الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصية ITU-R P.341-6

(2016/09)

مفهوم خسارة الإرسال في الوصلات الراديوية

السلسلة P

انتشار الموجات الراديوية

تمهيد

يضطلع قطاع الاتصالات الراديوية بدور يتمثل في تأمين الترشيد والإنصاف والفعالية والاقتصاد في استعمال طيف الترددات الراديوية في جميع خدمات الاتصالات الراديوية، بما فيها الخدمات الساتلية، وإجراء دراسات دون تحديد لمدى الترددات، تكون أساساً لإعداد التوصيات واعتمادها.

ويؤدي قطاع الاتصالات الراديوية وظائفه التنظيمية والسياساتية من خلال المؤتمرات العالمية والإقليمية للاتصالات الراديوية وجمعيات الاتصالات الراديوية بمساعدة لجان الدراسات.

سياسة قطاع الاتصالات الراديوية بشأن حقوق الملكية الفكرية (IPR)

يرد وصف للسياسة التي يتبعها قطاع الاتصالات الراديوية فيما يتعلق بحقوق الملكية الفكرية في سياسة البراءات المشتركة بين قطاع تقييس الاتصالات وقطاع الاتصالات الراديوية والمنظمة الدولية للتوحيد القياسي واللجنة الكهرتقنية الدولية (ITU-T/ITU-R/ISO/IEC) والمشار إليها في الملحق 1 بالقرار ITU-R 1. وترد الاستمارات التي ينبغي لحاملي البراءات استعمالها لتقديم بيان عن البراءات أو للتصريح عن منح رخص في الموقع الإلكتروني http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en حيث يمكن أيضاً الاطلاع على المبادئ التوجيهية الخاصة بتطبيق سياسة البراءات المشتركة وعلى قاعدة بيانات قطاع الاتصالات الراديوية التي تتضمن معلومات عن البراءات.

سلاسل توصيات قطاع الاتصالات الراديوية

(يمكن الاطلاع عليها أيضاً في الموقع الإلكتروني http://www.itu.int/publ/R-REC/en)

السلسلة	العنوان
BO	البث الساتلي
BR	التسجيل من أجل الإنتاج والأرشفة والعرض؛ الأفلام التلفزيونية
BS	الخدمة الإذاعية (الصوتية)
BT	الخدمة الإذاعية (التلفزيونية)
F	الخدمة الثابتة
M	الخدمة المتنقلة وخدمة الاستدلال الراديوي وخدمة الهواة والخدمات الساتلية ذات الصلة
P	**انتشار الموجات الراديوية**
RA	علم الفلك الراديوي
RS	أنظمة الاستشعار عن بُعد
S	الخدمة الثابتة الساتلية
SA	التطبيقات الفضائية والأرصاد الجوية
SF	تقاسم الترددات والتنسيق بين أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية والخدمة الثابتة
SM	إدارة الطيف
SNG	التجميع الساتلي للأخبار
TF	إرسالات الترددات المعيارية وإشارات التوقيت
V	المفردات والمواضيع ذات الصلة

ملاحظة: *تمت الموافقة على النسخة الإنكليزية لهذه التوصية الصادرة عن قطاع الاتصالات الراديوية بموجب الإجراء الموضح في القرار ITU-R 1.*

النشر الإلكتروني
جنيف، 2017

© ITU 2017
جميع حقوق النشر محفوظة. لا يمكن استنساخ أي جزء من هذه المنشورة بأي شكل كان ولا بأي وسيلة إلا بإذن خطي من الاتحاد الدولي للاتصالات (ITU).

التوصية ITU-R P.341-6*

مفهوم خسارة الإرسال في الوصلات الراديوية**

(2016-1999-1995-1994-1986-1982-1959)

مجال التطبيق

تقدم التوصية ITU-R P.341-6 تعاريف وترميزات لكي تستخدم في وصف خصائص أي وصلة راديوية تضم جهاز إرسال وجهاز استقبال وهوائياتهما والدارات الخاصة بها ووسط الانتشار المتعلق بها.

مصطلحات أساسية

وصلة راديوية، معلمات الهوائي، خسارة، تأثير البيئة

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أنه في أي وصلة راديوية بين مرسِل ومستقبِل، تعتمد النسبة بين القدرة الصادرة عن المرسِل والقدرة المتاحة عند دخل المستقبِل على العديد من العوامل مثل الخسارات في الهوائيات أو في خطوط تغذية المرسِل والتوهين الناجم عن آليات الانتشار والخسارة الناتجة عن الضبط الخاطئ للمعاوقة أو الاستقطاب وما إلى ذلك؛

ب) أنه يجبذ توحيد المصطلحات والترميزات المستخدمة في تحديد خصائص خسارة الإرسال ومكوناتها؛

ج) أن التوصية ITU-R P.525 تقدم الشروط المرجعية للانتشار في الفضاء الحر،

توصي

باستخدام المصطلحات والتعاريف والترميزات التالية عند وصف خصائص أي وصلة راديوية تضم جهاز إرسال وجهاز استقبال وهوائياتهما والدارات الخاصة بها ووسط الانتشار المتعلق بها:

1 الخسارة الكلية (لوصلة راديوية)*** (الرمزان: L_l أو A_l)

هي النسبة، معبراً عنها عادةً بالدسيبل، بين القدرة الصادرة عن المرسِل في أي وصلة راديوية والقدرة التي يُزوّد بها المستقبِل المناظر في الظروف الحقيقية للتركيب والانتشار والتشغيل.

الملاحظة 1 – من الضروري في كل حالة بيان النقاط التي تحدد عندها القدرة التي يوفرها المرسِل والقدرة التي يزوّد بها المستقبِل، مثلاً:

- قبل أو بعد مرشحات التردد الراديوي أو معددات الإرسال التي قد تستخدم عند الطرف المرسِل أو المستقبِل؛
- عند دخل أو خرج خطوط تغذية هوائي الإرسال أو الاستقبال.

---

* ينبغي إحاطة لجنة تنسيق المفردات (CCV) علماً بهذه التوصية.

** تُستخدم الحروف الكبيرة في هذه التوصية بأكملها للتعبير عن النسب (dB) الخاصة بالكميات المقابلة المعبر عنها بالحروف الصغيرة المناظرة، مثل $P_t = 10 \log p_t$. P_t هنا هي قدرة دخل هوائي الإرسال (dB) بالنسبة إلى 1 W عندما تكون p_t هي كمية قدرة الدخل (بالوحدات W).

*** يعرض الشكل 1 وصفاً بيانياً لهذا التعريف والتعاريف اللاحقة.

2 خسارة النظام (الرمزان: L_s أو A_s)

هي النسبة، معبراً عنها عادة بالدسيبل، بين قدرة التردد الراديوي عند دخل مطاريف هوائي الإرسال، في الوصلة الراديوية، وقدرة إشارة التردد الراديوي الناتجة عند مطاريف هوائي الاستقبال.

الملاحظة 1 – القدرة المتيسرة هي أقصى قدرة فعلية يمكن لأي مصدر أن يوصلها إلى حِمْل ما، أي أنها القدرة التي كانت ستُنقل لو كانت المعاوقات متوائمة ترافقياً.

الملاحظة 2 – يمكن التعبير عن خسارة النظام بالمعادلة التالية:

$$L_S = 10 \log (p_t/p_a) = P_t - P_a \quad \text{dB} \tag{1}$$

حيث:

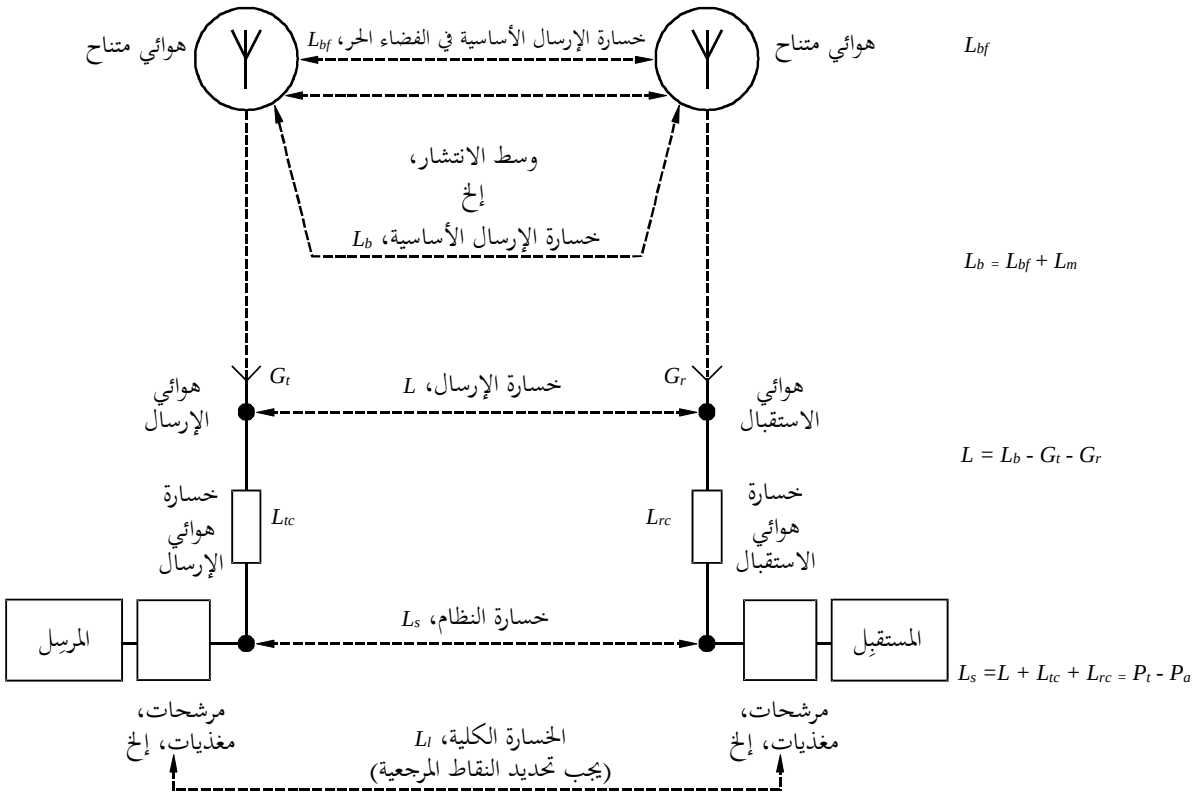
p_t: هي دخل قدرة التردد الراديوي لدى مطاريف هوائي الإرسال

p_a: هي إشارة التردد الراديوي الناتجة، المتيسرة عند مطاريف هوائي الاستقبال.

الملاحظة 3 – يستبعد من خسارة النظام الخسارة التي تحدث في خطوط التغذية ولكنها تشمل جميع الخسائر في دارات التردد الراديوي المتصلة بالهوائي، مثل الخسارة الأرضية، والخسارة الكهربائية، وخسارة ملف تحميل الهوائي، وخسارة المقاوم الانتهائي.

الشكل 1

وصف بياني للمصطلحات المستعملة في مفهوم خسارة الإرسال



P.0341-01

3 خسارة الإرسال (لوصلة راديوية) (الرمزان: L أو A)

هي النسبة، معبراً عادةً عنها بالدسيبل بالنسبة لأي وصلة راديوية، بين القدرة المشعة من هوائي الإرسال والقدرة التي تتيسر عند خرج هوائي الاستقبال، في حالة عدم وجود خسارة في دارات التردد الراديوي، مع افتراض الحفاظ على مخططات إشعاع الهوائي.

الملاحظة 1 – يمكن التعبير عن خسارة الإرسال كالتالي:

$$L = L_s - L_{tc} - L_{rc} \quad \text{dB} \tag{2}$$

حيث L_{tc} وL_{rc} هي الخسارة، معبراً عنها بالدسيبل، في دارات هوائيات الإرسال وهوائيات الاستقبال، على التوالي، مع استبعاد تبدد الطاقة المتصل بإشعاع الهوائي، أي أن تعريف L_{tc} وL_{rc} هو $10 \log (r'/r)$ حيث r' هي المركّبة المقاومة في دارة الهوائي وr هي المقاومة الإشعاعية.

الملاحظة 2 – خسارة الإرسال تساوي خسارة النظام مطروحاً منها الخسارة في دارات التردد الراديوي التي تشكل جزءاً لا يتجزأ من الهوائيات.

4 خسارة الإرسال الأساسية (في وصلة راديوية) (الرمزان: L_b أو A_i)

هي خسارة الإرسال التي تحدث لو تمت الاستعاضة عن الهوائيات بهوائيات متناحية لها نفس استقطاب الهوائيات الحقيقية مع المحافظة على مسير الانتشار ولكن مع التغاضي عن آثار العوائق القريبة من الهوائيات.

$$L_b = L + G_t + G_r \quad \text{dB} \tag{3}$$

حيث G_t وG_r هما كسبا الاتجاهية للموجات المستوية (انظر الملحق 1) لهوائي الإرسال وهوائي الاستقبال في اتجاه الانتشار.

الملاحظة 1 – خسارة الإرسال الأساسية تساوي نسبة القدرة المشعة المكافئة المتناحية في نظام المرسِل إلى القدرة المتيسرة من هوائي استقبال متناحٍ.

الملاحظة 2 – يدخل في حساب كسب الهوائي أثر الأرض المحلية القريبة من الهوائي، ولكن هذا الأثر لا يدخل في حساب خسارة الإرسال الأساسية.

5 خسارة الإرسال الأساسية في الفضاء الحر (الرمزان: L_{bf} أو A_0)

هي خسارة الإرسال التي تحدث لو تمت الاستعاضة عن الهوائيات بهوائيات متناحية موجودة في وسط عازل تماماً ومتجانس ومتناح وغير محدود، مع الحفاظ على المسافة بين الهوائيات (انظر التوصية ITU-R P.525).

الملاحظة 1 – إذا كانت المسافة d بين الهوائيات أكبر كثيراً من طول الموجة λ حينئذ يكون توهين الفضاء الحر بالدسيبل هو:

$$L_{bf} = 20 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) \quad \text{dB} \tag{4}$$

6 خسارة الإرسال لمسير الشعاع (الرمزان: L_t أو A_t)

هي خسارة الإرسال لمسير انتشار شعاع معين، وهي تساوي خسارة الإرسال الأساسية مطروحاً منها كسبا هوائي الإرسال وهوائي الاستقبال على التوالي في اتجاه مسير الشعاع (انظر الملحق 1). ويقتصر استعمال هذا المصطلح على هذه الحالات، مثلاً في الانتشار عبر مسيرات متعددة، عندما ينظر في العدد من مسيرات الأشعة كل على حدة.

الملاحظة – يمكن التعبير عن خسارة الإرسال لمسير الشعاع بالمعادلة التالية:

$$L_t = L_b - G_{tp} - G_{rp} \quad \text{dB} \tag{5}$$

حيث G_{tp} وG_{rp} هما كسبا الاتجاهية للموجات المستوية (انظر الملحق 1) لهوائي الإرسال وهوائي الاستقبال على التوالي في اتجاهي الانتشار والاستقطاب.

7 الخسارة بالنسبة إلى الفضاء الحر (الرمزان: L_m أو A_m)

هي الفرق بين خسارة الإرسال الأساسية وخسارة الإرسال الأساسية في الفضاء الحر، معبراً عنها بالدسيبل.

الملاحظة 1 – يمكن التعبير عن الخسارة بالنسبة إلى الفضاء الحر بالمعادلة التالية:

$$L_m = L_b - L_{bf} \quad \text{dB} \tag{6}$$

الملاحظة 2 – يمكن تقسيم الخسارة بالنسبة إلى الفضاء الحر إلى أنواع مختلفة من الخسارة، مثل:

- خسارة الامتصاص، (الأيونوسفير أو الغازات الجوية أو الماء الجوي)؛
- خسارة الانكسار، كما في حالة الموجات الأرضية؛
- خسارة الانعكاس الفعلي أو الانتثار، كما في حالة الأيونوسفير بما في ذلك نتائج أي إحكام بؤري أو إزالته بسبب انحنائية طبقة عاكسة؛
- خسارة اقتران الاستقطاب؛ ويمكن أن تحدث هذه نتيجة عدم توافق في الاستقطاب بين هوائيين لمسير الشعاع المعني؛
- خسارة الاقتران بين فتحة الهوائي والوسط أو انحطاط كسب الهوائي، وهو ما يمكن أن ينتج عن ظاهرة انتثار كبيرة على المسير؛
- تأثير التداخل الموجي بين الشعاع المباشر والأشعة المنعكسة من الأرض، أو من عوائق أخرى أو من طبقات جوية.

الملحق 1

1 اتجاهية الهوائي

الاتجاهية عبارة عن اتجاه معين يُعرف بالنسبة بين شدة الإشعاع (القدرة لكل وحدة من وحدات الزوايا المجسمة (steradian)) في هذا الاتجاه وشدة الإشعاع المتوسطة عبر جميع الاتجاهات.

وعند تحويل خسارة الإرسال أو في حالات محددة خسارة الإرسال لمسار شعاع إلى خسارة الإرسال الأساسية، يجب مراعاة اتجاهيات الموجات المستوية لهوائيات الإرسال والاستقبال في الاتجاه المعني والاستقطاب المقصود. وفي الحالات التي يتأثر فيها أداء الهوائي بوجود أرض محلية أو أي عوائق أخرى (لا تؤثر على المسير)، تكون الاتجاهية هي القيمة المتحصل عليها من استعمال الهوائي *في الموقع*.

في حالة خاصة لانتشار الموجات الأرضية باستخدام هوائيات موجودة على الأرض أو بالقرب منها، فبالرغم من أن اتجاهية هوائي الاستقبال G_r، تحدد بالتعريف أعلاه، فإن الفتحة لالتقاط واحد، ومن ثم القدرة المتاحة، تخفض لأدنى من قيمتها في الفضاء الحر. لذا، يجب خفض القيمة المستعملة للكسب G_r (انظر الملحق 2).

2 كسب الهوائي

يعرف كسب القدرة لأي هوائي بالنسبة، المعبر عنها بالديسبل عادةً، للقدرة المطلوبة عند دخل هوائي مرجعي بدون خسارة إلى القدرة المزود بها دخل الهوائي المعني لإنتاج نفس شدة المجال، في اتجاه معين أو نفس كثافة تدفق القدرة على نفس المسافة. ويكون كسب الهوائي في اتجاه الإشعاع الأقصى، إذا لم ينص على خلاف ذلك. ويمكن أن يكون الكسب لاستقطاب معين.

3 الهوائيات القياسية المرجعية

عند دراسة الانتشار عبر وصلات راديوية في نطاقات تردد مختلفة، يُستعمل عدد من الهوائيات المرجعية المشار إليها في نصوص قطاع الاتصالات الراديوية.

ويمكن التمييز بين أنواع الكسب التالية حسب الهوائي المرجعي المختار:

- *الكسب المتناحي أو المطلق* (G_i)، عندما يكون الهوائي المرجعي هوائياً متناحياً معزولاً في الفضاء؛
- *الكسب بالنسبة إلى ثنائي أقطاب نصف موجي* (G_d)، عندما يكون الهوائي المرجعي ثنائي الأقطاب نصف موجي معزولاً في الفضاء، يحتوي المستوي الاستوائي الخاص به على الاتجاه المعين؛
- *الكسب بالنسبة إلى هوائي رأسي قصير* (G_v)، عندما يكون الهوائي المرجعي موصلاً خطياً أقصر بكثير من ربع طول الموجة، ناظمياً على سطحٍ مستوٍ كامل الإيصالية يحتوي على الاتجاه المعين.

(يقابل كسب القدرة الاتجاهية القصوى للهوائيات الخالية من الخسارة.)

ويقدم الجدول 1 الاتجاهية، G_t، لبعض الهوائيات المرجعية النمطية. وتعرض أيضاً القيم المقابلة للقوة الحركية الموجية لقدرة مشعة مقدارها 1 kW.

الجدول 1

الاتجاهية لهوائيات مرجعية نمطية وعلاقتها بالقوة الحركية الموجية

الهوائي المرجعي	g_t	G_t [1] (dBi)	القوة الحركية الموجية لقدرة مشعة مقدارها 1 kW (V)
متناح في الفضاء الحر	1	0	173
ثنائي أقطاب هيرتزي في الفضاء الحر	1,5	1,75	212
ثنائي أقطاب نصف موجة في الفضاء الحر	1,65	2,15	222
ثنائي أقطاب هيرتزي أو أحادي أقطاب رأسي قصير على أرض جيدة التوصيل[2]	3	4,8	300
أحادي أقطاب ربع موجة على أرض جيدة التوصيل[2]	3,3	5,2	314

[1] $G_t = 10 \log g_t$

القيمة G_r (g_r) تساوي قيم G_t (g_t) للهوائيات في الفضاء الحر. انظر الملحق 2 من أجل قيم G_r للهوائيات على أرض جيدة التوصيل.

[2] في هذه الحالات، يفترض أن الهوائي قريب من أرض مستوية جيدة التوصيل وبالتالي يقتصر الإشعاع على نصف الفضاء فوق الأرض.

الملحق 2

تأثير البيئة على الهوائيات

عند تثبيت الهوائيات على الأرض أو بالقرب منها (أي $h < \lambda$، عملياً عند استعمال ترددات أقل من 30 MHz)، فإن قيمة مقاومة إشعاع الهوائي في الفضاء الحر تعدل نتيجة لوجود الأرض. وبالتالي، فإن كثافة تدفق القدرة عند هوائي الاستقبال (الناتجة عن المجموع المتجهي للأشعة المباشرة والمنعكسة) تعتمد على ارتفاع هوائي الإرسال وتعتمد مساحة الالتقاط الفعلية لهوائي الاستقبال على ارتفاع الهوائي فوق الأرض.

ويوضح تأثير البيئة على تشغيل زوج من الهوائيات (يشكلان دارة أساسية) بالنظر في خسارة الإرسال بين اثنين من ثنائي الأقطاب الكهربائي القصيرين الرأسيين الخاليين من الخسارة على ارتفاعين h_t وh_r فوق سطح مستوٍ جيد التوصيل. ومسافة الفصل، d، عبر السطح كبيرة جداً مقارنةً بطول الموجة λ.

1 ويتحصل على كثافة تدفق القدرة، s (W/m^2)، على ارتفاع h_r كالتالي:

$$s = \frac{p_t' \cos^4 \psi}{4\pi d^2 (1 + \Delta_t)} \times 1{,}5\left[2 \cos (k\, h_t \sin \psi)\right]^2 \quad (7)$$

حيث:

p_t': القدرة المشعة من هوائي الإرسال (W)

d, h_t, h_r, λ: يعبر عنها بالأمتار؛

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$\psi = \arctan \frac{|h_r - h_t|}{d}$$

و

$$\Delta_t = \frac{3}{(2\, k\, h_t)^2}\left[\frac{\sin 2\, k\, h_t}{2\, k\, h_t} - \cos 2\, k\, h_t\right] \quad (8)$$

حيث $\Delta_t = 1$، عندما يكون $h_t = 0$.

تفترض المعادلة (7) أن h_t و h_r وλ أقل كثيراً من d.

وينبغي الإحاطة بما يلي:

- المسافة بين الهوائيين تزيد إلى $d \sec \psi$،
- المجال الكهربي بسبب ثنائي الأقطاب يختلف حسب $\cos \psi$،
- مقاومة الإشعاع في الفضاء الحر تتضاعف بالمقدار $(1 + \Delta_t)$،
- نتيجة للجمع المتجهي للأشعة المباشرة والمنعكسة، تضرب قيمة تدفق القدرة في الفضاء الحر في المقدار:

$$\frac{\left[2 \cos (k\, h_t \sin \psi)\right]^2}{(1 + \Delta_t)}$$

ويعادل هذا المقدار التغير في الاتجاهية بسبب وجود سطح عاكس. وتكون قيمة معامل الضرب تساوي 2 عندما يكون $h_r = h_t = 0$.

2 ويتحصل على مساحة الالتقاط الفعلية لهوائي الاستقبال كالتالي:

$$a_e = \frac{1{,}5\,\lambda^2 \cos^2 \psi}{4\pi\,(1 + \Delta_r)} \tag{9}$$

حيث:

$$\Delta_r = \frac{3}{(2kh_r)^2}\left[\frac{\sin 2kh_r}{2kh_r} - \cos 2kh_r\right]$$

وينبغي الإحاطة بما يلي:

- حيث أن قيمة g_t تساوي 2 × 1,5 (حسب التعريف) عندما يكون $h_r = h_t = 0$، من المهم العلم بأن هذه القيمة ليست قيمة مناسبة للاستعمال مع g_r؛ فالقيمة الصحيحة من أجل g_r هي $(g_t/4 = 1{,}5/2)$؛
- مساحة الالتقاط في اتجاه هوائي الإرسال تضرب في المقدار $\cos^2 \psi$ نتيجة للتأثيرات الاتجاهية؛
- يعتمد التغير في مقاومة الإشعاع على المعادلة (8)، حيث يستعاض عن قيم Δ_t وh_t بقيم Δ_r وh_r؛
- تضرب قيمة مساحة الالتقاط في الفضاء الحر في المقدار $1/(1 + \Delta_r)$ لوجود مستوى عاكس؛ وبالتالي يقلل وجود المستوى العاكس من مساحة الالتقاط لأقل من قيمتها في الفضاء الحر بالمعامل 2 عندما يكون $h_r = h_t = 0$.

3 حيث أن القدرة الإجمالية التي يقوم بتجميعها هوائي الاستقبال يتحصل عليها بالمعادلة $p_a' = s a_e$، فإنه يمكن الجمع بين المعادلتين (7) و(9) للحصول على معادلة لخسارة الإرسال بين اثنين من ثنائي الأقطاب الكهربائيين القصيرين الرأسيين الخاليين من الخسارة فوق سطح مستوٍ جيد التوصيل.

$$L = L_{bf} - 6{,}0 - 10 \log\left[(1{,}5 \cos^2 \psi)^2 \frac{\cos^2 (k\, h_t \sin \psi)}{(1 + \Delta_r)\,(1 + \Delta_t)}\right] \quad \text{dB} \tag{10}$$

وفي حالات محدودة تكون فيها الهوائيات أحادية الأقطاب قصيرة على السطح:

$$h_t = h_r = 0; \quad \Delta_t = \Delta_r = 1; \quad \psi = 0$$

$$L = L_{bf} - 3{,}5 \quad \text{dB}$$