Dla potrzeb niniejszej ekspertyzy przyjęto następujące ogólne założenia:

- Narażona antena SKER i antena zakłócającej stacji bazowej są umieszczone co najmniej 10 m n.p.t.
- Odległość anteny SKER od anteny BS zapewnia spełnienie warunków dla pola dalekiego.
- Bezpośrednia widoczność anteny stacji bazowej z punktu, którym jest środek elektryczny anteny SKER, por. Rys. 1.
- Pierwsza strefa Fresnela jest wolna od przeszkód.
- Impedancja wejściowa odbiornika: 50 Ω , spełnione warunki dopasowania anten, kabli i wejścia odbiornika.

Do obliczania tłumienia fali radiowej zastosowano metodę z Zalecenia ITU-R P.525-3 [1].

Obliczanie natężenia pola elektrycznego

W dostatecznie dużej odległości od anteny nadawczej BS wartość skuteczna natężenia pola elektrycznego wytwarzanego w wolnej przestrzeni w polu dalekim wynosi:

$$E = \frac{\sqrt{30P_{TX}}}{d}$$

gdzie:

- E [V/m] wartość skuteczna natężenia pola;
- P_{TX} [W] równoważna moc promieniowana izotropowo, e.i.r.p.;
- d [m] odległość pomiędzy antenami;

lub w skali logarytmicznej:

$$20 \log E \text{ [V/m]} = 10 \log 30 + 10 \log P_{TX} \text{ [W]} - 20 \log d \text{ [m]}$$

Wyrażając: E [dB μ V/m]; P_{TX} [dBW]; d [m]; uzyskuje się dogodną formułę do obliczania natężenia pola elektrycznego:

$$E \text{ [dB}\mu\text{V/m]} = 134,8 + P_{TX} \text{ [dBW]} - 20 \log d \text{ [m]} \dots\dots\dots (1)$$

Uwaga. Formuła (1) dotyczy anteny z polaryzacją liniową: pionową lub poziomą. W przypadku anteny nadawczej BS z polaryzacją ukośną $\pm 45^\circ$ występują dwie ortogonalne składowe natężenia pola: pozioma E_H oraz pionowa E_V .

$$E_H = \frac{E}{\sqrt{2}} \quad E_V = \frac{E}{\sqrt{2}}$$

Przedstawione dalej obliczenia dotyczące narażenia anteny SKER na zakłócenia należy odnieść do połowy mocy BS i do odpowiedniej polaryzacji anteny odbiorczej.

Obliczanie tłumienia trasy i mocy doprowadzanej do wejścia odbiornika:

Tłumienie fali na trasie od anteny nadawczej do wyjścia odbiorczej anteny izotropowej wynosi [1]:

$$L = 20 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)$$

gdzie:

- L tłumienie [W/W],
- λ długość fali [m],

podstawiając:

$$\lambda = \frac{c}{F}$$

gdzie:

- $c = 3 \times 10^8$ m/s prędkość fali radiowej w powietrzu,
- F częstotliwość fali, [Hz],

$$\lambda = \frac{300}{F [\text{MHz}]} \text{ [m]}$$

uzyskuje się dogodną formułę do obliczania tłumienia fali w otwartej przestrzeni:

$$L = -27,56 + 20 \log(d) + 20 \log(F) \text{ [dB]} \dots\dots\dots (2)$$

gdzie:

- d odległość pomiędzy antenami, [m];
- F częstotliwość fali, [MHz];

Moc doprowadzona do wejścia odbiornika P_{RX} z uwzględnieniem tłumienia trasy L [dB], zysku anteny odbiorczej G_{RX} [dBi] i tłumienia toru antenowego odbiornika L_{RX} [dB] dla sygnału o częstotliwości F [MHz] wynosi:

$$P_{RX} [\text{dBW}] = P_{TX} [\text{dBW}] - L [\text{dB}] + G_{RX} [\text{dBi}] - L_{RX} [\text{dB}]$$

Po zamianie jednostek:

$$P_{RX} [\text{dBm}] = 30 + P_{TX} [\text{dBW}] - L [\text{dB}] + G_{RX} [\text{dBi}] - L_{RX} [\text{dB}] \dots\dots\dots (3)$$

Obliczanie natężenia pola wymaganego do uzyskania mocy P_{RX} na wyjściu anteny izotropowej

Moc na wyjściu anteny izotropowej umieszczonej w polu o natężeniu E wynosi:

$$P_{RX} = \frac{E^2 \lambda^2}{480 \pi^2}$$

gdzie:

- P_{RX} moc na wyjściu anteny izotropowej, [W];
- λ długość fali, [m].

a po podstawieniu częstotliwości F zamiast długości fali λ :

$$P_{RX} = \frac{E^2 300^2}{480 \pi^2 F^2} = 19 \frac{E^2}{F^2}$$

stąd po przekształceniu wartość skuteczna natężenia pola: $E^2 = \frac{P_{RX} F^2}{19}$

a w skali logarytmicznej $20 \log E = 10 \log P_{RX} + 20 \log F - 12,8$

$$E = P_{RX} + 20 \log F - 12,8$$

gdzie: E [dBV/m]; P_{RX} [dBW]; F [MHz]

Zamieniając jednostki na dogodne do obliczeń inżynierskich uzyskuje się formułę do obliczania natężenia pola wymaganego do uzyskania mocy P_{RX} na wyjściu odbiorczej anteny izotropowej:

$$E \text{ [dB}\mu\text{V/m]} = 77,2 + P_{RX} \text{ [dBm]} + 20 \log F \text{ [MHz]} \dots\dots\dots (4)$$

Jeżeli jest stosowana antena odbiorcza o zysku G_{RX} [dBi] i tor antenowy o tłumieniu L_{RX} [dB] dla częstotliwości F [MHz], to natężenie pola wymagane do uzyskania mocy P_{RX} na wejściu odbiornika wynosi:

$$E \text{ [dB}\mu\text{V/m]} = 77,2 + P_{RX} \text{ [dBm]} + 20 \log F \text{ [MHz]} - G_{RX} \text{ [dBi]} + L_{RX} \text{ [dB]} \dots\dots\dots (5)$$

Natomiast moc P_{RX} na wejściu odbiornika, gdy znane są natężenie pola E [dB μ V/m], zysk G_{RX} [dBi] i tłumienie toru antenowego L_{RX} [dB] wynosi:

$$P_{RX} \text{ [dBm]} = E \text{ [dB } \mu\text{V/m]} - 77,2 - 20 \log F \text{ [MHz]} + G_{RX} \text{ [dBi]} - L_{RX} \text{ [dB]} \dots\dots\dots (6)$$

Obliczanie odległości ochronnej stacji, gdy ograniczenie stanowi P_{RX} [dBm] moc zakłócenia na wejściu odbiornika:

$$d \text{ [m]} = 10^{\frac{DP}{20}} \dots\dots\dots (7a)$$

gdzie:

$$DP = 57,6 + P_{TX} \text{ [dBW]} - P_{RX} \text{ [dBm]} - 20 \log F \text{ [MHz]} + G_{RX} \text{ [dBi]} - L_{RX} \text{ [dB]} \dots\dots\dots (7b)$$

Obliczanie odległości ochronnej stacji, gdy ograniczenie stanowi natężenie pola E [dB μ V/m] w miejscu instalacji anteny odbiorczej

Z przekształcenia formuły (1):

$$20 \log d \text{ [m]} = 134,8 + P_{TX} \text{ [dBW]} - E \text{ [dB } \mu\text{V/m]}$$

$$d \text{ [m]} = 10^{\frac{DE}{20}} \dots\dots\dots (8a)$$

gdzie:

$$DE = 134,8 + P_{TX} \text{ [dBW]} - E \text{ [dB}\mu\text{V/m]} \dots\dots\dots (8b)$$

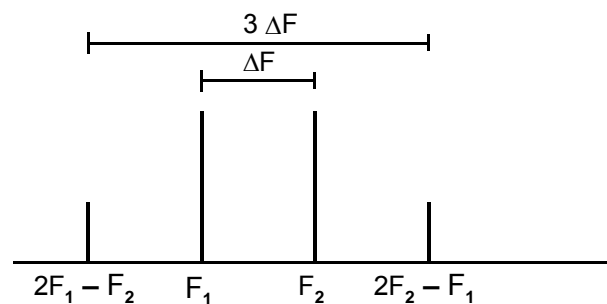
7.2. Poziom produktów intermodulacji trzeciego rzędu

W niniejszym punkcie przedstawiono metodę określania poziomu produktów intermodulacji trzeciego rzędu powstających, gdy na wejściu odbiornika występują sygnały o dużym/* poziomie.

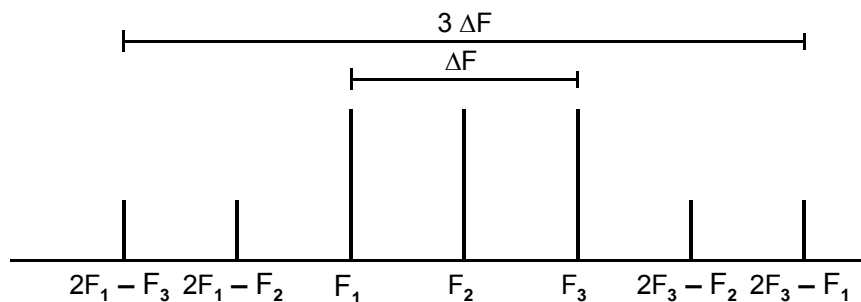
/* Określenie względne, należy rozumieć, że są to sygnały o poziomie wyższym od największego poziomu, przy którym wpływ nielinearności charakterystyki amplitudowej odbiornika może być pominięty. Jest to indywidualna właściwość danego odbiornika.

Na skutek nielinearności charakterystyki amplitudowej odbiornika pojawiają się produkty intermodulacji o częstotliwościach stanowiących kombinacje częstotliwości sygnałów wejściowych, spośród których w przypadku:

- dwóch sygnałów odpowiednio o częstotliwościach F_1 i F_2 występujących w paśmie o szerokości ΔF , pojawiają się dwa produkty intermodulacji o częstotliwościach: $2F_1 - F_2$ oraz $2F_2 - F_1$ w paśmie o szerokości $3\Delta F$, por. Rys. 2, i jeżeli ich częstotliwości znajdują się w paśmie odbiornika są one sygnałami zakłócającymi;
- trzech sygnałów odpowiednio o częstotliwościach F_1 , F_2 i F_3 występujących w paśmie o szerokości ΔF , pojawiają się cztery produkty intermodulacji o częstotliwościach: $2F_1 - F_3$, $2F_1 - F_2$, $2F_3 - F_2$ oraz $2F_3 - F_1$ w paśmie o szerokości $3\Delta F$, por. Rys. 3, i jeżeli ich częstotliwości znajdują się w paśmie odbiornika są one sygnałami zakłócającymi.



Rys. 2: Produkty intermodulacji trzeciego rzędu dwóch sygnałów



Rys. 3: Produkty intermodulacji trzeciego rzędu trzech sygnałów

Moc produktów intermodulacji trzech sygnałów jest dwukrotnie większa (+6 dB) od mocy produktów intermodulacji dwóch sygnałów o tych samych amplitudach.

Jeżeli, jak w Zaleceniu ITU-R SM.1134-1 [2] oraz przewodniku [3], oznaczyć:

P_{E-IN} : równoważną/* moc odpowiednio dwóch, lub trzech, sygnałów na wejściu odbiornika, [dBm];

/* *Moc sygnałów o równych poziomach P_{IN} , które generują ten sam poziom intermodulacji jak występujące na wejściu odbiornika dwa, lub trzy, sygnały o różnych poziomach P_1 i P_2 , lub odpowiednio P_1 , P_2 i P_3 .*

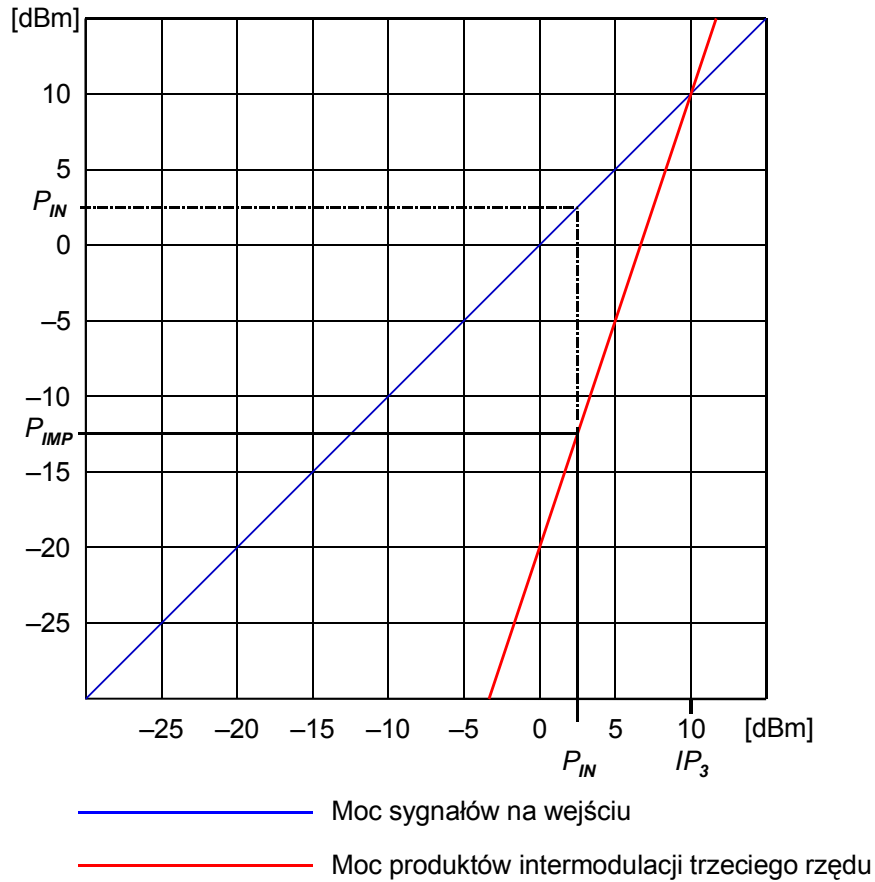
IP_3 : parametr określający teoretyczny poziom sygnałów, przy którym poziom produktów intermodulacji trzeciego rzędu jest równy poziomowi sygnałów wejściowych, [dBm];

to P_{IMP} moc produktów intermodulacji trzeciego rzędu odniesioną do wejścia odbiornika określają zależności:

– dla dwóch sygnałów: $P_{IMP} [\text{dBm}] = 3 P_{IN} - 2 \cdot IP_3$;

– dla trzech sygnałów: $P_{IMP} [\text{dBm}] = 3 P_{IN} - 2 \cdot IP_3 + 6 \text{ dB}$.

Sposób obliczania mocy produktów intermodulacji trzeciego rzędu w zależności od P_{IN} oraz IP_3 odbiornika wyjaśniono na Rys. 4.



Rys. 4; Obliczanie mocy produktów intermodulacji trzeciego rzędu

Przykład na Rys. 4:

Znany parametr odbiornika $IP_3 = 10$ dBm.

Przy mocy sygnałów na wejściu, $P_{IN} = 2,5$ dBm,

moc produktów intermodulacji trzeciego rzędu:

$$P_{IMP} [\text{dBm}] = 3 P_{IN} - 2 \cdot IP_3 = 7,5 - 20 = -12,5 \text{ dBm}$$

7.3. Obliczanie wypadkowej wartości IP3 łańcucha trzech urządzeń

Do oceny odporności na intermodulację łańcucha trzech urządzeń, składającego się np. ze wzmacniacza antenowego, toru antenowego z przełącznikiem anten i odbiornika pomiarowego, konieczne jest obliczenie wypadkowej wartości IP3 łańcucha, Rys. 5.



Rys. 5: Oznaczenia wymaganych parametrów łańcuch urządzeń

1. Dane wejściowe do obliczeń:

$IP3_N ; IP3_{N-1} ; IP3_{N-2}$ [dBm] punkty przecięcia intermodulacji trzeciego rzędu urządzeń;
 $G_N ; G_{N-1} ; G_{N-2}$ [dB] wzmocnienie (tłumienie) wnoszone przez te urządzenia.

2. Zamiana miar logarytmicznych na liniowe i odwrotnie

$$ip3 = 10^{\frac{IP3}{10}} \quad IP3 = 10 \log(ip3)$$

$$g = 10^{\frac{G}{10}} \quad G = 10 \log(g)$$

gdzie: $ip3$ [mW]; $IP3$ [dBm]

g [mW/mW] G [dB]

3. Obliczenia

Obliczenia wypadkowego IP3 należy wykonać zaczynając od końca łańcucha:

$$\frac{1}{ip3_{N,N-1}} = \frac{g_{N-1}}{ip3_N} + \frac{1}{ip3_{N-1}}$$

$$\frac{1}{ip3_{N,N-1,N-2}} = \frac{g_{N-2}}{ip3_{N,N-1}} + \frac{1}{ip3_{N-2}}$$

po podstawieniu:

$$\frac{1}{ip3_{N,N-1,N-2}} = \frac{g_{N-2}g_{N-1}}{ip3_N} + \frac{g_{N-2}}{ip3_{N-1}} + \frac{1}{ip3_{N-2}} \dots \dots \dots (9)$$

Przedstawioną metodę można zastosować do większej liczby urządzeń w łańcuchu.

Uwagi.

1. Jeżeli urządzenie nie wnosi intermodulacji,
 to $ip3 = \infty$, do obliczeń należy przyjąć odpowiednio: $ip3 = 10^{10}$ mW, czyli $IP3 = 100$ dBm
2. Jeżeli urządzenie nie wnosi wzmocnienia, lub tłumienia,
 do obliczeń przyjąć odpowiednio: $g = 1$, czyli $G = 0$ dB

Przykład:

$$IP_{31} = 11 \text{ dBm}; G_1 = 20 \text{ dB};$$

$$G_2 = -10 \text{ dB};$$

$$IP_{33} = 20 \text{ dBm};$$

odpowiednie wielkości w skali liniowej:

$$ip_{31} = 12,6 \text{ mW}; g_1 = 100;$$

$$g_2 = 0,1;$$

$$ip_{33} = 100 \text{ mW};$$

podstawiając dane do wzoru (9):

$$\frac{1}{ip_{3,2,1}} = \frac{g_1 g_2}{ip_{33}} + \frac{g_1}{ip_{32}} + \frac{1}{ip_{31}}$$

$$\frac{1}{ip_{3,2,1}} = \frac{100 \cdot 0,1}{100} + \frac{100}{\infty} + \frac{1}{12,6} = 0,1 + 0 + 0,079 = 0,179$$

$$ip_{3,2,1} = 5,6 \text{ mW} \quad IP_{3,2,1} = 7,5 \text{ dBm}$$

7.4. Czułość odbiornika

Bez zakłóceń występujących na wejściu odbiornika jego czułość jest zależna od stosunku minimalnej mocy sygnału użytecznego P_C , zapewniającej wymaganą jakość odbioru, do mocy szumu P_N , co w skali logarytmicznej wyraża minimalna różnica pomiędzy $P_C - P_N$. Jeżeli w paśmie odbiornika występuje zakłócenie o mocy P_I , to do uzyskania tego samego stosunku mocy sygnału użytecznego do sumy mocy szumu P_N i mocy zakłócenia P_I , czyli zapewnienia wymaganej różnicy $P_C - (P_N + P_I) = P_C - P_{N+I}$, jest konieczne zwiększenie mocy sygnału użytecznego. Innymi słowy zakłócenie występujące w paśmie odbiornika może powodować degradację czułości odbiornika. W Tab. 1 przedstawiono zależność degradacji czułości, której miarą jest różnica $(P_{N+I} - P_N)$, od stosunku mocy zakłócenia do mocy szumu odbiornika, której miarą jest różnica $(P_I - P_N)$.

Tab. 1: Degradacja czułości odbiornika wskutek zakłócenia

| $P_I - P_N$ | dB | -20 | -10 | -6 | -5 | -4 | -3 | -2 | -1 | 0 | 1 | 2 |
|-----------------|----|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|
| $P_{N+I} - P_N$ | dB | 0,04 | 0,41 | 0,97 | 1,21 | 1,46 | 1,76 | 2,12 | 2,46 | 3,0 | 3,54 | 4,12 |

gdzie:

P_I moc zakłócenia w paśmie odbiornika, [dBm];

P_N moc szumu odbiornika, [dBm];

P_{N+I} suma mocy szumu i mocy zakłóceń w paśmie odbiornika, [dBm].

Analizując przedstawioną zależność można stwierdzić, że jeżeli $P_I - P_N \leq -6$ dB, to pogorszenie czułości odbiornika wskutek zakłócenia jest mniejsze niż 1 dB.

Natomiast, jeżeli moc zakłócenia jest równa mocy szumu odbiornika, czyli $P_I - P_N = 0$ dB nastąpi degradacja czułości odbiornika o 3 dB.

W celu określenia kryterium ochrony odbiornika SKER przed zakłóceniami należy ustalić dopuszczalną degradację czułości.

Dalej w niniejszym opracowaniu przyjęto: $P_{N+I} - P_N = 3$ dB, tj. przypadek, gdy moc zakłócenia P_I jest równa mocy szumu odbiornika P_N .

Na moc szumu P_N odniesioną do wejścia odbiornika radiowego składają się moc szumu cieplnego oraz współczynnik szumu odbiornika [4]. W normalnej temperaturze moc szumu P_N jest obliczana jako:

$$P_N = -174 + 10 \log B + NF \text{ [dBm]} \dots \dots \dots (10)$$

gdzie:

- 174 moc szumu w temperaturze $T = 290^\circ\text{K}$ odniesiona do pasma o szerokości 1 Hz, [dBm];
- B szerokość pasma odbiornika, [Hz];
- NF współczynnik szumu odbiornika, [dB].

W przypadku odbiornika SKER, takiego jak R&S typu DF255, szerokość pasma B może być nastawiana:

- w trybie DF w granicach od 120 Hz do 1,2 MHz, - 16 filtrów;
- w trybie RX (3 dB szerokość pasma filtru p.cz.) w granicach od 100 Hz do 20 MHz, - 31 filtrów.

W tym przypadku zależny od szerokości pasma odbiornika składnik mocy szumu $10 \log B$ przyjmuje wartości w szerokich granicach:

- w trybie DF: 20,8 dB do 60,8 dB,
- w trybie RX: 20 dB do 73 dB.

7.5. Dopuszczalny poziom sygnału zakłócającego

W modelach zjawiska intermodulacji trzeciego rzędu zakłada się występowanie dwóch lub trzech sygnałów. Do obliczenia poziomu produktów intermodulacji trzeciego rzędu mogą być wykorzystane ogólne formuły podane np. w Zaleceniu ITU-R SM.1134-1 [2] oraz wartość punktu przecięcia trzeciego IP_3 rzędu (third order intercept point) podana w specyfikacji odbiornika.

W przypadku intermodulacji dwóch sygnałów niepożądanych:

$$P_{IMP} = 3 P_{IN} - 2 \cdot IP_3$$

W przypadku intermodulacji trzech sygnałów niepożądanych:

$$P_{IMP} = 3 P_{IN} - 2 \cdot IP_3 + 6$$

gdzie:

- P_{IMP} moc produktu intermodulacji, [dBm];
- P_{IN} moc każdego z dwóch (lub odpowiednio z trzech) sygnałów powodujących intermodulację, [dBm];
Jeżeli poziomy tych sygnałów nie są równe należy obliczyć moc równoważną P_{E-IN} , por. Zalecenie ITU-R SM.1134-1 [2].

IP_3 punkt przecięcia trzeciego rzędu, [dBm].

Poziom intermodulacji trzech sygnałów jest większy o 6 dB od poziomu intermodulacji dwóch sygnałów.

Jeżeli trzy sygnały zajmują pasmo o szerokości B_{3S} to szerokość pasma składowych intermodulacji trzeciego rzędu pasmo o szerokości $3B_{3S}$, por. Rys. 3. Zatem, jeżeli sygnał stacji bazowej zajmuje pasmo o szerokości B_{BS} , to produkty intermodulacji trzeciego rzędu występują w paśmie o szerokości $3B_{BS}$.

Jeżeli przyjąć założenie, że widmowa gęstość mocy emisji BS jest równomierna w zajmowanym paśmie B_{BS} (widmo emisji BS o kształcie prostokątnym), to gęstość mocy produktów intermodulacji trzeciego rzędu jest równomierna w paśmie o szerokości $3B_{BS}$. Pasma odbiornika SKER o szerokości B obejmuje tylko część pasma produktów intermodulacji $3B_{BS}$. Część mocy produktów intermodulacji przypadająca na pasmo odbiornika, jest mocą zakłócenia P_I :

$$\Delta P_{IMP}[\text{dBm}] = P_{IMP}[\text{dB}] + 10 \log \left(\frac{B}{3B_{BS}} \right) = P_I$$

gdzie:

B szerokość pasma odbiornika, [Hz];
 B_{BS} szerokość pasma emisji BS, [Hz].

Podstawiając wg Zalecenia [2]: $P_{IMP} = 3 P_{E-IN} - 2 IP_3 + 6$ oraz porównując moc P_I z mocą szumu odbiornika P_N , uzyskuje się dopuszczalną moc zakłócenia intermodulacyjnego trzeciego rzędu dla przyjętego kryterium degradacji czułości o 3 dB.

$$P_{E-IN} = -58,4 + (NF + 2IP_3 + 10 \log B_{BS})/3$$

gdzie:

NF [dB] oraz IP_3 [dB] wg specyfikacji odbiornika SKER;
 B_{BS} szerokość pasma emisji BS, [Hz].

lub w postaci dogodnej do obliczeń podstawiając B_{BS} [MHz]:

$$P_{E-IN} = -38,4 + (NF + 2IP_3 + 10 \log B_{BS})/3 \dots\dots\dots (11)$$

Zatem dopuszczalna moc sygnału zakłócającego zależy od parametrów odbiornika: $NF + 2IP_3$ oraz szerokości pasma emisji stacji bazowej B_{BS} .

W przypadku sygnału jednej nośnej GSM szerokość zajmowanego pasma B_{BS} wynosi: 270 kHz.

W systemie UMTS nominalna szerokość kanału wynosi 5 MHz. Natomiast teoretyczna szerokość pasma zajmowanego przez sygnał UMTS wynosi 4,6848 MHz.

Przyjęcie do obliczeń B_{BS} równego nominalnej szerokości kanału 5 MHz zamiast teoretycznej szerokości zajmowanego pasma 4,6848 MHz zwiększa wynik obliczenia dopuszczalnej mocy zakłócenia P_{E-IN} o mniej niż 0,1 dB.

Nominalna szerokość kanałów radiowych dla BS systemu LTE stosowana w sieciach krajowych wynosi: 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz i 20 MHz. Szerokość pasma transmisji stacji, zgodnie ze specyfikacją tego systemu, przedstawiono w Tab. 2.

Przyjęcie do obliczeń B_{BS} równego nominalnej szerokości kanału LTE zamiast teoretycznej szerokości pasma zajmowanego przez emisję nadajnika stacji zwiększa wynik obliczenia dopuszczalnej mocy zakłócenia o 0,15 dB.

Tab. 2: Parametry sygnału nadajnika stacji bazowej LTE

| | | | | |
|--|-----|-----|------|------|
| Szerokość pasma kanału [MHz] | 5 | 10 | 15 | 20 |
| Szerokość pasma emisji nadajnika [MHz] | 4,5 | 9,0 | 13,5 | 18,0 |

7.6 Zysk anteny odbiorczej

Do przeksztalcenie natężenia pola E [dB μ V/m] na moc sygnału P_{RX} [dBm] na wejściu odbiornika o impedancji 50 Ω i odwrotnie do obliczenia natężenia pola E [dB μ V/m], gdy dany jest poziom sygnału P_{RX} [dBm], służą zależności (5) i (6), w których występuje zysk anteny odbiorczej względem anteny izotropowej G_{RX} .

Jeżeli w specyfikacji anteny odbiorczej, jak w przypadku anteny R&S typu ADD295, podano wartości współczynnika antenowego AF [dB/m], to do obliczenia odpowiednich wartości zysku G_{RX} [dBi] anteny względem anteny izotropowej służy formuła:

$$G_{RX}[\text{dBi}] = 20 \log F[\text{MHz}] - 29,8 - AF[\text{dB/m}] \dots \dots \dots (12)$$

8. Wyniki analizy i obliczeń

Poniżej przedstawiono wyniki analizy i obliczeń wykonanych wg formuł podanych w p. 7.

8.1. Obliczenia propagacyjne

Wykorzystując formułę (1) obliczono natężenia pola E w miejscu instalacji anteny odbiorczej [dB μ V/m] w odległości d [m] od anteny BS, dla $P_{TX} = 30$ dBW e.i.r.p. (1 kW e.i.r.p.), por. Tab. 3.

Tab. 3

| d | [m] | 50 | 100 | 200 | 300 | 500 | 1000 | 1500 | 2000 | 3000 |
|-----|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| E | [dB μ V/m] | 130,8 | 124,8 | 118,8 | 115,3 | 110,8 | 104,8 | 101,3 | 98,8 | 95,3 |

Uwaga. Aby obliczyć faktyczną wartość natężenia pola E [dB μ V/m] w miejscu instalacji anteny odbiorczej do liczby w Tab. 3 należy dodać poprawkę, w dB, odpowiadającą faktycznej równoważnej mocy promieniowanej (e.i.r.p. nadajnika (plus gdy $P_{TX} > 1$ kW; minus gdy $P_{TX} < 1$ kW).

Np. Jeżeli $P_{TX} = 3170$ W, to do wartości E w tabeli należy dodać $\Rightarrow 10 \log(3,17) \Rightarrow 5$ dB.

Wykorzystując formułę (2) obliczono tłumienie trasy L [dB] od anteny nadawczej do złącza wyjściowego izotropowej anteny odbiorczej, w zależności od odległości d [m] i częstotliwości w pasmach wykorzystywanych w sieciach komórkowych, por. Tab. 4.

Tab. 4

| d | [m] | 50 | 100 | 200 | 300 | 500 | 1000 | 1500 | 2000 | 3000 |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| $L(460 \text{ MHz})$ | [dB] | 59,7 | 65,7 | 71,7 | 75,2 | 79,7 | 85,7 | 89,2 | 91,7 | 95,2 |
| $L(796 \text{ MHz})$ | [dB] | 64,5 | 70,5 | 76,5 | 80,0 | 84,5 | 90,5 | 94,0 | 96,5 | 100,0 |
| $L(925 \text{ MHz})$ | [dB] | 65,7 | 71,8 | 77,8 | 81,3 | 85,7 | 91,8 | 95,3 | 97,8 | 101,3 |
| $L(1815 \text{ MHz})$ | [dB] | 71,6 | 77,6 | 83,6 | 87,2 | 91,6 | 97,6 | 101,1 | 103,6 | 107,2 |
| $L(2115 \text{ MHz})$ | [dB] | 73,0 | 79,0 | 85,0 | 88,5 | 93,0 | 99,0 | 102,5 | 105,0 | 108,5 |
| $L(2625 \text{ MHz})$ | [dB] | 74,8 | 80,8 | 86,8 | 90,4 | 94,8 | 100,8 | 104,3 | 106,8 | 110,4 |

Uwagi. 1. Dla wybranej anteny odbiornika, aby obliczyć tłumienie należy od wartości podanej w Tab. 4 odjąć zysk G_{RX} [dBi] tej i dodać tłumienie kabla L_{RX} [dB].

2. $d = 500$ m jest odległością ochronną dla SKER wymaganą obecnie przez UKE.

Wykorzystując formułę (3) obliczono moc doprowadzoną do wejścia odbiornika P_{RX} [dBm], w zależności od odległości d [m], dla danych: $P_{TX} = 30$ dBW e.i.r.p. (1 kW e.i.r.p.), $G_{RX} = 0$ dBi, $L_{RX} = 0$ dB, por. Tab. 5.

Tab. 5

| d | [m] | 50 | 100 | 200 | 300 | 500 | 1000 | 1500 | 2000 | 3000 |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 460 MHz | [dBm] | +0,3 | -5,7 | -11,7 | -15,2 | -19,7 | -25,7 | -29,2 | -31,7 | -35,2 |
| 796 MHz | [dBm] | -4,4 | -10,5 | -16,5 | -20,0 | -24,4 | -30,5 | -34,0 | -36,5 | -40,0 |
| 925 MHz | [dBm] | -5,7 | -11,8 | -17,8 | -21,3 | -25,7 | -31,8 | -35,3 | -37,8 | -41,3 |
| 1815 MHz | [dBm] | -11,6 | -17,6 | -23,6 | -27,2 | -31,6 | -37,6 | -41,1 | -43,6 | -47,2 |
| 2115 MHz | [dBm] | -12,9 | -19,0 | -25,0 | -28,5 | -32,9 | -39,0 | -42,5 | -45,0 | -48,5 |
| 2625 MHz | [dBm] | -14,8 | -20,8 | -26,8 | -30,3 | -34,8 | -40,8 | -44,3 | -46,8 | -50,3 |

Uwaga. Dla danej lokalizacji, aby obliczyć moc doprowadzoną faktycznie do wejścia odbiornika P_{RX} do liczby w Tab. 5 należy:

- dodać poprawkę, w dB, odpowiadającą faktycznej równoważnej mocy promieniowanej (e.i.r.p. nadajnika (plus, gdy $P_{TX} > 1$ kW; minus, gdy $P_{TX} < 1$ kW);
- do wartości podanej w Tab. 5 dodać zysk anteny odbiorczej G_{RX} [dBi] i odjąć tłumienie kabla L_{RX} [dB].

8.2. Produkty intermodulacji urządzeń SKER

Wykorzystując zależności opisane w p. 7.2 wykonano analizę poziomów produktów intermodulacji trzeciego rzędu odbiornika R&S typu DF255.

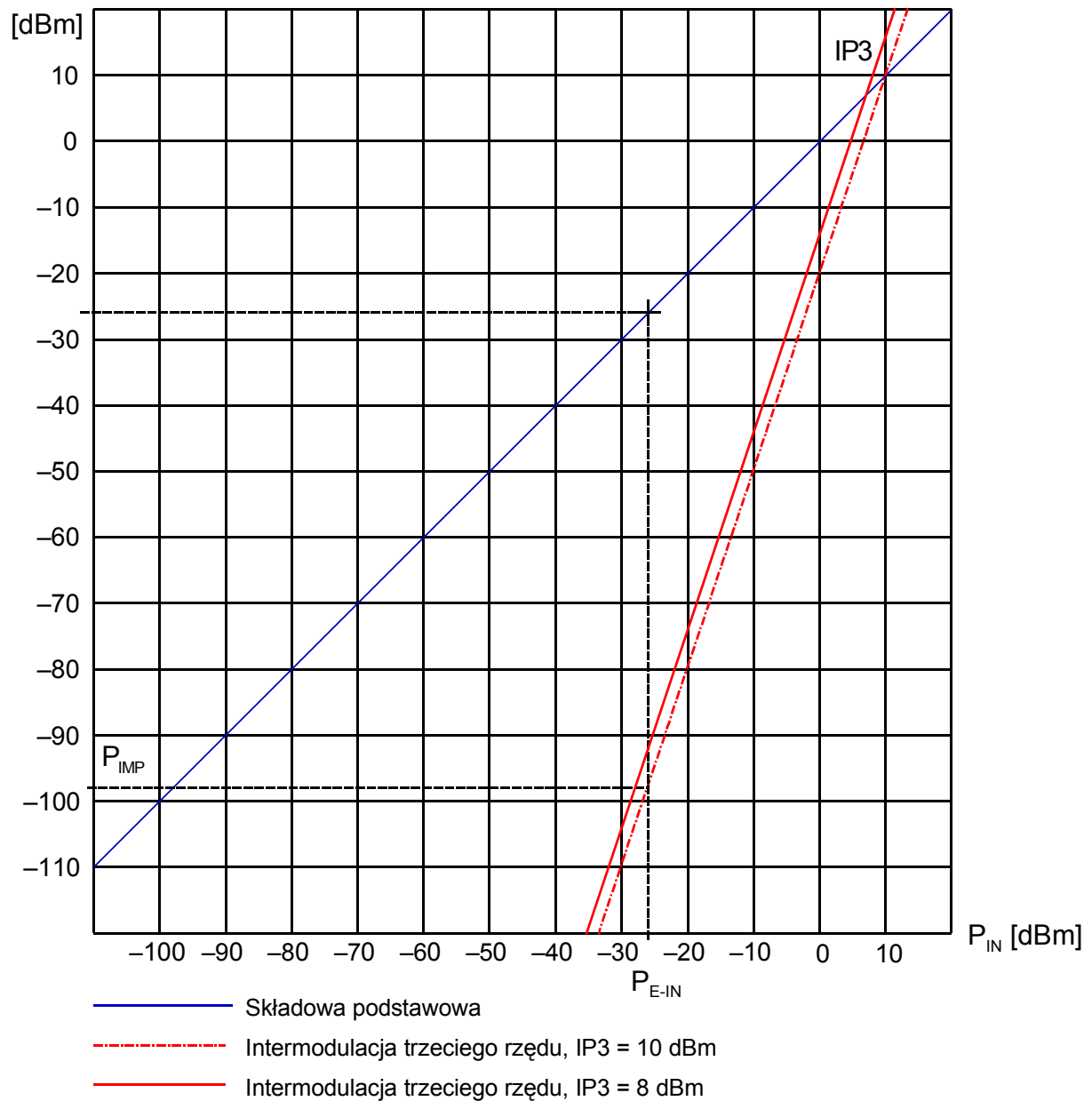
Wg specyfikacji odbiornika (3rd-order intercept) IP_3 w zakresie częstotliwości od 20 MHz do 3,0 GHz/*, w paśmie odbiornika wynosi:

- w trybie normalnym (normal mode): ≥ 8 dBm, typ. 10 dBm;
- w trybie z małymi zniekształceniami (low distortion mode): ≥ 17 dBm, typ. 23 dBm;

a poza pasmem odbiornika wynosi: typ. 32 dBm.

/* *Odstęp częstotliwości pomiędzy sygnałami ≥ 2 MHz, poziomy sygnałów pomiarowych:*
w trybie normalnym: -30 dBm;
w trybie z małymi zniekształceniami: -16 dBm.

Wykreślona na podstawie specyfikacji charakterystykę intermodulacji odbiornika R&S typu DF255 działającego w trybie normalnym przedstawiono na Rys. 6.



Rys. 6: Charakterystyka intermodulacji odbiornika R&S typu DF255 w trybie normalnym

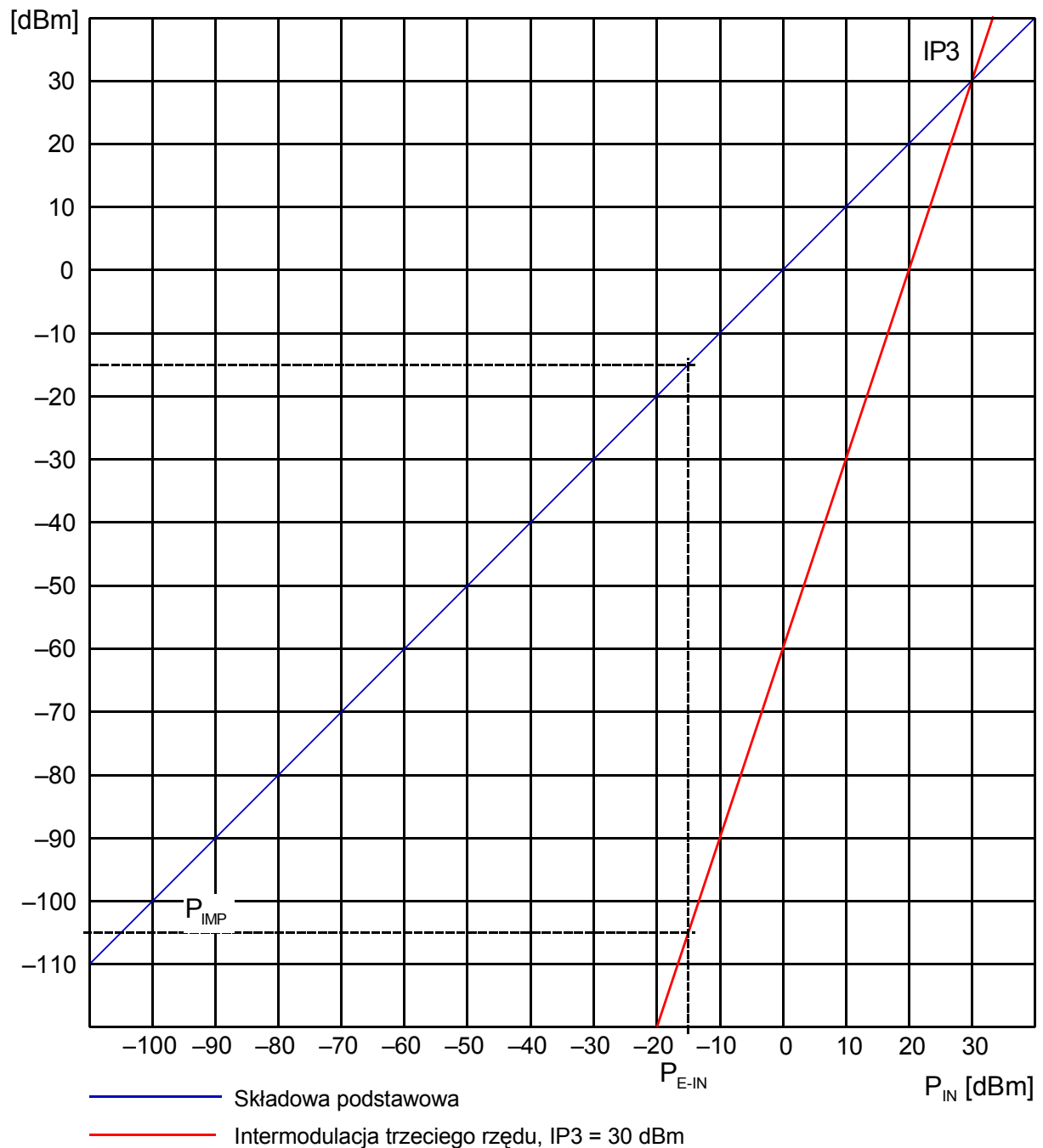
Przykład:

Typowa wartość $IP3$ odbiornika DF255 wynosi 10 dBm, por. ilustracja na Rys. 6.

Zatem 10 dBm jest poziomem wejściowym, przy którym poziom produktów intermodulacji jest równy 0 dBc. Dla poziomu $P_{E-IN} = -26$ dBm sygnał składowej podstawowej ma poziom -36 dB względem $IP3$, natomiast poziom produktu intermodulacji względem składowej podstawowej: $2 \times (-36$ dB) = -72 dBc, a w wartość bezwzględna $P_{IMP} = -26 - 72 = -98$ dBm.

Tę wartość należy porównać z mocą szumu P_N odbiornika w celu oceny degradacji czułości.

Wykreślona na podstawie specyfikacji charakterystykę intermodulacji aktywnej anteny R&S typu AD295 przedstawiono na Rys. 7.



Rys. 7: Charakterystyka intermodulacji aktywnej anteny R&S typu AD295

Przykład:

Jeżeli $P_{IN} = -15$ dBm, to -45 dB względem poziomu $IP3$.

W tych warunkach typowy poziom intermodulacji trzeciego rzędu względem poziomu sygnału na wejściu: -90 dBc, a wartość bezwzględna poziomu intermodulacji P_{IMP} wynosi: -15 dBm -90 dBc = -105 dBm.

8.3. Wypadkowa wartość IP3 urządzeń SKER

Wykorzystując zależności opisane w p. 7.3 obliczono wypadkowe IP3 zestawu aparatury SKER:

| | |
|--|------------------------------|
| IP3 aktywnej anteny: 30 dBm | $ip_{3_1} = 1000 \text{ mW}$ |
| Wzmocnienie anteny: brak danych | $g_1 = 1$ |
| IP3 toru antenowego: | $ip_{3_2} = 10^{10}$ |
| Typowe tłumienie toru antenowego: 2 dB | $g_2 = 0,63$ |
| IP3 odbiornika DF255: 8 dBm | $ip_{3_3} = 6,3 \text{ mW}$ |

$$\frac{1}{ip_{3_{3,2,1}}} = \frac{0,63}{6,3} + \frac{100}{\infty} + \frac{1}{1000} = 0,1$$

$$ip_{3_{3,2,1}} = 10 \text{ mW} \quad IP_{3_{3,2,1}} = 10 \text{ dBm.}$$

Wniosek. Odporność zestawu aparatury SKER na intermodulacje jest zdeterminowana przez IP3 stosowanego odbiornika.

8.3. Dopuszczalny poziom sygnału zakłócającego BS

Wykorzystując zależności opisane w p. 7.4 i p. 7.5 przedstawiono kryterium ochrony odbiornika R&S typu DF255.

Wg specyfikacji odbiornika:

$NF = 12 \text{ dB}$ w zakresie częstotliwości do 2 GHz,

$NF = 15 \text{ dB}$ dla zakresu częstotliwości powyżej 2 GHz,

$IP3 = 8 \text{ dB}$.

W wyniku obliczenia, po podstawieniu tych danych do formuły (11), uzyskano następujące dopuszczalne poziomy sygnału zakłócającego:

- BS GSM w pasmach 900 MHz i 1800 MHz, $B_{BS} = 270 \text{ kHz}$, $P_{E-IN} = -31,0 \text{ dBm}$.
- BS UMTS lub LTE w kanale o szerokości 5 MHz, $P_{E-IN} = -26,7 \text{ dBm}$.
- BS LTE ($F < 2 \text{ GHz}$) w kanale o szerokości 10 MHz, $P_{E-IN} = -25,7 \text{ dBm}$.
- BS LTE ($F < 2 \text{ GHz}$) w kanale o szerokości 15 MHz, $P_{E-IN} = -25,1 \text{ dBm}$.
- BS LTE ($F < 2 \text{ GHz}$) w kanale o szerokości 20 MHz, $P_{E-IN} = -24,7 \text{ dBm}$.
- BS LTE (w paśmie 2,6 GHz) w kanale o szerokości 10 MHz, $P_{E-IN} = -24,7 \text{ dBm}$.

Wykorzystując ogólną formułę (4) służącą do obliczania dopuszczalnego natężenia pola na podstawie dopuszczalnej mocy na wejściu odbiornika i podstawiając w miejsce P_{RX} [dBm], obliczoną powyżej wg formuły (11) dopuszczalną moc sygnału zakłócającego P_{E-IN} [dBm] uzyskano zależność dopuszczalnego, ze względu na poziom intermodulacji trzeciego rzędu, natężenia pola emisji stacji bazowej w miejscu instalacji anteny odbiornika SKER:

$$E \text{ [dB}\mu\text{V/m]} = 77,2 + P_{RX} + 20 \log F,$$

podstawiając $P_{RX} = -38,4 + (NF + 2IP_3 + 10 \log B_{BS})/3$

$$E_{E-IN} \text{ [dB}\mu\text{V/m]} = 38,8 + 20 \log F - G_{RX} + L_{RX} + (NF + 2IP_3 + 10 \log B_{BS})/3 \dots\dots\dots (12)$$

gdzie:

- F częstotliwość fali nośnej (środkowa) emisji BS, [MHz];
- G_{RX} zysk anteny odbiorczej w kierunku stacji bazowej, [dBi];
- L_{RX} tłumienie toru antenowego odbiornika SKER, [dB];
- NF współczynnik szumu odbiornika, [dB];
- IP_3 punkt przecięcia intermodulacji trzeciego rzędu odbiornika, [dB];
- B_{BS} szerokość pasma emisji nadajnika BS [MHz].

Przykład obliczeń wykonanych z wykorzystaniem formuły (12) określającej natężenie pola emisji stacji bazowej dopuszczalne ze względu na intermodulację E_{E-IN} [dB μ V/m] i formuły (8) określającej minimalną odległość d [m] od anteny BS o mocy promieniowanej 30 dBW e.i.r.p w przypadku ochrony odbiornika R&S typu DF255.

Dla uproszczenia założono, że $G_{RX} = 0$ dBi oraz $L_{RX} = 0$ dB.

Wyniki obliczeń przedstawiono w Tab. 6.

Tab. 6: Natężenie pola BS dopuszczalne ze względu na intermodulację trzeciego rzędu i odległość ochronna względem BS o mocy promieniowanej 30 dBW e.i.r.p.

| Rodzaj systemu BS (Częstotliwość /*) | E_{E-IN} [dB μ V/m] | d [m] |
|--------------------------------------|---------------------------|---------|
| GSM pasmo 900 MHz (925 MHz) | 105,5 | 920,2 |
| GSM pasmo 1800 MHz (1815 MHz) | 111,4 | 469,0 |
| UMTS pasmo 900 MHz (925 MHz) | 109,8 | 560,9 |
| UMTS pasmo 2100 MHz (2115 MHz) | 117,0 | 245,3 |
| LTE 5 MHz pasmo 850 MHz (796 MHz) | 108,5 | 651,8 |
| LTE 10 MHz pasmo 1800 MHz (1815 MHz) | 116,7 | 254,8 |
| LTE 20 MHz pasmo 1800 MHz (1815 MHz) | 117,7 | 227,1 |
| LTE 10 MHz pasmo 2600 MHz (2625 MHz) | 120,9 | 157,0 |

/* Do obliczeń przyjęto dolną granicę częstotliwości każdego z pasm wymienionych w pierwszej kolumnie tabeli.

9. Dokumenty źródłowe

9.1. Literatura

- [1] Recommendation ITU-R P.525-3. Calculation of free-space attenuation.
- [2] Recommendation ITU-R SM.1134-1. Intermodulation interference calculations in the land-mobile service.
- [3] ITU Handbook on Spectrum Monitoring. Edition 2011.
- [4] Recommendation ITU-R SM.331-4. Noise and sensitivity of receivers.
- [5] Recommendation ITU-R SM.575-2. Protection of fixed monitoring stations against interference from nearby or strong transmitters.
- [6] ECC Recommendation (14)02. Protection of fixed monitoring stations against interference from nearby or strong transmitters, Edition 07 February 2014.
- [7] Report ITU-R SM.2125-1. Parameters of and measurement procedures on H/V/UHF monitoring receivers and stations.

9.2. Specyfikacja parametrów

- [1] Rohde&Schwarz. DDF255; Digital Direction Finder; Specifications. Version 01.00, August 2008.
- [2] Rohde&Schwarz. ADD295; V/UHF Broadband DF Antenna; Manual. 2009. Manual 4070.9060.32 – 01.

10. Badania laboratoryjne

Do badań prowadzonych w laboratorium Instytutu Łączności Zleceniodawca dostarczył:

- Odbiornik typu DF255, egzemplarz oznakowany:

DDF255 CE0682
ID: 4067.9240K03-100338-Cy
DIG. DIRECTION FINDER



- Antenę typu ADD295, egzemplarz oznakowany:

ADD295 CE0682
ID: 4070.9002.12-101351-Yg
V/UHF BREITBAND-PAILANTEN

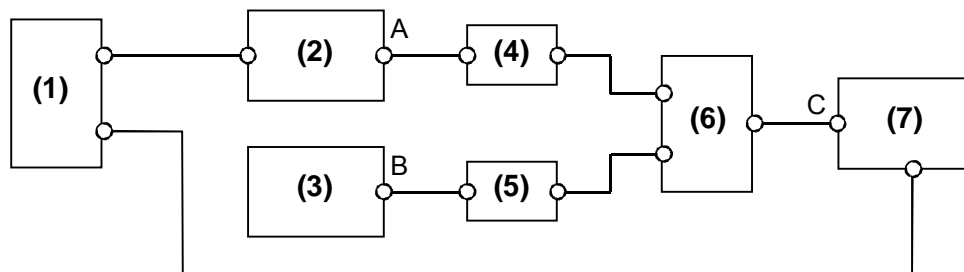


Pomiary wykonywano po upływie co najmniej 30 min. od włączenia odbiornika.

10.1. Badania odporności odbiornika na blokowanie

Odporność odbiornika na blokowanie jest miarą zdolności do odbioru zmodulowanego sygnału użytecznego w obecności sygnału zakłócającego o częstotliwości innej niż częstotliwości kanałów sąsiednich odbiornika lub częstotliwości odbiorów niepożądanych związanych z przemianą częstotliwości w odbiorniku.

Badania odporności odbiornika na blokowanie przeprowadzono w układzie, którego schemat przedstawiono na Rys. 8.



Rys. 8: Schemat blokowy układu do badania blokowania odbiornika

Legenda:

- (1) Analizator audio, R&S typu UPD,
źródło sygnału o częstotliwości 1,0 kHz modulującego nośną generatora (2),
oraz miernik SINAD na wyjściu odbiornika (7);
- (2) Generator sygnałowy, R&S typu SMIQ,
źródło sygnału użytecznego, częstotliwość F_0 ;
- (3) Generator sygnałowy, HP typu 8665A
źródło sygnału zakłócającego;
- (4) Tłumik stały, HP typu 8491A, 50Ω 10 dB;
- (5) Tłumik stały, HP typu 8491A, 50Ω 10 dB;
- (6) Sumator sygnałów, HP 11636A, $3 \times 50 \Omega$, ~ 6 dB;
- (7) Odbiornik, R&S typu DDF255 /*
/* Badany odbiornik należący do UKE

Do złącza wejściowego badanego odbiornika (7), za pośrednictwem szerokopasmowego sumatora (6) oraz tłumików (4) i (5) powiększających wzajemną separację generatorów (2) i (3), doprowadzono dwa sygnały pomiarowe.

Generator sygnału użytecznego (2) dostrajano do częstotliwości znamionowej odbiornika F_0 . Moc sygnału użytecznego na wejściu odbiornika ustalono na poziomie +3 dB względem czułości zmierzonej na danej częstotliwości.

Generator sygnału zakłócającego, z modulacją AM 400 Hz, 60% dostrajano do wymaganej częstotliwości. Podczas badań moc sygnału zakłócającego była regulowana do poziomu, przy którym SINAD mierzony na wyjściu odbiornika zmniejszał się do 20 dB.

W niniejszym opracowaniu przedstawiono wyniki badań blokowania odbiornika przez sygnały o częstotliwościach nadajników stacji bazowych stosowanych w sieci komórkowych w pasmach: 850MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 2100 MHz i 2700 MHz.

Zbadano cztery przypadki sygnału użytecznego:

1. System radiokomunikacji ruchomej (PMR), $F_0 = 80$ MHz, FM; 1,0 kHz, dewiacja 3 kHz
2. System radiofoniczny analogowy, $F_0 = 98$ MHz, FM; 1,0 kHz, dewiacja 60,8 kHz
3. System radiokomunikacji ruchomej (PMR), $F_0 = 155$ MHz, FM; 1,0 kHz, dewiacja 3 kHz
4. System radiokomunikacji ruchomej (PMR), $F_0 = 440$ MHz, FM; 1,0 kHz, dewiacja 3 kHz

Krok pierwszy: Pomiary czułości odbiornika

W układzie jak na Rys. 8, z wyłączonym sygnałem zakłócającym, obniżano poziom sygnału użytecznego do wartości, przy której w systemie PMR SINAD zmniejszał się do 20 dB, a w systemie radiofonii SNR zmniejszał się do 40 dB. Wyniki pomiarów czułość odbiornika przedstawiono w Tab. 7.

Tab. 7: Czułość odbiornika, modulacja FM, 1 kHz

| Częstotliwość F_0 | Dewiacja | Szerokość pasma odbiornika | Filtr ważący | Kryterium jakości sygnału | Czułość odbiornika |
|---------------------|----------|----------------------------|--------------|---------------------------|--------------------|
| [MHz] | [kHz] | [kHz] | | | [dBm] |
| 80 | 3 | 25 | CCITT | SINAD > 20 dB | -91,9 |
| 98 | 60,8 | 150 | CCIR /* | SNR > 40 dBQ | -94,8 |
| 155 | 3 | 25 | CCITT | SINAD > 20 dB | -91,9 |
| 440 | 3 | 25 | CCITT | SINAD > 20 dB | -90,6 |

/* Detektor: quasi-peak. Dodatkowo deemfaza 50 μ s.

Krok drugi: Pomiary blokowania odbiornika

Informacje dotyczące badania: procedura wg ETSI EN 300 086 V2.1.2

Częstotliwość sygnału użytecznego: .. 80 MHz

Modulacja sygnału użytecznego: FM; 1,0 kHz, dewiacja 3 kHz

Szerokość pasma odbiornika: 25 kHz

Moc sygnału użytecznego: -88,9 dBm

Modulacja sygnału zakłócającego: AM: 400 Hz, 80%

Kryterium jakości sygnału: SINAD > 20 dB

Filtr w torze audio analizatora: CCITT

Temperatura: 23°C

Zasilanie: 230 V AC

Tab. 8: Blokowanie odbiornika w paśmie PMR 80 MHz

| Częstotliwość sygnału zakłócającego | Poziom sygnału na wejściu odbiornika | Częstotliwość sygnału zakłócającego | Poziom sygnału na wejściu odbiornika |
|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| [MHz] | [dBm] | [MHz] | [dBm] |
| 796,0 | -10,7 | 2122,8 | -11,0 |
| 803,5 | -10,7 | 2127,6 | -11,1 |
| 811,0 | -10,7 | 2132,6 | -11,1 |
| 818,5 | -10,7 | 2137,6 | -11,2 |
| 927,6 | -10,8 | 2142,6 | -11,2 |
| 932,6 | -10,8 | 2147,6 | -11,1 |
| 952,8 | -10,9 | 2152,4 | -11,1 |
| 1815,0 | -10,9 | 2157,4 | -11,0 |
| 1829,9 | -10,9 | 2162,4 | -11,0 |
| 1864,8 | -11,2 | 2167,2 | -11,0 |
| 2112,8 | -10,9 | 2680,0 | -11,4 |
| 2117,8 | -11,0 | | |

Wyniki w granicach: $-10,7 \div -11,4$ dBm. Poziomy większe od ustalonych w p. 8 na podstawie dopuszczalnego poziomu intermodulacji trzeciego rzędu.

Informacje dotyczące badania: procedura wg ETSI EN 303 345 V1.1.7
Częstotliwość sygnału użytecznego: .. 98 MHz
Modulacja sygnału użytecznego: FM: 1,0 kHz, dewiacja 60,8 kHz
Szerokość pasma odbiornika: 150 kHz
Moc sygnału użytecznego: -91,8 dBm
Modulacja sygnału zakłócającego: AM: 400 Hz, 80%
Kryterium jakości sygnału: SNR > 40 dBQ
Filtr w torze audio analizatora: CCIR oraz deemfaza 50 μ s
Detektor analizatora: quasi-peak
Czas trwania sekwencji pomiarowej: . 2 s
Temperatura: 23°C
Zasilanie: 230 V AC

Tab. 9: Blokowanie odbiornika w paśmie radiofonii FM

| Częstotliwość sygnału zakłócającego | Poziom sygnału na wejściu odbiornika | Częstotliwość sygnału zakłócającego | Poziom sygnału na wejściu odbiornika |
|---|--|---|--|
| [MHz] | [dBm] | [MHz] | [dBm] |
| 796,0 | -17,7 | 2122,8 | -18,5 |
| 803,5 | -16,8 | 2127,6 | -18,6 |
| 811,0 | -16,2 | 2132,6 | -18,6 |
| 818,5 | -16,9 | 2137,6 | -18,6 |
| 927,6 | -17,0 | 2142,6 | -18,6 |
| 932,6 | -15,9 | 2147,6 | -18,5 |
| 952,8 | -15,9 | 2152,4 | -18,6 |
| 1815,0 | -18,1 | 2157,4 | -18,5 |
| 1829,9 | -18,0 | 2162,4 | -18,4 |
| 1864,8 | -18,1 | 2167,2 | -18,4 |
| 2112,8 | -18,3 | 2680,0 | -18,6 |
| 2117,8 | -18,4 | | |

Wyniki w granicach: -16,2 ÷ -18,6 dBm

Informacje dotyczące badania: procedura wg ETSI EN 300 086 V2.1.2
Częstotliwość sygnału użytecznego: .. 155 MHz
Modulacja sygnału użytecznego: FM: 1,0 kHz, dewiacja 3 kHz
Szerokość pasma odbiornika: 25 kHz
Moc sygnału użytecznego: -88,9 dBm
Modulacja sygnału zakłócającego: AM: 400 Hz, 80%
Kryterium jakości sygnału: SINAD > 20 dB
Filtr w torze audio analizatora: CCITT
Temperatura: 23°C
Zasilanie: 230 V AC

Tab. 10: Blokowanie odbiornika w paśmie PMR 155 MHz

| Częstotliwość sygnału zakłócającego | Poziom sygnału na wejściu odbiornika | Częstotliwość sygnału zakłócającego | Poziom sygnału na wejściu odbiornika |
|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| [MHz] | [dBm] | [MHz] | [dBm] |
| 796,0 | -14,8 | 2122,8 | -16,4 |
| 803,5 | -14,8 | 2127,6 | -16,3 |
| 811,0 | -14,9 | 2132,6 | -16,5 |
| 818,5 | -14,9 | 2137,6 | -16,6 |
| 927,6 | -15,0 | 2142,6 | -16,6 |
| 932,6 | -14,9 | 2147,6 | -16,6 |
| 952,8 | -14,9 | 2152,4 | -16,7 |
| 1815,0 | -15,1 | 2157,4 | -16,4 |
| 1829,9 | -15,0 | 2162,4 | -16,3 |
| 1864,8 | -15,1 | 2167,2 | -16,2 |
| 2112,8 | -15,9 | 2680,0 | -15,6 |
| 2117,8 | -16,1 | | |

Wyniki w granicach: -14,8 ÷ -16,7 dBm

Informacje dotyczące badania: procedura wg ETSI EN 300 086 V2.1.2
Częstotliwość sygnału użytecznego: .. 440 MHz
Modulacja sygnału użytecznego: FM: 1,0 kHz, dewiacja 3 kHz
Szerokość pasma odbiornika: 25 kHz
Moc sygnału użytecznego: -87,6 dBm
Modulacja sygnału zakłócającego: AM: 400 Hz, 80%
Kryterium jakości sygnału: SINAD > 20 dB
Filtr w torze audio analizatora: CCITT
Temperatura: 23°C
Zasilanie: 230 V AC

Tab. 11: Blokowanie odbiornika w paśmie PMR 440 MHz

| Częstotliwość sygnału zakłócającego | Poziom sygnału na wejściu odbiornika | Częstotliwość sygnału zakłócającego | Poziom sygnału na wejściu odbiornika |
|---|--|---|--|
| [MHz] | [dBm] | [MHz] | [dBm] |
| 796,0 | -14,8 | 2122,8 | -18,4 |
| 803,5 | -14,8 | 2127,6 | -18,4 |
| 811,0 | -14,9 | 2132,6 | -18,4 |
| 818,5 | -14,9 | 2137,6 | -18,2 |
| 927,6 | -15,0 | 2142,6 | -18,3 |
| 932,6 | -14,9 | 2147,6 | -18,2 |
| 952,8 | -14,9 | 2152,4 | -18,4 |
| 1815,0 | -16,3 | 2157,4 | -18,1 |
| 1829,9 | -16,2 | 2162,4 | -18,1 |
| 1864,8 | -16,5 | 2167,2 | -18,1 |
| 2112,8 | -18,1 | 2680,0 | -15,6 |
| 2117,8 | -19,7 | | |

Wyniki w granicach: $-14,8 \div -19,7$ dBm

Dane pomocnicze do schematu układu z Rys. 8:

Tłumienie sygnału użytecznego pomiędzy punktami A-C

| Częstotliwość | Tłumienie |
|---------------|-----------|
| [MHz] | [dB] |
| 80 | 16,3 |
| 98 | 17,6 |
| 155 | 16,6 |
| 440 | 16,6 |

Tłumienie sygnału zakłócającego pomiędzy punktami B-C

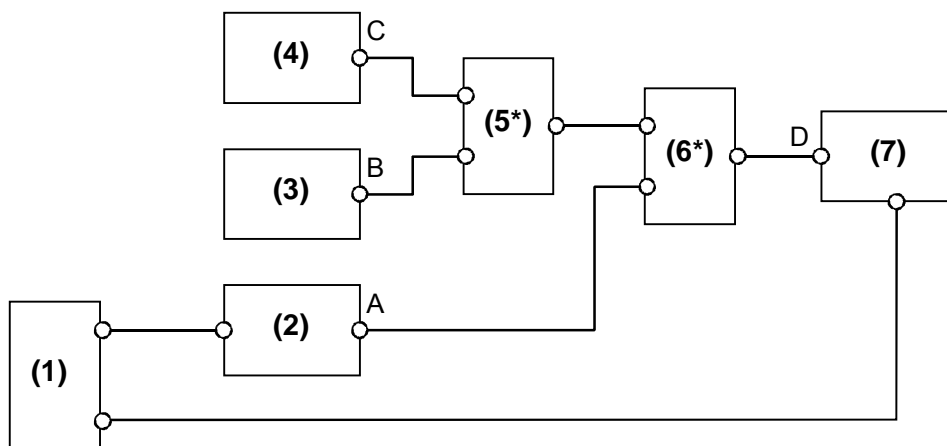
| Częstotliwość [MHz] | Tłumienie [dB] |
|------------------------|-------------------|
| 796 | 16,8 |
| 803,5 | 16,8 |
| 811 | 16,9 |
| 818,5 | 16,9 |
| 927,6 | 17,0 |
| 932,6 | 16,9 |
| 952,8 | 16,9 |
| 1815 | 17,1 |
| 1829,9 | 17,0 |
| 1864,8 | 17,1 |
| 2112,8 | 17,3 |
| 2117,8 | 17,4 |

| Częstotliwość [MHz] | Tłumienie [dB] |
|------------------------|-------------------|
| 2122,8 | 17,5 |
| 2127,6 | 17,6 |
| 2132,6 | 17,6 |
| 2137,6 | 17,6 |
| 2142,6 | 17,6 |
| 2147,6 | 17,5 |
| 2152,4 | 17,6 |
| 2157,4 | 17,5 |
| 2162,4 | 17,4 |
| 2167,2 | 17,4 |
| 2680,0 | 17,6 |

10.2. Badanie odporności odbiornika na intermodulacje

Odporność odbiornika na intermodulacje jest miarą zdolności do odbioru zmodulowanego sygnału użytecznego w obecności dwóch, lub większej liczby, sygnałów niepożądanych o częstotliwościach w specyficzny sposób związanych z częstotliwością sygnału użytecznego.

Badania odporności odbiornika na intermodulacje przeprowadzono w układzie, którego schemat przedstawiono na Rys. 9.



Rys. 9: Schemat blokowy układu do badania intermodulacji odbiornika

Legenda:

- (1) Analizator audio, R&S typu UPD,
źródło sygnału o częstotliwości 1,0 kHz modulującego nośną generatora (2),
oraz miernik SINAD na wyjściu odbiornika (7);
- (2) Generator sygnałowy, HP typu 8648C,
źródło sygnału użytecznego, częstotliwość F_0 w zakresie 20 ÷ 3000 MHz, modulacja FM;
- (3) Generator sygnałowy, HP typu 8664A,
źródło sygnału zakłócającego, częstotliwość $F_0 + 50$ kHz, nośna bez modulacji;
- (4) Generator sygnałowy, HP typu 8665A,
źródło sygnału zakłócającego, częstotliwość $F_0 + 100$ kHz, modulacja AM 400 Hz, 60%
- (5*) Sumator sygnałów,
 - w zakresie częstotliwości: 20 ÷ 500 MHz, Mini-Circuits typu ZSC-2-1W;
 - w zakresie częstotliwości: 0,5 ÷ 2,0 GHz, Mini-Circuits typu ZAPD-21;
 - w zakresie częstotliwości: 2,0 ÷ 3,0 GHz, Mini-Circuits typu ZAPD-4
- (6*) Sumator sygnałów,
 - w zakresie częstotliwości: 20 ÷ 500 MHz, Mini-Circuits typu ZSC-2-1W;
 - w zakresie częstotliwości: 0,5 ÷ 2,0 GHz, Mini-Circuits typu ZAPD-21;
 - w zakresie częstotliwości: 2,0 ÷ 3,0 GHz, Mini-Circuits typu ZAPD-4
- (7) Odbiornik, R&S typu DDF255 /*
/* Badany odbiornik UKE

Informacje dotyczące badania: procedura wg ETSI EN 300 086 V2.1.2
 Modulacja sygnału użytecznego (F_0): FM: 1,0 kHz, dewiacja 3 kHz
 Moc sygnału użytecznego (F_0): +3 dB od progu czułości
 Szerokość pasma odbiornika: 25 kHz
 Częstotliwość sygnału zakłócającego B: $F_0 + 50$ kHz
 Częstotliwość sygnału zakłócającego C: $F_0 + 100$ kHz
 Modulacja sygnału zakłócającego C: AM: 400 Hz, 60%
 Kryterium jakości sygnału: SINAD > 20 dB
 Filtr w torze audio analizatora: CCITT
 Temperatura otoczenia: 23°C
 Zasilanie: sieć 230 V, AC

Tab. 12: Odporność odbiornika na intermodulacje

| F_0 | Czułość odbiornika | Tolerowany poziom sygnałów zakłócających | F_0 | Czułość odbiornika | Tolerowany poziom sygnałów zakłócających |
|-------|--------------------|--|-------|--------------------|--|
| [MHz] | [dBm] | [dBm] | [MHz] | [dBm] | [dBm] |
| 20 | -109,2 | -36,2 | 600 | -110,0 | -41,2 |
| 50 | -111,2 | -43,3 | 700 | -109,0 | -41,3 |
| 70 | -110,5 | -41,6 | 800 | -107,1 | -38,6 |
| 100 | -109,4 | -38,7 | 900 | -108,2 | -37,7 |
| 150 | -102,6 | -35,9 | 1000 | -109,4 | -41,9 |
| 200 | -108,6 | -41,1 | 1200 | -109,3 | -40,8 |
| 250 | -108,8 | -40,4 | 1500 | -108,7 | -40,2 |
| 300 | -105,9 | -45,4 | 1700 | -109,2 | -41,8 |
| 350 | -110,0 | -42,7 | 2000 | -111,0 | -44,7 |
| 400 | -108,1 | -36,9 | 2400 | -107,9 | -42,8 |
| 450 | -110,1 | -41,9 | 2800 | -108,2 | -42,8 |
| 500 | -108,3 | -38,2 | 3000 | -108,0 | -42,5 |

Dane pomocnicze do schematu z Rys. 9:

Tłumienie sygnału użytecznego pomiędzy punktami A-D

| Częstotliwość [MHz] | Tłumienie [dB] |
|------------------------|-------------------|
| 20 | 3,2 |
| 50 | 3,2 |
| 70 | 3,5 |
| 100 | 3,4 |
| 150 | 3,6 |
| 200 | 3,6 |
| 250 | 3,8 |
| 300 | 3,9 |
| 350 | 4,0 |
| 400 | 4,1 |
| 450 | 4,1 |
| 500 | 4,3 |

| Częstotliwość [MHz] | Tłumienie [dB] |
|------------------------|-------------------|
| 600 | 4,0 |
| 700 | 4,0 |
| 800 | 4,1 |
| 900 | 4,2 |
| 1000 | 4,4 |
| 1200 | 4,3 |
| 1500 | 4,7 |
| 1700 | 5,2 |
| 2000 | 8,0 |
| 2400 | 4,9 |
| 2800 | 5,2 |
| 3000 | 5,0 |

Tłumienie sygnału zakłócającego pomiędzy punktami B-D

| Częstotliwość [MHz] | Tłumienie [dB] |
|------------------------|-------------------|
| 20 | 6,2 |
| 50 | 6,3 |
| 70 | 6,6 |
| 100 | 6,7 |
| 150 | 6,9 |
| 200 | 7,1 |
| 250 | 7,4 |
| 300 | 7,4 |
| 350 | 7,7 |
| 400 | 7,9 |
| 450 | 8,0 |
| 500 | 8,3 |

| Częstotliwość [MHz] | Tłumienie [dB] |
|------------------------|-------------------|
| 600 | 7,2 |
| 700 | 7,3 |
| 800 | 7,6 |
| 900 | 7,6 |
| 1000 | 7,9 |
| 1200 | 7,9 |
| 1500 | 8,2 |
| 1700 | 8,8 |
| 2000 | 11,6 |
| 2400 | 8,5 |
| 2800 | 8,7 |
| 3000 | 8,4 |

Tłumienie sygnału zakłócającego pomiędzy punktami C-D

| Częstotliwość | Tłumienie |
|---------------|-----------|
| [MHz] | [dB] |
| 20 | 6,1 |
| 50 | 6,2 |
| 70 | 6,5 |
| 100 | 6,6 |
| 150 | 6,9 |
| 200 | 7,0 |
| 250 | 7,3 |
| 300 | 7,3 |
| 350 | 7,6 |
| 400 | 7,8 |
| 450 | 7,8 |
| 500 | 8,0 |

| Częstotliwość | Tłumienie |
|---------------|-----------|
| [MHz] | [dB] |
| 600 | 7,2 |
| 700 | 7,3 |
| 800 | 7,5 |
| 900 | 7,7 |
| 1000 | 7,9 |
| 1200 | 7,6 |
| 1500 | 8,1 |
| 1700 | 8,7 |
| 2000 | 11,7 |
| 2400 | 9,0 |
| 2800 | 8,9 |
| 3000 | 8,6 |

Errata.

Tab. 6: Natężenie pola BS dopuszczalne ze względu na intermodulację trzeciego rzędu i odległość ochronna względem BS o mocy promieniowanej 30 dBW e.i.r.p.

| Rodzaj systemu BS (Częstotliwość /*) | E_{E-IN} [dB μ V/m] | d [m] |
|--------------------------------------|---------------------------|---------|
| GSM pasmo 900 MHz (925 MHz) | 105,56 | 916,22 |
| GSM pasmo 1800 MHz (1815 MHz) | 111,42 | 466,66 |
| UMTS pasmo 900 MHz (925 MHz) | 109,79 | 562,99 |
| UMTS pasmo 2100 MHz (2115 MHz) | 116,97 | 246,32 |
| LTE 5 MHz pasmo 850 MHz (796 MHz) | 108,48 | 654,64 |
| LTE 10 MHz pasmo 1800 MHz (1815 MHz) | 116,64 | 255,86 |
| LTE 20 MHz pasmo 1800 MHz (1815 MHz) | 117,65 | 227,77 |
| LTE 10 MHz pasmo 2600 MHz (2625 MHz) | 119,85 | 176,81 |

/* Do obliczeń przyjęto dolną granicę częstotliwości każdego z pasm wymienionych w pierwszej kolumnie tabeli.