

الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصية ITU-R P.372-11
(2013/09)

الضوضاء 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 مدى الترددات، تكون أساساً لإعداد التوصيات واعتمادها. ويؤدي قطاع الاتصالات الراديوية وظائفه التنظيمية والسياساتية من خلال المؤتمرات العالمية والإقليمية للاتصالات الراديوية وجميعيات 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 الكهروتقنية الدولية (ITU-T/ITU-R/ISO/IEC) والمشار إليها في الملحق 1 بالقرار ITU-R 1. وترد الاستثمارات 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>)

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

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

النشر الإلكتروني

جنيف، 2014

© ITU 2014

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.372-11

الضوضاء الراديوية*

(المسألة ITU-R 214/3)

(1951-1953-1956-1959-1963-1974-1978-1982-1986-1990-1994-2001-2003-2007-2009-2013)

مجال التطبيق

تقدم التوصية ITU-R P.372 معلومات عن سويات الخلفية لضوضاء الترددات الراديوية في مدى تردد من 0,1 Hz إلى 100 GHz. وهي تراعي الضوضاء الناجمة عن البرق والناجمة عن مصادر اصطناعية وعن المجرة وعن درجة حرارة الطبقة السفلى من الغلاف الجوي. وتقدم عوامل درجات الحرارة والضوضاء لكي توفر أساساً لتقدير أداء النظام.

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أن الضوضاء الراديوية تضع حداً على أداء الأنظمة الراديوية؛

ب) أن عامل ضوضاء الهوائي الفعال أو درجة حرارة ضوضاء الهوائي مع توزيع احتمال الاتساعات لغلاف الضوضاء المستقبلية هم عبارة عن معلمات مناسبة (ضرورية دوماً تقريباً لكن أحياناً ليست كافية) تستعمل لتحديد الأداء وتصميم الأنظمة؛

ج) أنه ليس من المناسب بشكل عام استعمال أنظمة الاستقبال التي يقل فيها عامل الضوضاء عن العامل الذي يفرضه الضوضاء الخارجية الدنيا؛

د) ضرورة توفر معطيات عن الإشعاعات الراديوية القادمة من المصادر الطبيعية:

- لتقييم آثار الجو على الموجات الراديوية؛

- لتوزيع الترددات المطلوبة من أجل عمليات الاستشعار عن بعد لبيئة الأرض،

توصي

باستعمال المعطيات التالية، إذا دعت الحاجة، لتصميم الأنظمة الراديوية وتحليلها:

1 مصادر الضوضاء الراديوية

تعرف الضوضاء الراديوية في التوصية ITU-R V.573 كما يلي:

«ضوضاء راديوية (تردد راديوي)»

ظاهرة كهرومغناطيسية متغيرة مع الزمن لها مكونات في مدى التردد الراديوي من الواضح أنها لا تنقل معلومات وهي قد تقتحم إشارة مطلوبة أو تتحد معها.

الملاحظة 1 - في حالات معينة قد تحمل ضوضاء التردد الراديوي معلومات عن بعض خصائص مصدرها مثل طبيعة هذا المصدر وموقعه.

* إن البرنامج الحاسوبي المصاحب لخصائص الضوضاء الجوية وتطبيقاتها التي تعزى إلى البرق وإلى الضوضاء الاصطناعية والمجرية (عند ترددات أقل من 100 MHz تقريباً) والموصوفة في هذه التوصية، متوفر من قسم الموقع الشبكي لقطاع الاتصالات الراديوية الذي يتعامل مع لجنة الدراسات 3 بقطاع الاتصالات الراديوية.

الملاحظة 2 - يمكن أن يظهر مجموع الإشارات في شكل ضوضاء تردد راديوي إذا لم يتسن التعرف على هويتها كل على حدة. «
تقدم التوصية ITU-R P.372 بيانات عن الضوضاء الراديوية الخارجية التي يلتقطها نظام استقبال راديوي والمشتقة من الأسباب التالية:

- إشارات صادرة عن تفريغات البرق (ضوضاء جوية تعزى إلى البرق)؛
- إشعاعات متجمعة غير مقصودة للآلات الكهربائية وللتجهيزات الكهربائية والإلكترونية ولخطوط نقل الطاقة الكهربائية أو من أنظمة إشعال محركات احتراق داخلي (ضوضاء اصطناعية)؛
- انبعاثات صادرة عن غازات جوية ومائية جوية؛
- ضوضاء تعزى إلى الأرض أو إلى عوائق أخرى توجد في حزمة الهوائي؛
- إشعاعات قادمة من مصادر راديوية سماوية.

الملاحظة 1 - تقديرات سويات الضوضاء الراديوية المعطاة هنا تخص سوية ضوضاء الخلفية في غياب الإشارات الأخرى سواء كانت مشعة عن عمد أو عن غير عمد بحيث لا ينظر في الضوضاء أو الإشارات الناجمة عن إرسالات غير مطلوبة في نفس القناة أو ناجمة عن البث الهامشي من أنظمة إرسال أو استقبال فردية في هذه التوصية.

الملاحظة 2 - في حالة الضوضاء الاصطناعية، من المقرر أن تكون البيانات المقدمة تمثيلية للفئة البيئية مع السويات النمطية لنشاط كهربائي وإلكتروني يعمل بصورة طبيعية على مسافات نموذجية من هذه البيئة.

2 شروط تحديد كثافة الضوضاء والعلاقة فيما بينها

إن عامل الضوضاء f لمستقبل ما هو ناتج مجموعة مصادر للضوضاء التي تلتقط على مطاريف استقبال النظام. وينبغي مراعاة الضوضاء الداخلية والخارجية والنقطة المرجعية الوحيدة التي تسمح بتحديد عامل الضوضاء الكلي لأداء مستقبل راديوي هي نقطة مدخل هوائي الاستقبال دون خسارة مكافئة (ولا توجد مادياً مطاريف الهوائي بدون خسارة هذا). وفيما يخص المستقبلات التي لا تتمتع باستجابات هامشية، يعطى عامل الضوضاء للنظام بالمعادلة التالية:

$$(1) \quad f = f_a + (f_c - 1) + l_c (f_t - 1) + l_c l_t (f_r - 1)$$

حيث:

f_a : هو عامل الضوضاء الخارجية كالاتي:

$$(2) \quad f_a = \frac{p_n}{k t_0 b}$$

الملاحظة 1 - F_a هي قيمة الضوضاء الخارجية المحددة كالاتي:

$$F_a = 10 \log f_a \quad \text{dB}$$

P_n : قدرة الضوضاء الصادرة عن الهوائي المكافئ دون خسارة

k : ثابت Boltzmann $= 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$

t_0 : درجة الحرارة المرجعية (K) يفترض أنها 290 K

b : عرض نطاق قدرة الضوضاء لنظام الاستقبال (Hz)

l_c : خسارة دائرة الهوائي (تقرير قدرة الدخل المتيسرة/قدرة الخرج المتيسرة)

l_t : خسارات خط الإرسال (تقرير قدرة الخرج المتيسرة/قدرة الخرج المتيسرة)

f_r : عامل الضوضاء للمستقبل.

الملاحظة 2 - F_r هي قيمة عامل الضوضاء المحددة بالصيغة الآتية:

$$F_r = 10 \log f_r \quad \text{dB}$$

f_c : هو عامل الضوضاء المصاحب لخسائر دائرة الهوائي،

$$(3) \quad f_c = 1 + (l_c - 1) \left(\frac{t_c}{t_0} \right)$$

f_t : هو عامل الضوضاء المصاحب لخسائر خط الإرسال،

$$(4) \quad f_t = 1 + (l_t - 1) \left(\frac{t_t}{t_0} \right)$$

حيث:

t_c : درجة الحرارة الفعلية (K) للهوائي وللأرض بجوار هذا الهوائي

وحيث:

t_t : درجة الحرارة الفعلية (K) لخط الإرسال،

وإذا كانت $t_c = t_t = t_0$ ، تصبح المعادلة (1) كما يلي:

$$(5) \quad f = f_a - 1 + f_c f_t f_r$$

ويمكن أن تكتب المعادلة (2) كالآتي:

$$(6) \quad P_n = F_a + B - 204 \quad \text{dBW}$$

حيث:

$$10 \log p_n = P_n \quad \text{القدرة المتيسرة (W)}$$

$$10 \log b = B \quad \text{و-} 10 \log k t_0 = 204$$

وفيما يتعلق بهوائي قصير وحيد القطب رأسي ($h \ll \lambda$) فوق مستوى أرضي نموذجي، تعطى المركبة الرأسية لجذر متوسط تربيع شدة المجال بالعلاقة الآتية:

$$(7) \quad E_n = F_a + 20 \log f_{\text{MHz}} + B - 95,5 \quad \text{dB}(\mu\text{V/m})$$

حيث:

E_n : شدة المجال في عرض النطاق b ، و

f_{MHz} : التردد المركزي (MHz).

وبصورة مماثلة فيما يخص هوائي ثنائي الأقطاب بنصف موجة في الفضاء الحر:

$$(8) \quad E_n = F_a + 20 \log f_{\text{MHz}} + B - 98,9 \quad \text{dB}(\mu\text{V/m})$$

ويعبر عادة أيضاً عن عامل الضوضاء الخارجية بدرجة الحرارة، t_a ، من تعريف f_a :

$$(9) \quad f_a = \frac{t_a}{t_0}$$

t_a هي درجة الحرارة الفعالة للهوائي التي تعزى إلى الضوضاء الخارجية.

ويمكن من تقديرات F_a تحديد القيم المقابلة E_n باستعمال معادلات مثل المعادلة (7) و(8) تكون ملائمة لنمط الهوائي المستعمل.

وقدرة الضوضاء المذكورة أعلاه على الرغم من أنها ضرورية لتحديد النسبة إشارة/ضوضاء مثلاً، فهي بالكاد تكفي لتحديد أداء النظام (والاستثناء الوحيد هو الضوضاء البيضاء الخلفية الغوسية فقط). تلزم أوصاف احتمالية مناسبة لشكل موجة الضوضاء العشوائية المستقبلية. وبما أنه فيما يخص أنماط الضوضاء الواردة في هذه التوصية يوزع طور الغلاف المستقبل عموماً بصورة منتظمة فإن توزيع احتمال الاتساعات (APD) (احتمال التجاوز) للغلاف المستقبل محدد. وفي حالة الضوضاء النبضية للترددات العالية (مثلاً أعلى من 1 GHz تقريباً) تكون قيم F_a منخفضة بما يكفي ولا تظهر سوى نبضات كبيرة الاتساع فوق عتبة الضوضاء للمستقبل. وتأخذ هذه الأوصاف شكل قيمة الذروة خلال فترة معينة من الزمن واحتمالات التجاوز في السويات المرتفعة وحساب النبضات في سوية معينة، إلخ.

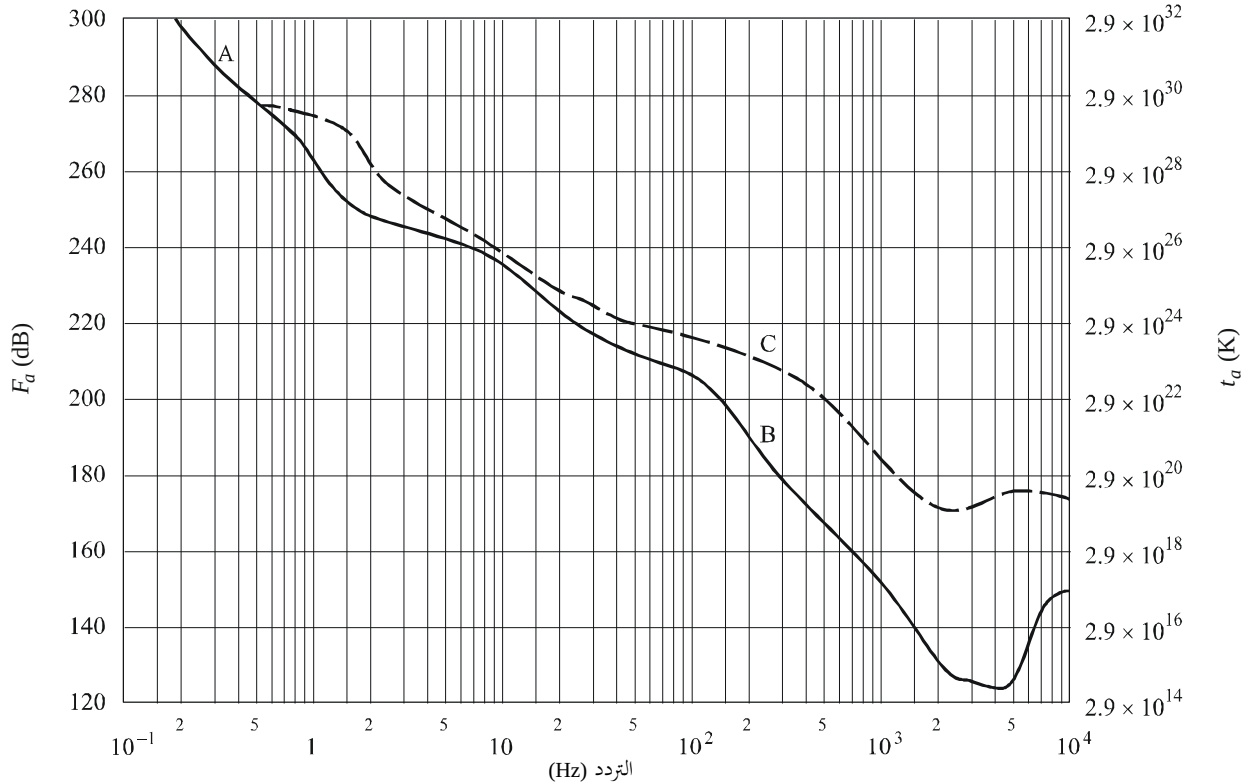
3 سويات الضوضاء بدلالة التردد

تسمح الأشكال الثلاثة التالية والمناقشات ذات الصلة بتحديد قيم F_a المتوقعة من أجل الترددات التي تتراوح ما بين 0,1 Hz و 100 GHz وكذلك تحديد سويات الضوضاء الأخرى المعنية. وتمثل هذه الأشكال الثلاثة المقدار النسبي لأنماط الضوضاء الواردة في الفقرة 1. وتتضمن الفقرات التالية من هذه التوصية تفاصيل إضافية عن الأنماط المتنوعة للضوضاء.

ويشمل الشكل 1 مدى الترددات التي تتراوح ما بين 0,1 Hz و 10 kHz. ويمثل منحنى الخطوط المتواصلة قيم F_a المتوسطة الساعية الدنيا المتوقعة التي تستند إلى قياسات (مع مراعاة السطح الكلي للأرض في كل الفصول وأوقات اليوم). ويمثل منحنى الخطوط المتقطعة القيم القصوى المتوقعة. وتجدد الإشارة إلى أنه لا يوجد في مدى الترددات هذا سوى تغييرات فصلية قليلة جداً محلية أو جغرافية. ويعزى التغير الأكبر في المدى 100 إلى 10 000 Hz إلى تغير قطع الدليل الموجي أرض - تأين (أيونوسفير).

الشكل 1

F_a ، الدنيا والقصوى بدلالة التردد (0,1 إلى 410 Hz)

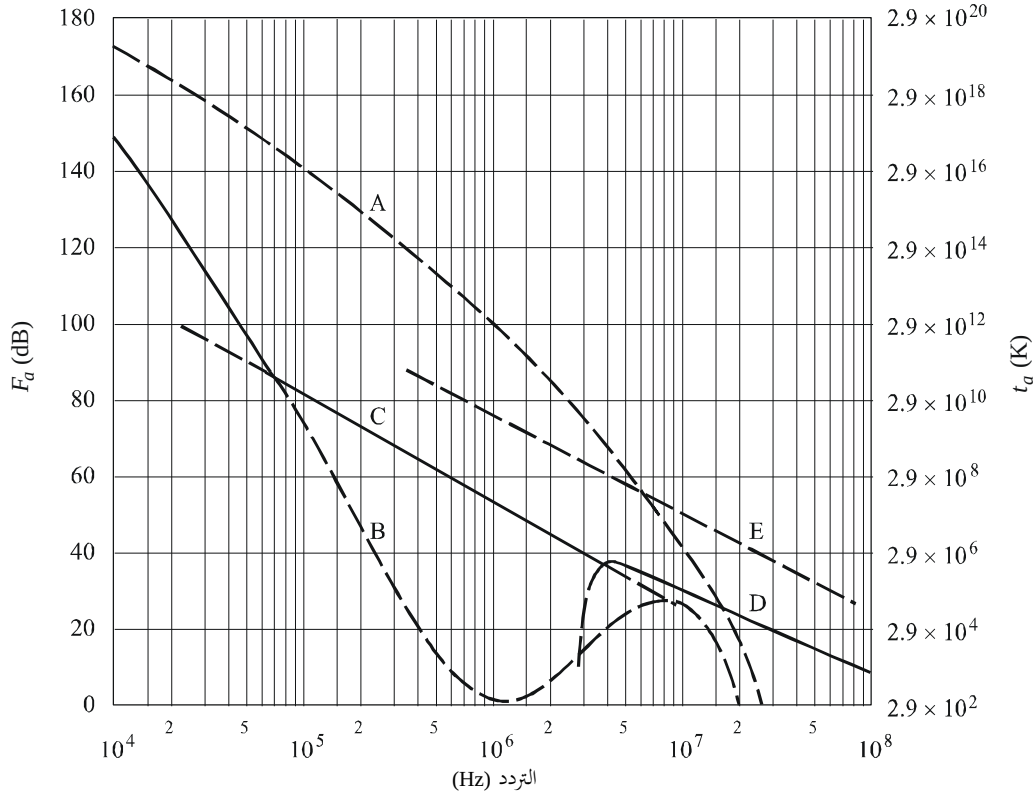


A: نبضات صغيرة
B: القيمة الدنيا المتوقعة للضوضاء الجوية
C: القيمة القصوى المتوقعة للضوضاء الجوية

ويشمل الشكل 2 مدى الترددات التي تتراوح ما بين 10^4 و 10^8 Hz أي 10 kHz إلى 100 MHz لفئات الضوضاء المتنوعة. وتوضح منحنيات الخطوط المتواصلة الضوضاء الدنيا المتوقعة. وفيما يخص الضوضاء الجوية، تكون القيم الدنيا المتوقعة هي القيم التي يتم تجاوزها خلال 99,5% من الزمن أما القيم القصوى فهي القيم التي يتم تجاوزها خلال 0,5% من الزمن. وفيما يتعلق بالمنحنيات الخاصة بالضوضاء الجوية، تمت مراعاة جميع أوقات اليوم والفصول والسطح الكلي للأرض.

الشكل 2

F_a بدلالة التردد (10^4 إلى 10^8 Hz)



- A: ضوضاء جوية، تم تجاوز القيمة خلال 0,5% من الزمن
 B: ضوضاء جوية، تم تجاوز القيمة خلال 99,5% من الزمن
 C: ضوضاء اصطناعية، موقع استقبال هادئ
 D: ضوضاء مجرية
 E: قيمة متوسطة للضوضاء الاصطناعية في منطقة للأعمال
 سوية الضوضاء الدنيا المتوقعة

0372-02

ويوضح الشكل 3 مدى التردد التي تتراوح ما بين 10^8 و 10^{11} Hz أي 100 MHz و 100 GHz. وفي هذه الحالة أيضاً تمثل منحنيات الخطوط المتواصلة سوية الضوضاء الدنيا بينما تمثل منحنيات الخطوط المتقطعة بعض أنماط الضوضاء الأخرى ذات الصلة.

ومعظم النتائج المشار إليها في الأشكال الثلاثة تخص الهوائيات شاملة الاتجاهات (إلا إذا أُشير إلى غير ذلك في الأشكال) ومع ذلك وفيما يخص الهوائيات الاتجاهية، بينت الدراسات أنه في نطاق الموجات الديكامترية (HF) (على سبيل المثال) يمكن فيما يخص الضوضاء الجوية التي تعزى إلى البرق ملاحظة تغيير يصل إلى 10 dB فوق و 5 dB تحت القيمة المتوسطة F_a المشار إليها وذلك تبعاً للتوجيه والتردد والموقع الجغرافي في حالة هوائيات ذات حزمة ضيقة جداً.

وفيما يتعلق بالضوضاء المجرية توضح القيمة المتوسطة (في السماء كلها) في منحنى الخطوط المتواصلة الذي يحمل دلالة "الضوضاء المجرية" (الشكلان 2 و 3). وتشير القياسات إلى تغيير يبلغ ± 2 dB بالنسبة إلى هذا المنحنى في حالة إهمال الحجب الأيونوسفيري. وتقل السوية الدنيا للضوضاء المجرية (هوائي ذو حزمة ضيقة موجهة نحو قطب الجرة) بقيمة 3 dB عن السوية الموضحة في منحنى

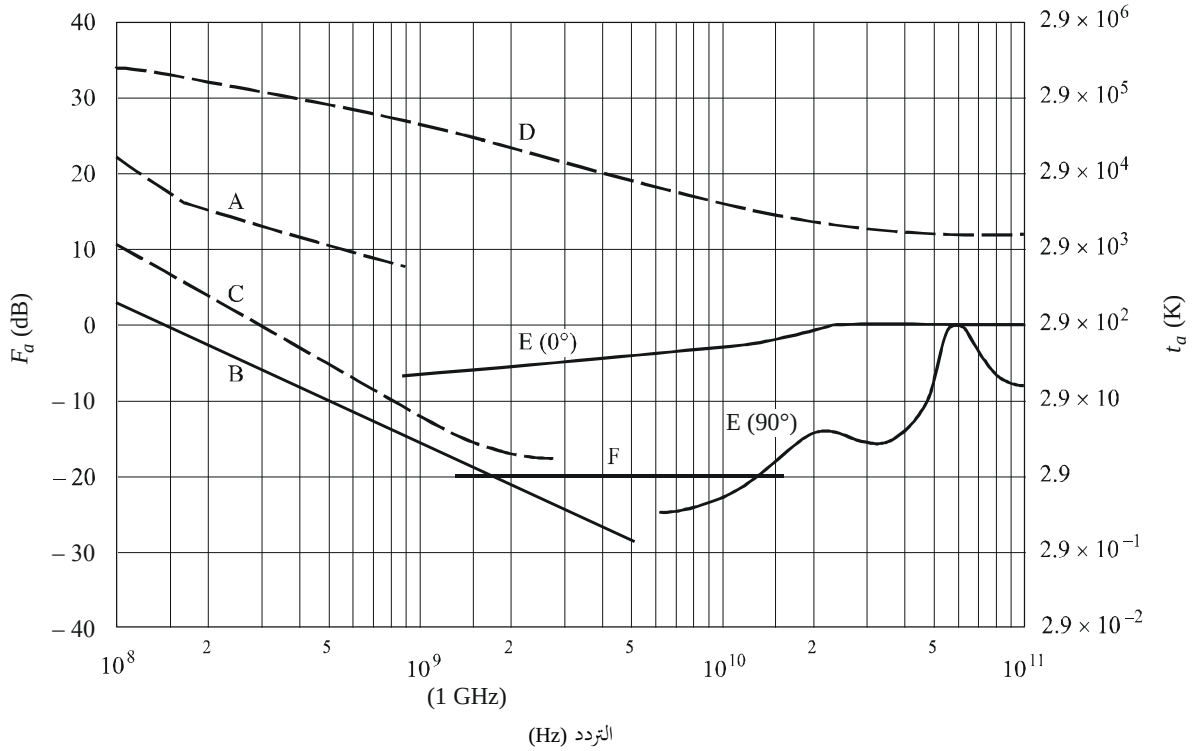
الخطوط المتواصلة للضوضاء المجرية في الشكل 3. ويمثل منحنى الخطوط المتقطعة في الشكل 3، السوية القصوى للضوضاء المجرية الخاصة بهوائيات ذات حزمة ضيقة.

4 الضوضاء الصادرة عن الغازات الجوية وسطح الأرض

يعبر عادة عن الضوضاء القادمة من مصادر فردية مثل الشمس والغازات الجوية وسطح الأرض إلخ، بمعلومية درجة حرارة المعدن t_b . ودرجة حرارة الهوائي t_a عبارة عن تلفيف لمخطط الهوائي ودرجة حرارة المعدن للسماء والأرض. وفيما يخص هوائيات لا تشمل مخططاتها سوى مصدر وحيد تكون درجة حرارة الهوائي مطابقة لدرجة حرارة المعدن (المنحنيات C و D و E الواردة في الشكل 3 مثلاً).

الشكل 3

F_d بدلالة التردد (10^8 إلى 10^{11} Hz)



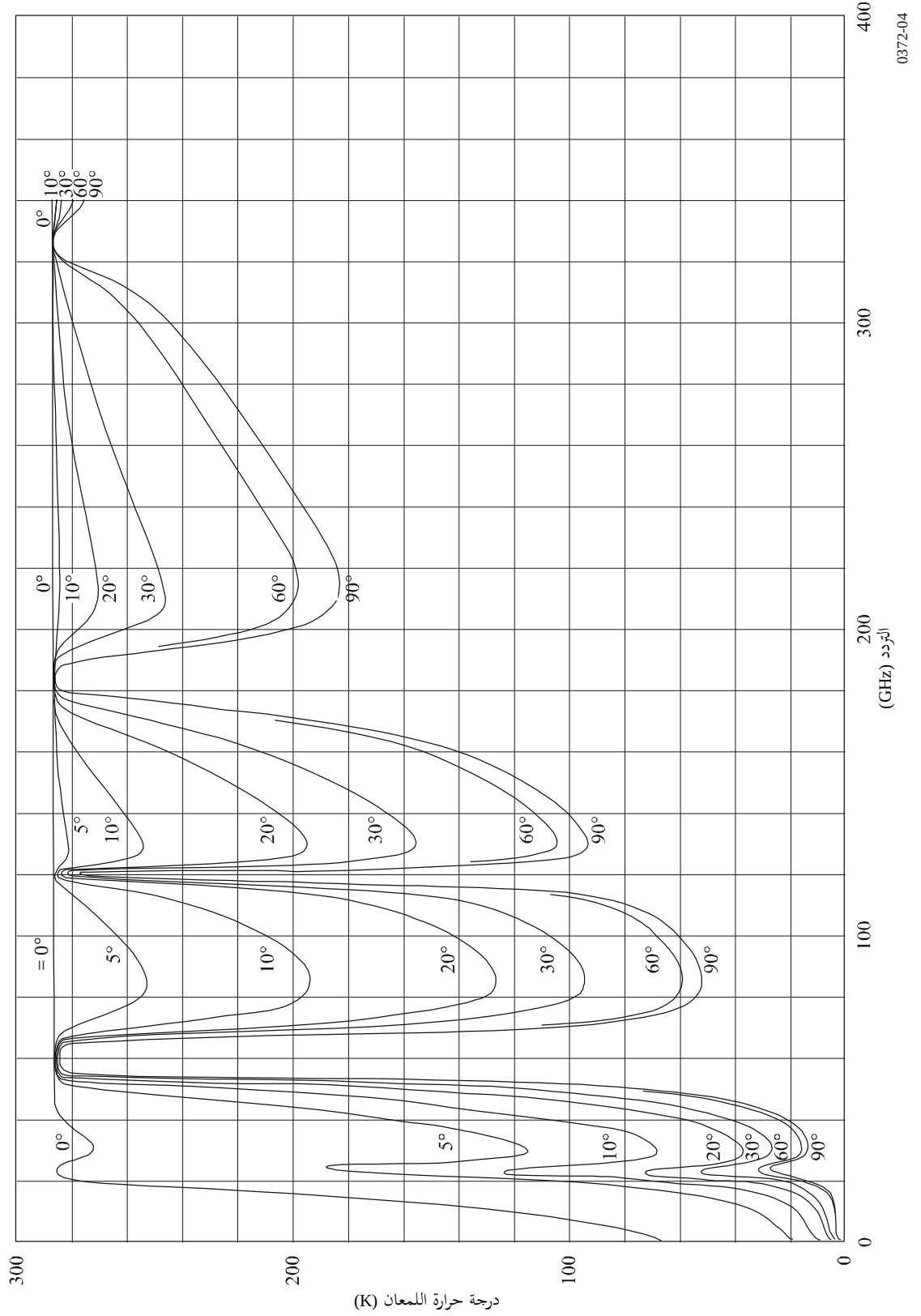
- A: قيمة متوسطة مقدرة للضوضاء الاصطناعية في منطقة للأعمال
 B: ضوضاء مجرية
 C: ضوضاء مجرية (باتجاه المركز المجري مع فتحة حزمة ضيقة للغاية)
 D: شمس هادئة (فتحة حزمة مقدارها 1/2° موجهة نحو الشمس)
 E: ضوضاء في السماء تعزى إلى الأكسجين وإلى بخار الماء (هوائي بحزمة ضيقة جداً)
 منحني أعلى وزاوية ارتفاع تبلغ 0°، ومنحنى أدنى وزاوية ارتفاع تبلغ 90°
 F: جسم أسود (خلفية كونية)، K 2,7
 سوية الضوضاء الدنيا المتوقعة

0372-03

ويوضح الشكلان 4 و 5 درجة حرارة المعدن للجو لمستقبل منصوب على الأرض باستثناء مساهمة الضوضاء الكونية التي تبلغ K 2,7 أو مصادر أخرى من خارج الأرض للترددات التي تتراوح ما بين 1 و 340 GHz في المثال الأول وبين 1 و 60 GHz في المثال الثاني. وجرى حساب المنحنيات باستخدام برنامج نقل إشعاعي لسبع زوايا ارتفاع مختلفة وجو متوسط (كثافة بخار الماء على السطح 7,5 g ودرجة الحرارة على السطح K 288 وارتفاع السلم البالغ 2 km لبخار الماء). وقد استعمل للجو الجاف الجو المعياري للولايات المتحدة لعام 1976. وتضاف المساهمة النموذجية لبخار الماء فوق طبقة التروبوز البينية.

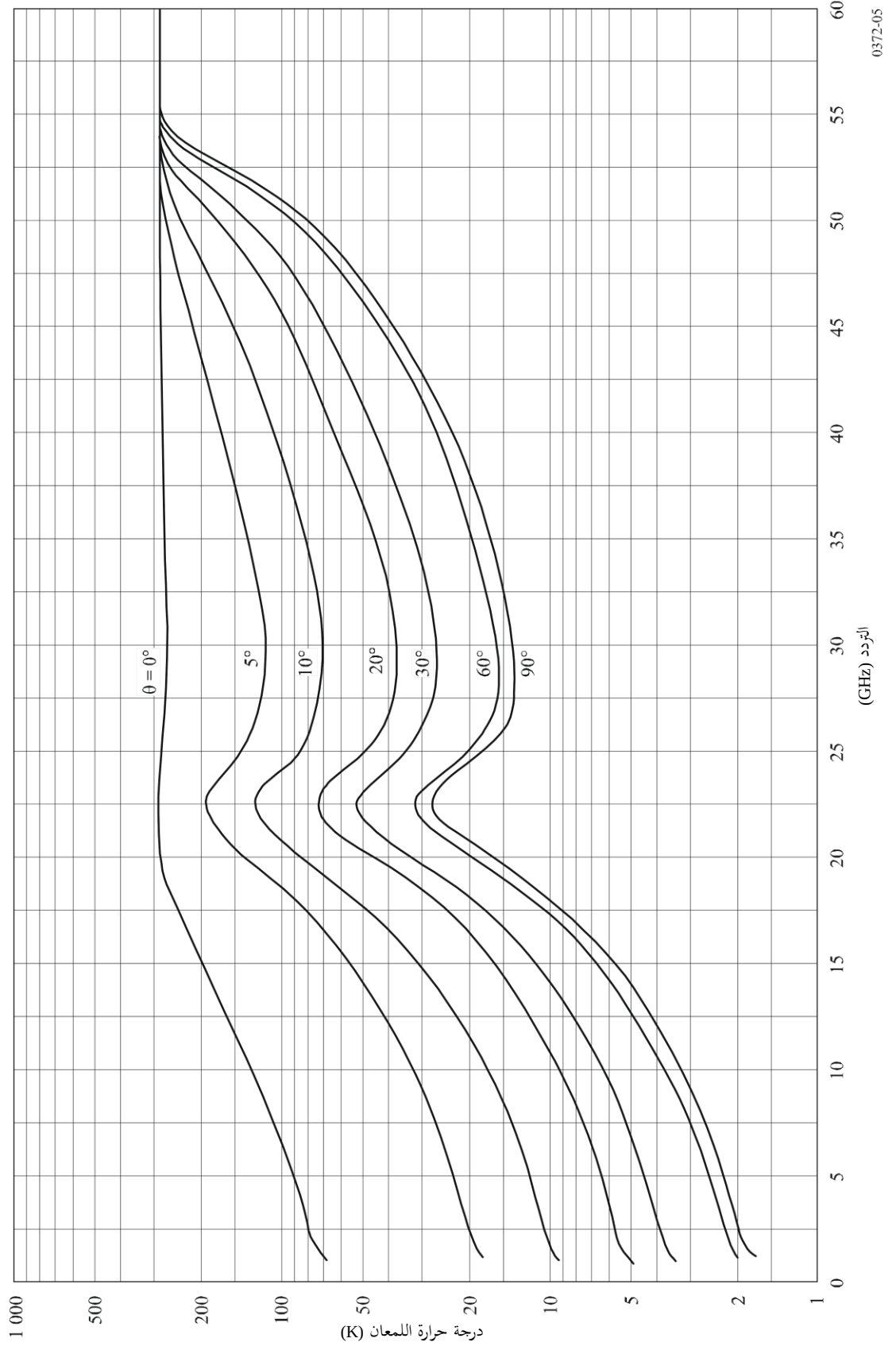
الشكل 4

درجة حرارة المعدن (الجو الصافي) لكثافة بخار الماء البالغة $7,5 \text{ g/m}^3$
 (درجة الحرارة والضغط على الأرض 15°C و 1023 mb)، θ هي زاوية الارتفاع



الشكل 5

درجة حرارة المعدن (الجو الصافي) لكثافة بخار الماء البالغة 7,5 g/m³
(توسع سلم الإحداثيات السينية في الشكل 4)، θ هي زاوية الارتفاع



ويمكن في حالة الاتصالات أرض-فضاء إذا عرف توهين الإشارة الصادرة عن مرسل مركبة فضائية، الحصول على تقدير جيد لدرجة حرارة اللمعان في هذا الاتجاه لترددات تتراوح ما بين 2 و 30 GHz. وتعطى درجة الحرارة بالصيغة التالية:

$$(10) \quad t_b = t_e (1 - e^{-d}) + 2,7 \quad K$$

حيث:

d : هو العمق البصري = التوهين (dB/4,343)

t_e : درجة الحرارة الفعالة والتي تقارب عادة 275 K.

وتقدم العلاقة المذكورة أعلاه نتائج تصل دقتها إلى حوالي 0,1 dB تحت 30 GHz. وفوق هذا التردد تدخل مكونة الانتثار في التوهين ويصبح تقدير درجة حرارة اللمعان عالية جداً. ويمكن استعمال العلاقة السابقة لإدراج التوهين الناجم عن المطر.

أجريت في الولايات المتحدة الأمريكية دراسات للنقل الإشعاعي بما في ذلك آثار الغيوم. وتم حساب درجات حرارة اللمعان في السمات من معطيات الأرصاد الجوية عن سنة نموذجية اختيرت من قاعدة معطيات تغطي 15 عاماً للمواقع البالغة 15 موقعاً. وتعطى النتائج الخاصة بموقعين في الولايات المتحدة الأمريكية وهما Yuma في ولاية أريزونا (حيث يبلغ معدل هطول الأمطار السنوية 5,5 cm) ومدينة نيويورك (معدل هطول الأمطار السنوية 98,5 cm) في الشكلين 6 أ) وب) لخمس ترددات مختلفة. ويمكن تبعاً للمنحنيات الإشارة إلى أن درجة حرارة الضوضاء في السمات عند 90 GHz قد تكون أقل من درجة حرارة الضوضاء عند 44 GHz. وتلك هي الحالة الخاصة بدرجات حرارة اللمعان في السمات المنخفضة جداً مما يعني أن كثافة بخار الماء هي ضعيفة جداً (أقل من 3 g/m^3 تقريباً) ومع ذلك يوضح الشكل 4 (7,5 g/m^2 لكثافة بخار الماء) تطابق درجات حرارة اللمعان عند 90 GHz و 44 GHz تقريباً.

ويمكن حساب درجة حرارة اللمعان لسطح الأرض في زاوية نظير معينة باستعمال معادلة النقل الإشعاعي التي تصف انعكاس الإشعاعات الجوية الهابطة والإشعاعات الصادرة عن سطح الأرض.

ويتضمن هذا الحساب تكامل الإشعاعات الهابطة عبر جميع الزوايا ويراعي التوهين الجوي.

ويمكن تبسيطه على النحو التالي:

$$T = \epsilon T_{surf} + \rho T_{atm}$$

حيث:

ϵ : قدرة البث الفعالة للسطح

ρ : معامل الانعكاس الفعال

T_{surf} : درجة الحرارة الفيزيائية لسطح الأرض (بالدرجات K)

T_{atm} : المتوسط المرجح لدرجة حرارة اللمعان للسماء.

يكون معامل الانعكاس ρ نحو 100 GHz ولكن تحت 10 GHz بوجه خاص مرتفعاً عموماً وتكون الانعكائية ϵ ضعيفة.

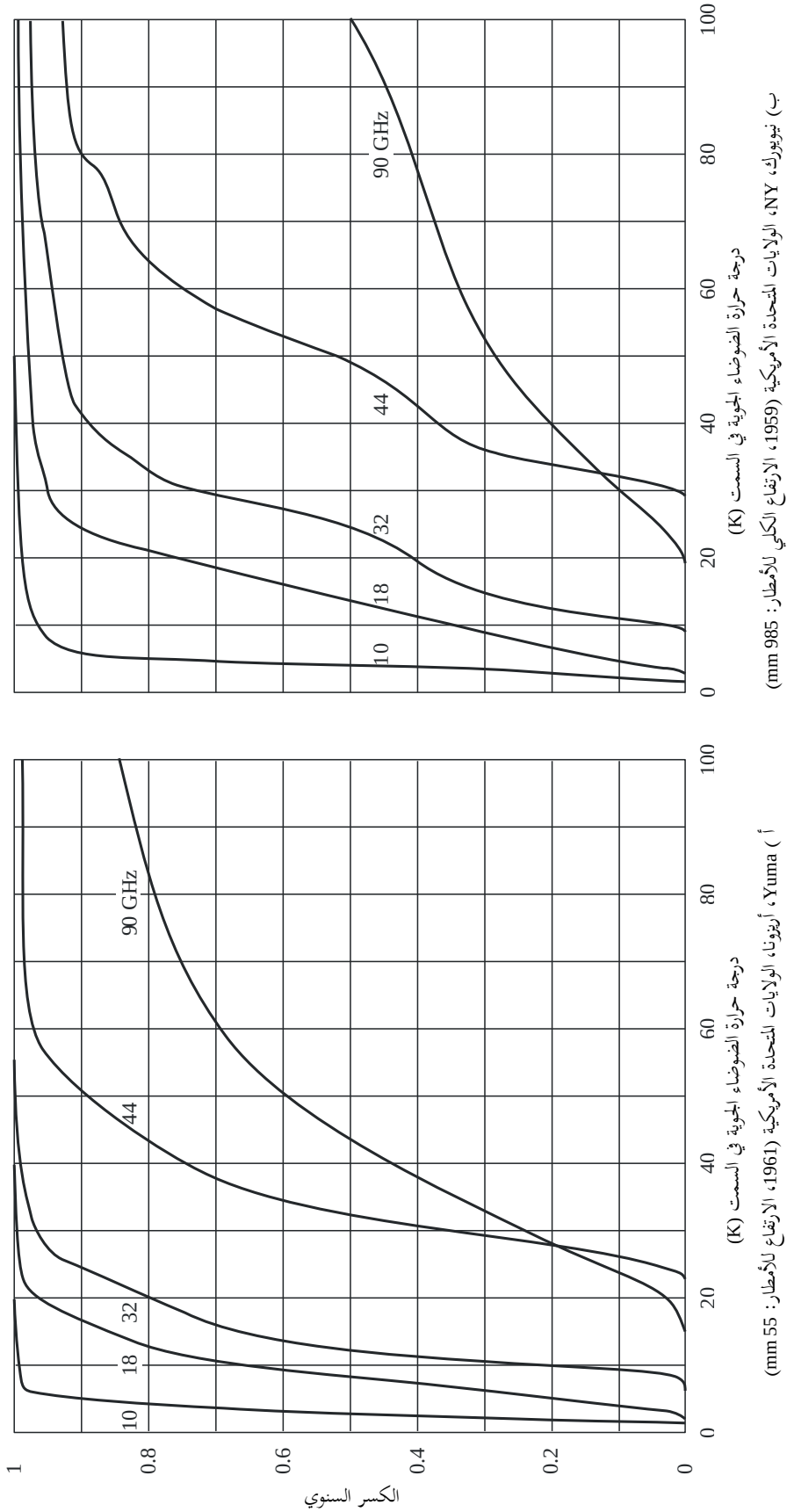
ويمثل الشكل 7 أ) قدرة البث ودرجة حرارة اللمعان على سطح الماء الهادئ للاستقطاب الرأسي والأفقي وتبعاً لزاويتي الورد. وتحدد الإشارة إلى أنه لا يوجد فرق بين مياه البحر والمياه العذبة في الترددات الأعلى من 5 GHz.

ويمثل الشكل 7 ب) درجة حرارة اللمعان في زاوية النظر لسطح البحر عند ثلاثة ترددات بدلالة درجة الحرارة الفيزيائية لسطح البحر للملوحة تبلغ 36×10^{-3} .

ويمثل الشكلان 7 ج) و 7 د) الزيادة في درجة حرارة اللمعان على سطح البحر مع سرعة الرياح وتفيد هذه المنحنيات في كشف العاصفة.

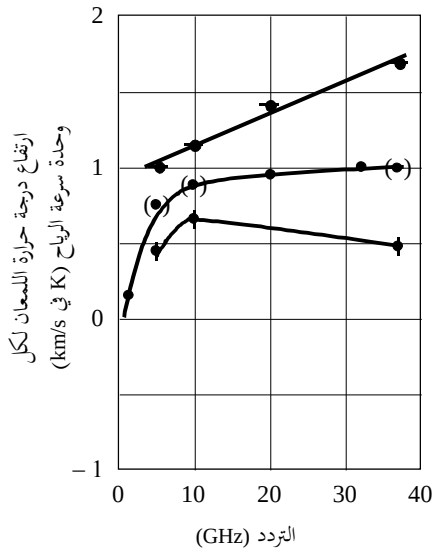
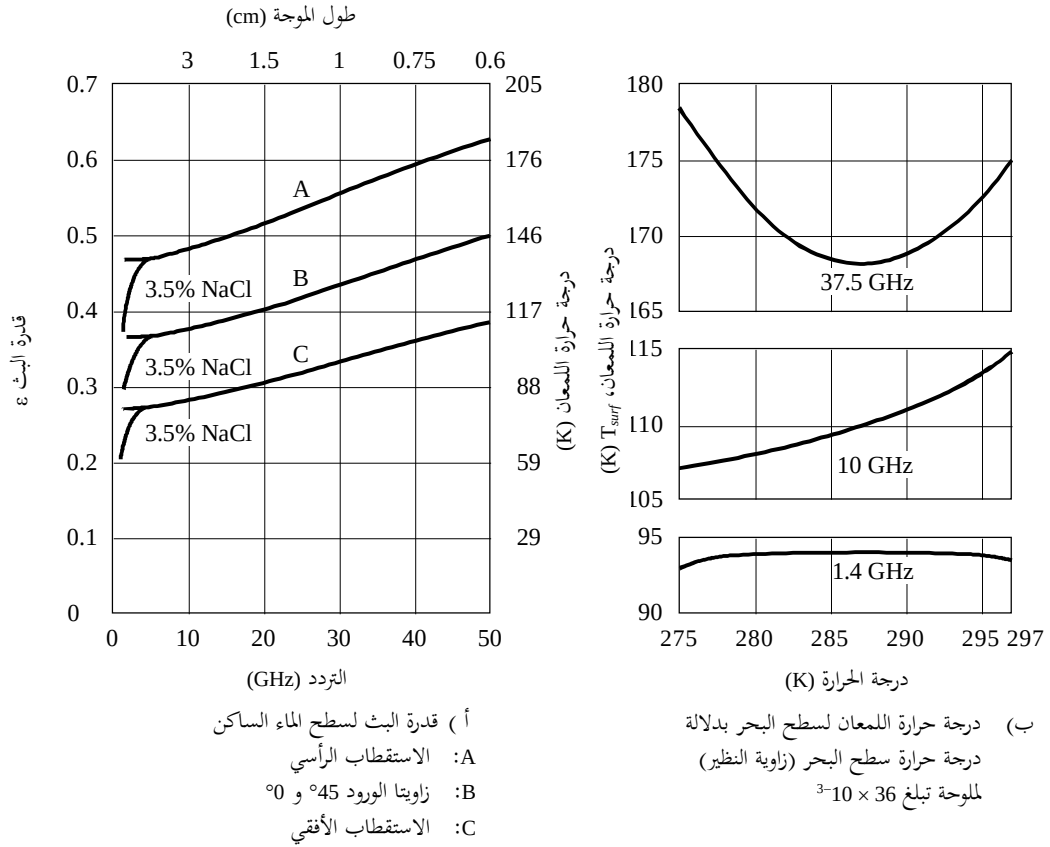
الشكل 6

كسر الزمن الذي تعادل فيه درجة حرارة الضوضاء للسماء في السم (اللمعان)
الإحداثيات السينية أو تقل عنها في سنة نموذجية



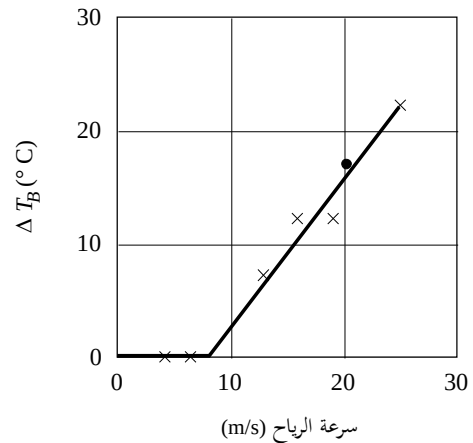
الشكل 7

تغيرات قدرة البث ودرجة حرارة اللمعان لسطح البحر



ج) طيف ارتفاع درجة حرارة اللمعان التي تسببها الرياح على سطح المحيط

- زاوية النظر
- ◆ الاستقطاب الرأسى (°38)
- ◆ الاستقطاب الأفقي (°38)
- استنتاج



د) ارتفاع درجة حرارة اللمعان على سطح المحيط عند 19,35 GHz التي تعزى إلى سرعة الرياح

- × المحيط الأطلسي، بحر الشمال
- بحر سالتون

تفوق قدرات البث (وبالتالي درجات حرارة اللمعان) لسطوح الأرض قدرات ودرجات حرارة السطوح المائية لأن ثوابت العازل الكهربائي للأرض أقل. ويمثل الشكل 8 أ) درجة حرارة اللمعان لأرض منتظمة بالنسبة إلى معدلات رطوبة مختلفة أما الشكل 8 ب) فيمثل درجة حرارة اللمعان لدرجات متفاوتة من عدم انتظام السطح. وتعطى المنحنيات من أجل استقطابات رأسية وأفقية ودائرية. وإذا ارتفعت درجة الرطوبة تنخفض درجة حرارة اللمعان، وترتفع درجة حرارة اللمعان كلما زاد عدم انتظام الأرض.

ويوضح الشكل 9 حسابات درجات حرارة اللمعان الملاحظة من مدار سواتل مستقرة بالنسبة إلى الأرض بمساعدة سائل يستعمل حزمة تغطي الأرض (بحيث تقع الأرض داخل الحزمة الرئيسية بين النقاط عند 3 dB). ويمكن بحسب تحرك الساتل حول مداره مشاهدة أثر كتلة القارة الإفريقية (الحار) عند خط طول 30° شرقاً وأثر المحيط الهادئ (البارد) عند خط طول من 180° إلى 150° غرباً. وترتفع درجة حرارة اللمعان بزيادة التردد ويعزى ذلك بشكل رئيسي إلى الامتصاص الغازي. وترسم المنحنيات الجو الطبيعي في الولايات المتحدة الأمريكية مع كثافة لبخار الماء تبلغ $2,5 \text{ g/m}^3$ وتغطية غيوم حجمها 50%. ويعطى مخطط الإشعاع للهوائي الذي يؤمن تغطية الأرض بالمعادلة $G(\varphi) = -3(\varphi/8,715)^2 \text{ dB}$ مع $0 \leq \varphi \leq 8,715$ (حيث φ هي زاوية الارتفاع بالنسبة إلى محور التسديد).

5 الضوضاء الاصطناعية

يوضح الشكل 10 القيم المتوسطة لقدرة الضوضاء الاصطناعية¹ من أجل عدد من البيئات. ويتضمن الشكل أيضاً منحني الضوضاء المجرية (انظر الفقرة 6).

وفي جميع الحالات تتفق النتائج مع التغير الخطي في القيمة المتوسطة F_{am} بدلالة التردد f :

$$F_{am} = c - d \log f \quad (11)$$

ويعبر عن f بالوحدة MHz وتأخذ c و d القيم المشار إليها في الجدول 1. وتحدد الإشارة إلى أن المعادلة (11) تنطبق على الترددات التي تتراوح ما بين 0,3 و 250 MHz لجميع فئات البيئات باستثناء تلك التي تقابل المنحنيين D و E كما هو مبين في الشكل.

الجدول 1

قيم الثابتين c و d

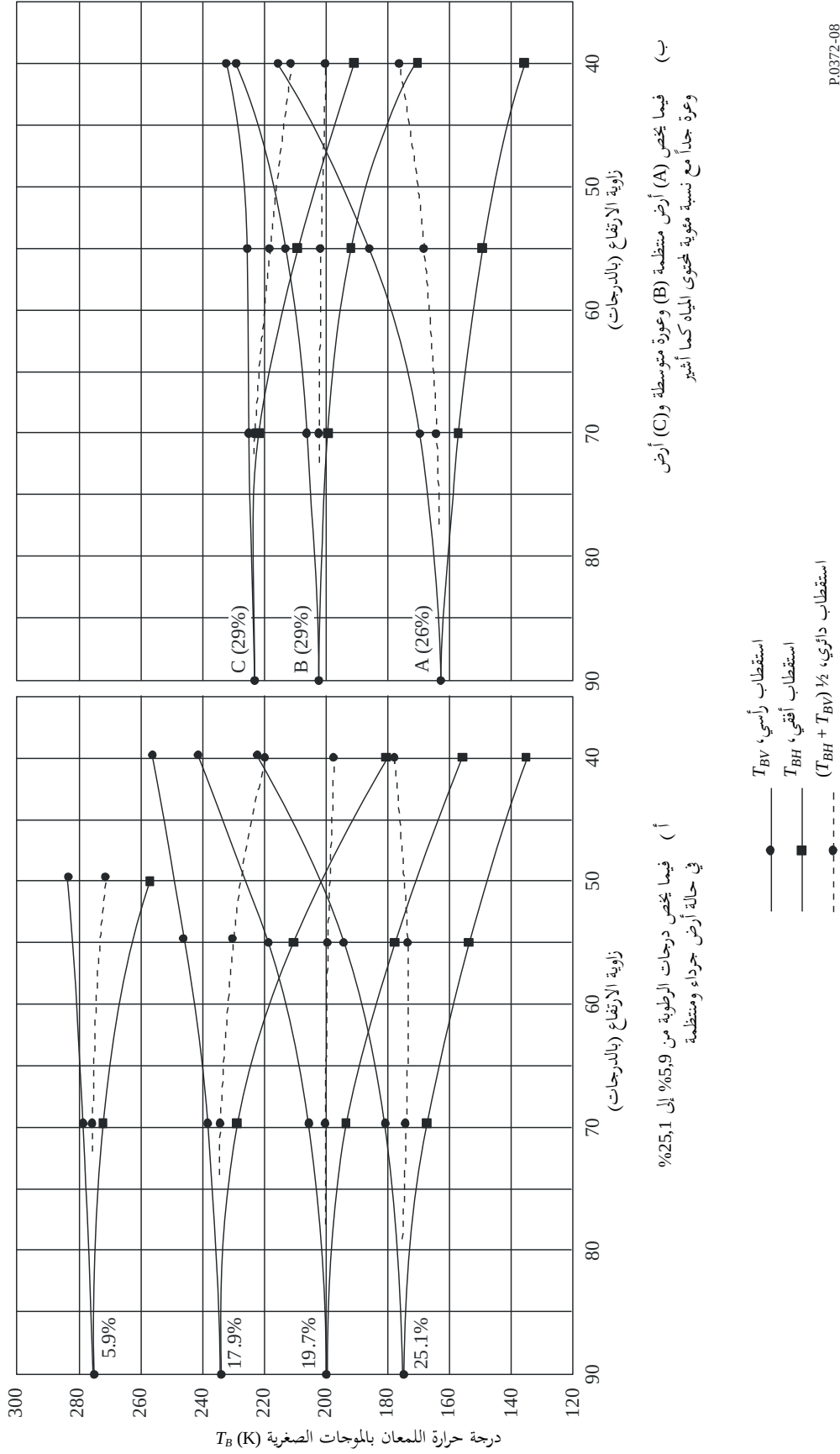
فئة البيئة	c	d
مدنية (المنحنى A)	76,8	27,7
سكنية (المنحنى B)	72,5	27,7
ريفية (المنحنى C)	67,2	27,7
ريفية تماماً (المنحنى D)	53,6	28,6
ضوضاء مجرية (المنحنى E)	52,0	23,0

وفيما يخص الفئات "منطقة أعمال" و "منطقة سكنية" و "منطقة ريفية"، يعطى مدى الترددات كله أعلاه متوسط الانحرافين العشيرين الأعلى والأدنى D_{II} و D_I ، لقدرة الضوضاء بدلالة موقع معين في الجدول 2. ويمكن افتراض أن قيم الانحراف هذه غير مترابطة وأن التوزيع الشبه لوغاريتمي الطبيعي في كل حد من حدي المتوسط يعد ملائماً. وقد قيست هذه القيم في سبعينات القرن الماضي وقد تتغير مع الزمن، طبقاً للأنشطة التي قد ينشأ عنها ضوضاء اصطناعية.

¹ بالنسبة للضوضاء الاصطناعية، تقدم هذه التوصية عامل الضوضاء الخارجية، أي، مركبة الضوضاء ذات التوزيع الغوسي. ويكون للضوضاء الاصطناعية عادة مركبة نبضية وقد يكون لذلك أهمية في التأثير على أداء الشبكات والأنظمة الراديوية.

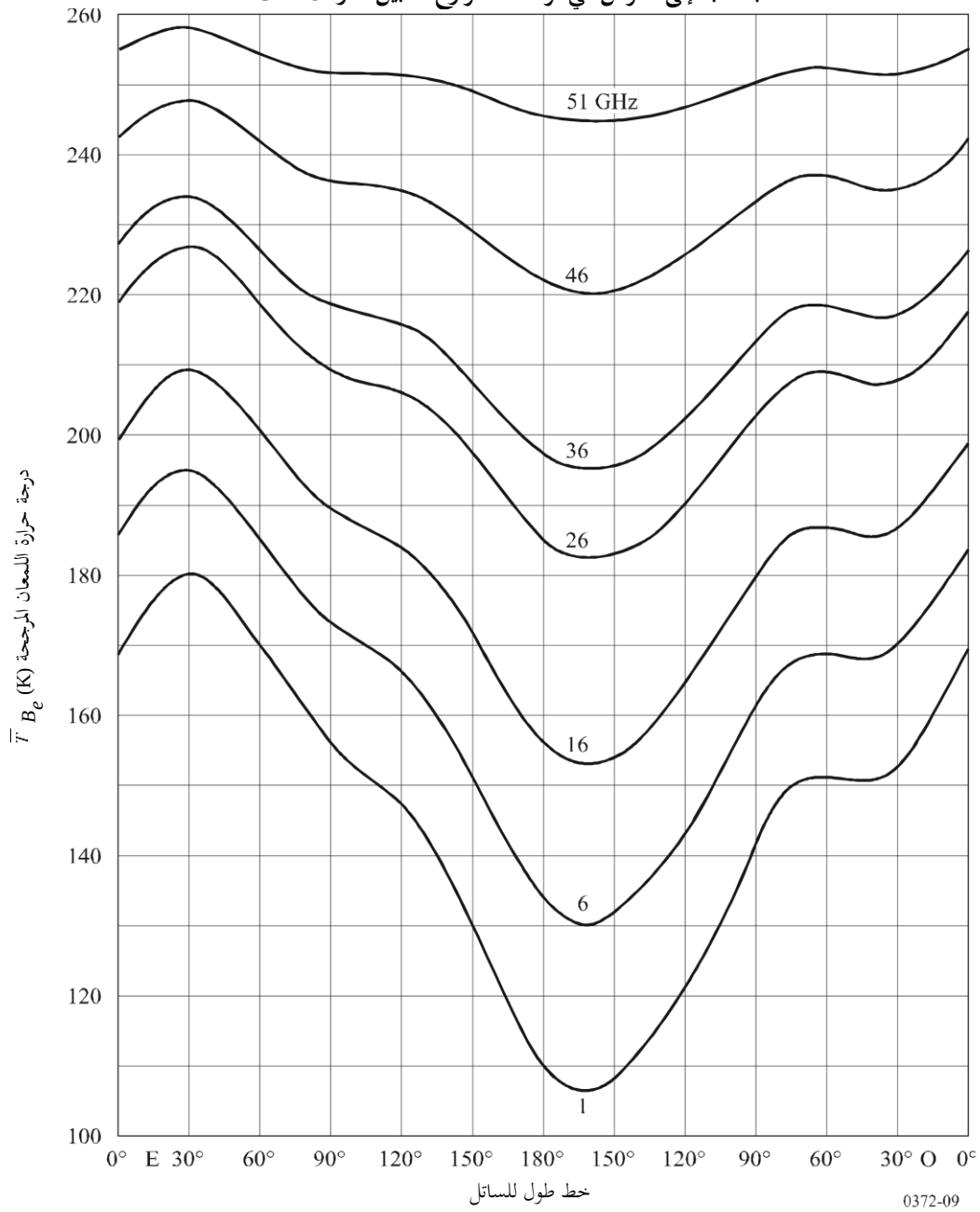
الشكل 8

درجة حرارة المعدن للأرض عند 1 430 MHz بدلالة زاوية الارتفاع



الشكل 9

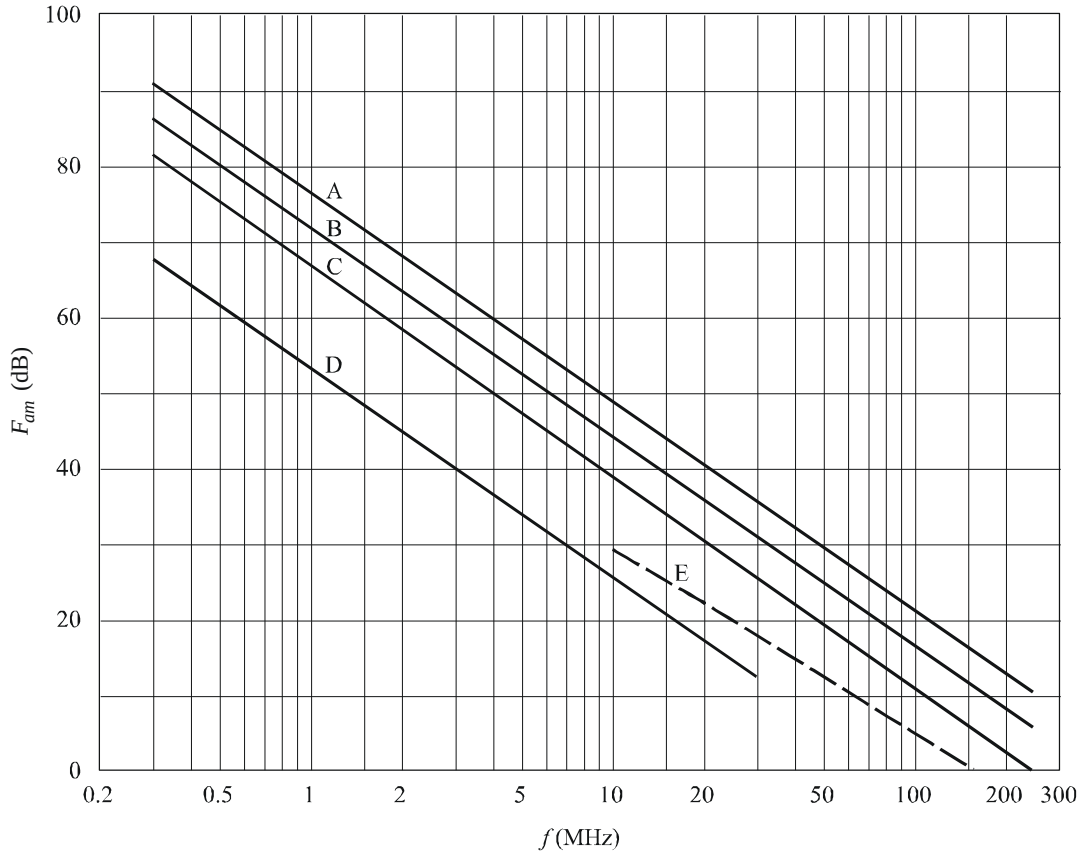
درجة حرارة اللمعان المرجحة للأرض بدلالة خط الطول اعتباراً من ساتل مستقر
بالنسبة إلى الأرض في ترددات تتراوح ما بين 1 و 51 GHz



والمعلومات المقدمة أعلاه بشأن الضوضاء الاصطناعية تم الحصول عليها من قياسات أجريت منذ بضع سنوات. وقد أكدت قياسات أجريت في أوروبا في الفترة 2006-2007 وفي اليابان في الفترة 2009-2011 على عوامل الضوضاء الواردة أعلاه بصورة مجملية. وقد تمت جدولة هذه النتائج في الجداول 3-5.

الشكل 10

القيم المتوسطة لقدرة الضوضاء الاصطناعية المقاسة مع هوائي وحيد الاستقطاب رأسي قصير دون خسارة



0372-10

الجدول 2

قيم الانحرافات العشرية للضوضاء الاصطناعية

الفئة	الحد العشري	التغير مع الزمن (dB)	التغير مع الموقع (dB)
مدينة	أعلى أدنى	11,0 6,7	8,4 8,4
منطقة سكنية	أعلى أدنى	10,6 5,3	5,8 5,8
منطقة ريفية	أعلى أدنى	9,2 4,6	6,8 6,8

الجدول 3

قياسات للضوضاء الاصطناعية خارج المباني أجريت في أوروبا

الانحراف العشري الأدنى			الانحراف العشري الأعلى			عامل الضوضاء المتوسط (F_a dB فوق kT_0b)			التردد (MHz)
منطقة ريفية	منطقة سكنية	مدينة	منطقة ريفية	منطقة سكنية	مدينة	منطقة ريفية	منطقة سكنية	مدينة	
2	2	1,5	1	5	7	16	17	23	35
2	3,5	3	2	2	4	6	8	12	140
2	1	2	1	2	1	5	8	16	210
1	1	2	1	2	2	4	4	6	270
1	1	1	1	2	1	3	4	6	425

الجدول 4

قياسات للضوضاء الاصطناعية خارج المباني أجريت في اليابان

الانحراف العشري الأدنى (dB)		الانحراف العشري الأعلى (dB)		عامل الضوضاء المتوسط (F_a dB فوق kT_0b)		التردد (MHz)
منطقة سكنية	مدينة	منطقة سكنية	مدينة	منطقة سكنية	مدينة	
2,4	4,8	3,9	5,4	20,2	27,1	37
3,8	4,7	2,2	4,5	17,1	21,4	67
3,1	3,9	5,5	5,5	15,2	21,1	75
3,3	4,7	4,4	4,9	11,1	18,6	99
3,2	3,6	6,1	5,1	10,3	15,5	121
4,4	3,4	3,8	6,7	9,1	13,0	163
2,2	3,0	6,1	5,1	6,8	9,0	222
1,0	2,2	5,5	6,8	3,1	5,7	322

الجدول 5

قياسات للضوضاء الاصطناعية داخل المباني أجريت في أوروبا

الانحراف العشري الأدنى		الانحراف العشري الأعلى		عامل الضوضاء المتوسط F_a (dB rel kT_0b)		التردد (MHz)
منطقة سكنية	مدينة	منطقة سكنية	مدينة	منطقة سكنية	مدينة	
1	2	3	3	5	14	210
1	1	1	4	3	16	425

6 درجة حرارة اللمعان التي تعزى إلى مصادر من خارج الأرض

فيما يخص الاتصالات في ترددات تقل عن 2 GHz يجب كقاعدة عامة مراعاة الشمس والمجرة (درب اللبانة) والتي تظهر كحزام واسع من البث الكثيف. وفيما يخص الترددات التي تصل إلى 100 MHz تقريباً يعطى عامل الضوضاء المتوسط بالنسبة إلى الضوضاء المجرية مع تجاهل أثر الحجب الأيونوسفيري بالمعادلة التالية:

$$(12) \quad F_{am} = 52 - 23 \log f$$

حيث:

f : التردد (MHz).

وتبلغ التغيرات العشرية لقدرة الضوضاء المجرية المتوسطة ± 2 dB.

بالنسبة لهذه الظروف، فإن التغير العشري لكل من الحدين العشريين الأعلى والأدنى بالنسبة للضوضاء المجرية يبلغ 2 dB.

ولن تلاحظ الضوضاء المجرية على ترددات أقل من foF2 وتكون أقل من القيمة المستخلصة من المعادلة (12) للترددات التي تصل حتى ثلاثة أضعاف foF2.

وفيما يخص الترددات التي تزيد عن 2 GHz يكفي مراعاة الشمس وبعض المصادر غير الحرارية والكثيفة جداً مثل ذات الكرسي A وكوكبي الدجاجة A و X وسديم السرطان لأن درجة حرارة الضوضاء الخلفية الكونية لا تساهم سوى بمقدار 2,7 K وأن (درب اللبانة) يمثل منطقة ضيقة ذات كثافة عالية إلى حد ما. ويوضح الشكل 12 مدى درجة حرارة اللمعان لمصادر الضوضاء الشائعة من خارج الأرض في مدى الترددات من 0,1-100 GHz.

وتعرض الأشكال 13 أ) و 13 ب) و 13 ج) و 13 د) منحنيات درجة حرارة السماء الراديوية الكلية عند 408 MHz المملسة باستبانة زاوية قدرها 5°. وتعطى هذه المنحنيات بإحداثيات استوائية، الميل δ (خط عرض) والطلع المستقيم α (ساعات في الشرق حول خط الاستواء اعتباراً من خط الاعتدال الربيعي). وتتدرج الأكفة مباشرة بانحراف (K) نسبة إلى 2,7 K حيث تبلغ الدقة 1 K. وتكون الفواصل بين الأكفة كالتالي:

- 2 K تحت 60 K،
- 4 K من 60 إلى 100 K،
- 10 K من 100 إلى 200 K،
- 20 K فوق 200 K.

وتسدد الأسهم فوق الخطوط غير الموسمة للأكفة باتجاه عقارب الساعة حول حد أدنى من توزيع اللمعان.

ويحدد المنحنى الجيبي ذو الخطوط المتقطعة بين $\pm 23,5^\circ$ في الشكلين 13 أ) و 13 د) الإهليلج الذي يجتاز درب اللبانة بالقرب من المركز المجري. مما يعني أنه في حال رصد مركبة فضائية في الفضاء ما بين الكواكب قد يلزم هذا الأمر. ويشار إلى المصادر النقطية الأكثر كثافة بذرى ضيقة لتوزيع درجة الحرارة بينما يتقلص ظهور المصادر الأضعف بسبب الاستبانة الزاوية المحدودة.

يتغير إشعاع الخلفية المجرية بدلالة التردد وللحصول على درجات حرارة اللمعان عند ترددات أخرى f_i لإشعاع الخلفية تستعمل الصيغة التالية:

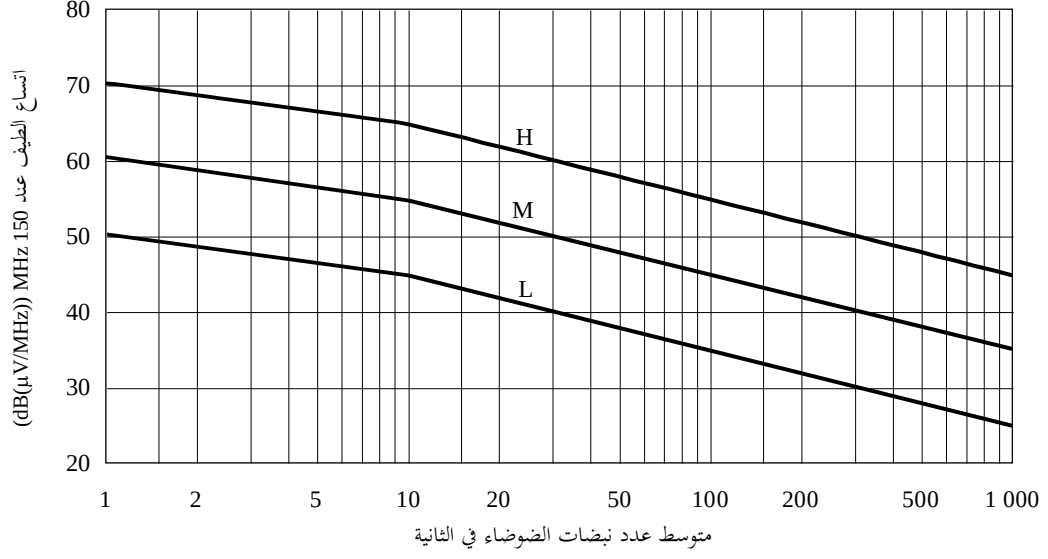
$$(13) \quad t_b(f_i) = t_b(f_0) (f_i / f_0)^{-2.75} + 2,7 \quad K$$

وعلى ذلك فعندما $t_b = 200$ K، $f_0 = 408$ MHz و $f_i = 1$ GHz يمكن أن يؤدي الاستكمال الخارجي إلى ما يلي:

$$t_b = 19,7 \quad K$$

الشكل 11

توزيع اتساع الضوضاء في محطة قاعدة (150 MHz)



متوسط عدد نبضات الضوضاء في الثانية
فيما يخص ترددات غير الترددات 150 MHz ترفع
أو تخفض المنحنيات H و M و L طبقاً للصيغة التالية:

$$A = C + 10 \log V - 28 \log f$$

حيث يعبر عن A بوحدات dB (μV/MHz) لكل 10 نبضات في الثانية.

المنحنيات H: موقع في سوية ضوضاء عالية (V = 100)

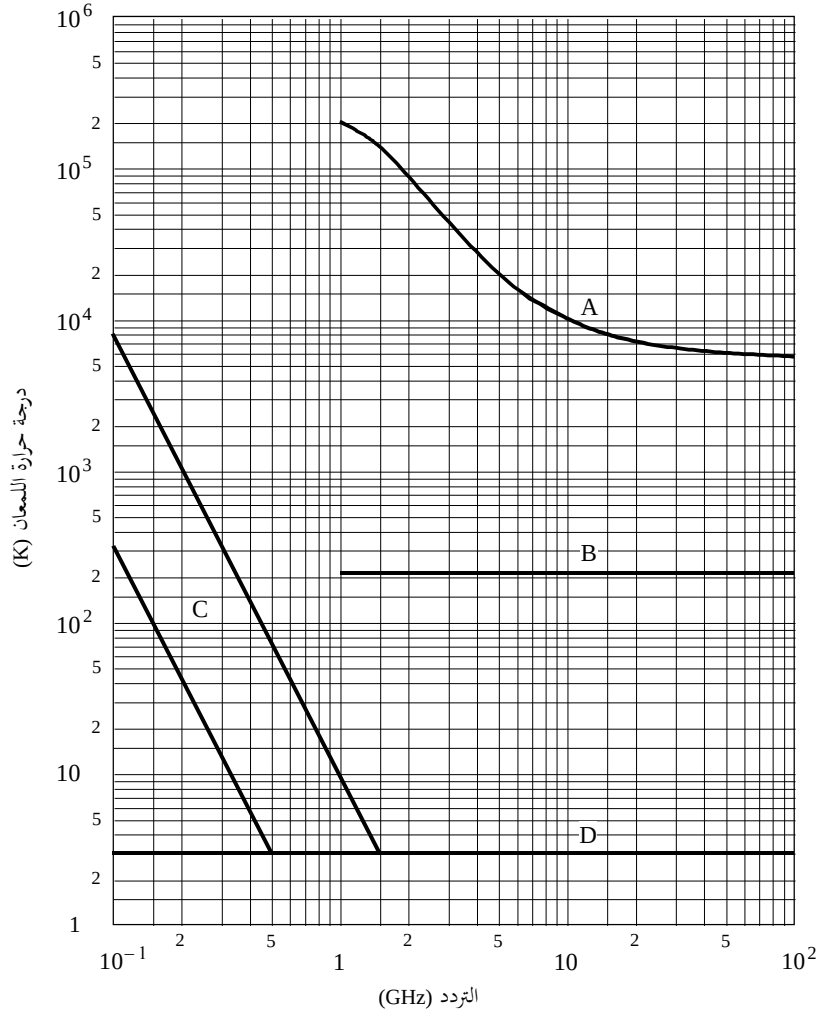
M: موقع في سوية ضوضاء معتدلة (V = 10)

L: موقع في سوية ضوضاء ضعيفة (V = 1)

0372-11

الشكل 12

مصادر الضوضاء من خارج الأرض



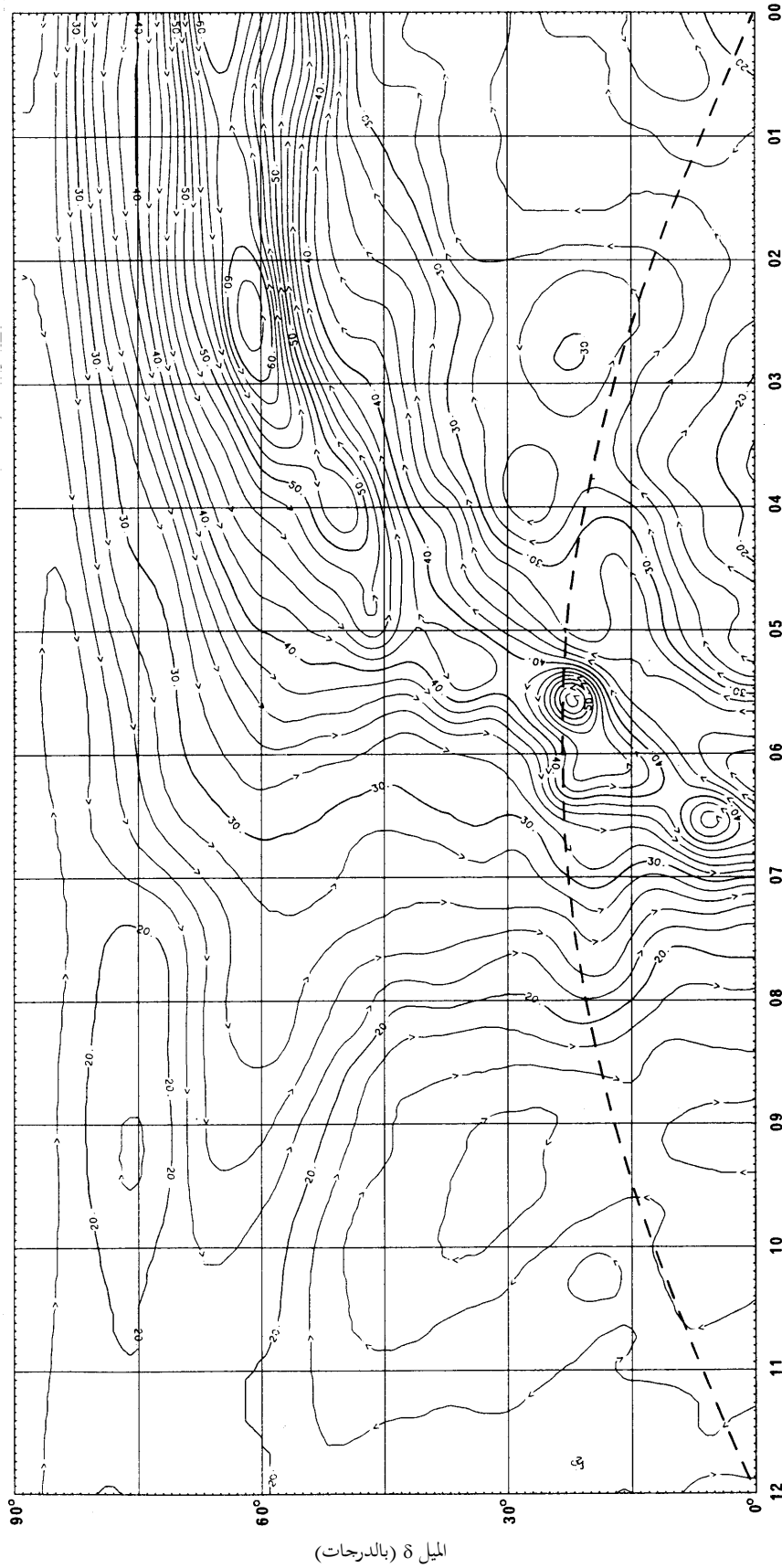
A: شمس هادئة { القطر ~ 0,5°
 B: قمر
 C: مدى الضوضاء المجرية
 D: خلفية كونية

0372-12

وللحصول على استكمال خارجي أدق باستعمال هذه الصيغة، يجدر مراعاة تغيرات الأس على مدى الترددات كله وعبر السماء بأكملها. وفيما يخص المصادر النقطية، يعتمد تغير الكثافة بدلالة التردد على الشروط الفيزيائية المختلفة لهذه المصادر. وفيما يتعلق بالاتصالات الساتلية في المدار المستقر بالنسبة إلى الأرض، لا ينطوي سوى جزء محدود من السماء على أهمية خاصة كما يوضح الشكل 14 أ). ويعطي الشكل 14 ب) المدى المقابل للميلين (±8,7°) ويشير إلى المصادر الراديوية الأكثر كثافة.

الشكل 13 أ

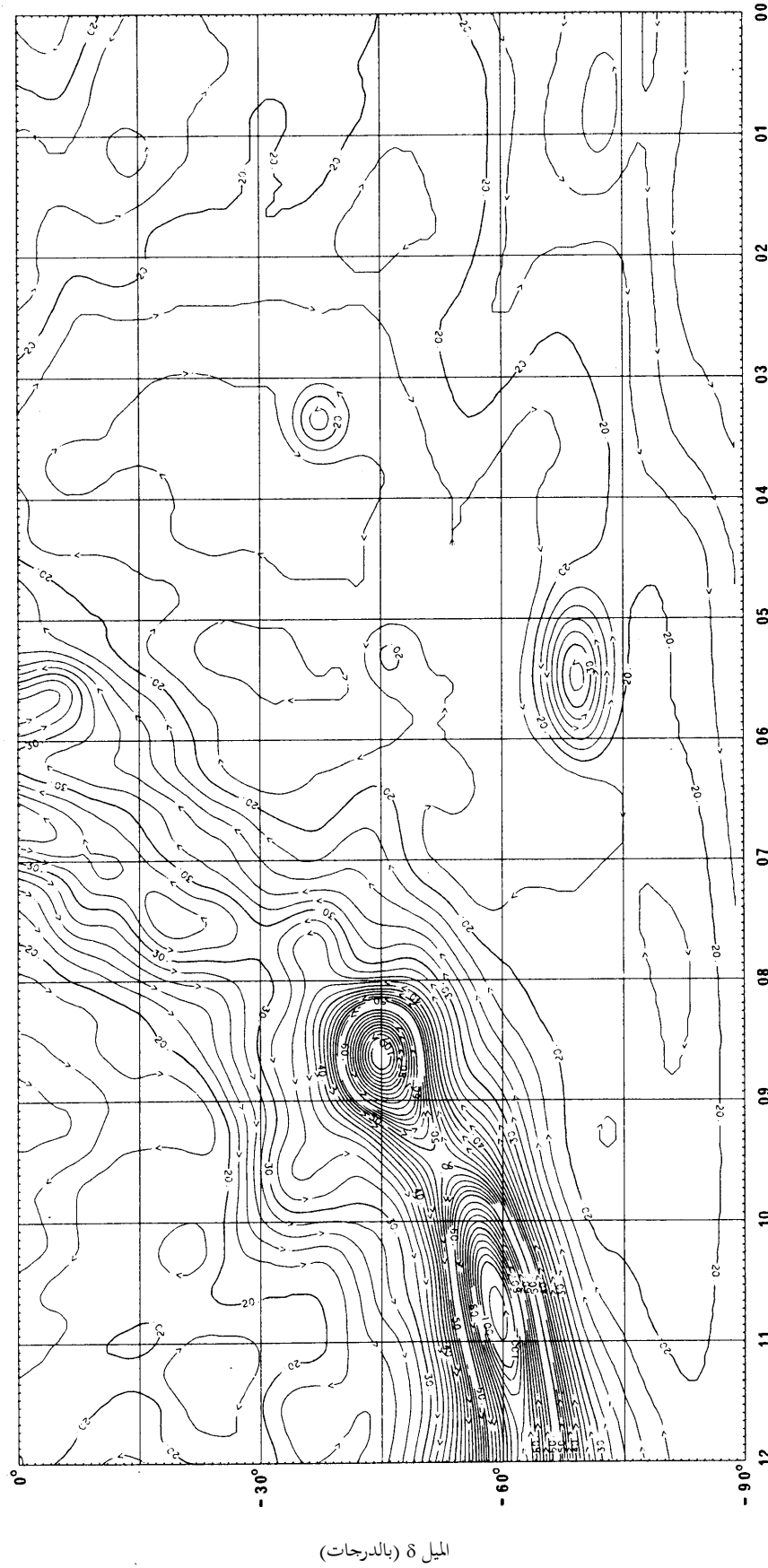
درجة حرارة السماء الراديوية عند 408 MHz



الطلع المستقيم: 1200-h 0000، الميل: 90° إلى 0° والمنحني المشروط إهليلجي
الطلع المستقيم، α (h)
0372-13a

الشكل 13 ب)

درجة حرارة السماء الراديوية عند 408 MHz

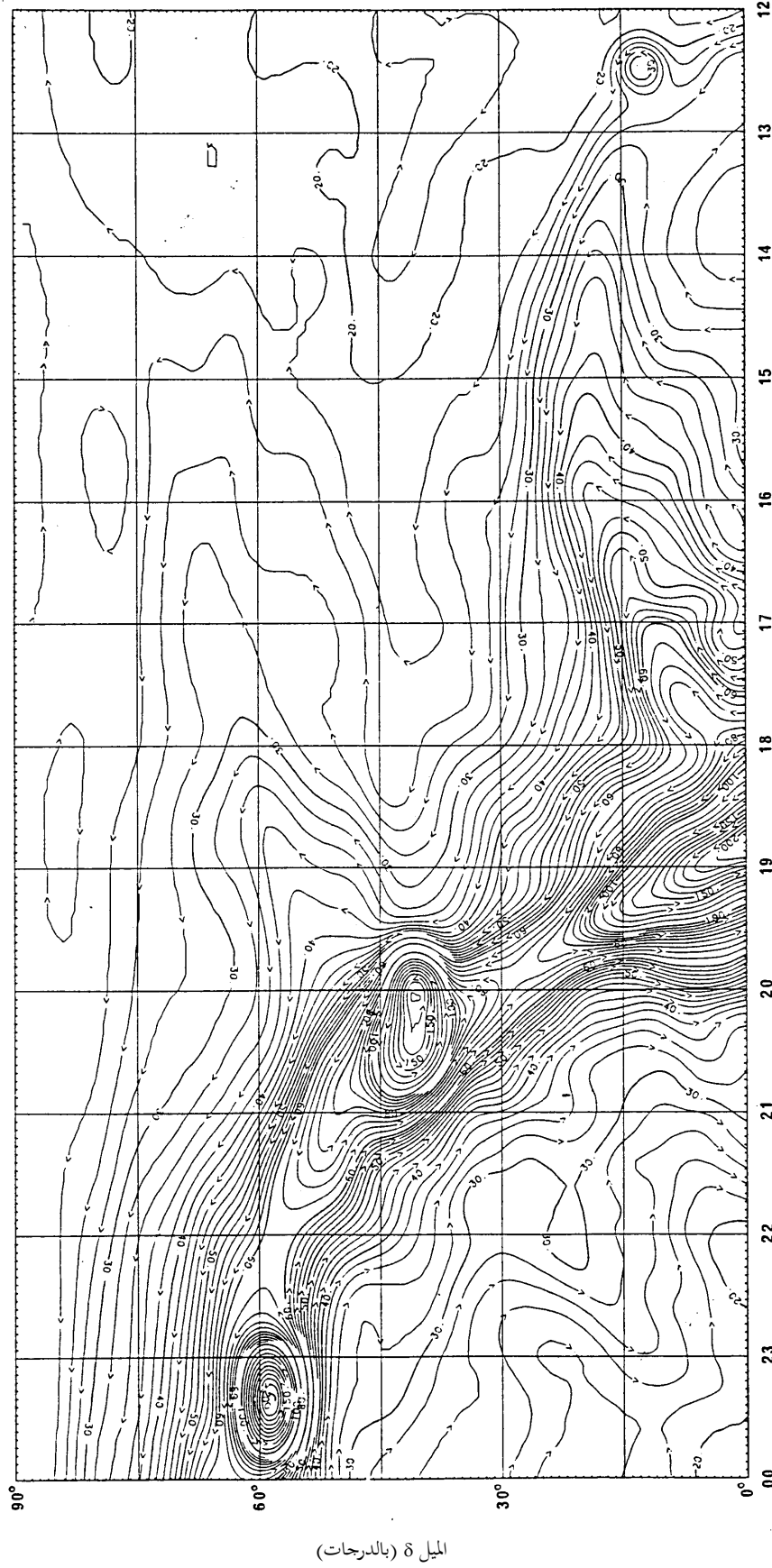


0372-13b

الطالع المستقيم: α المستقيم، (h)
 الطالع المستقيم: 1200-h 0000 الميل: 0° إلى 90°

الشكل 13 ج)

درجة حرارة السماء الراديوية عند 408 MHz



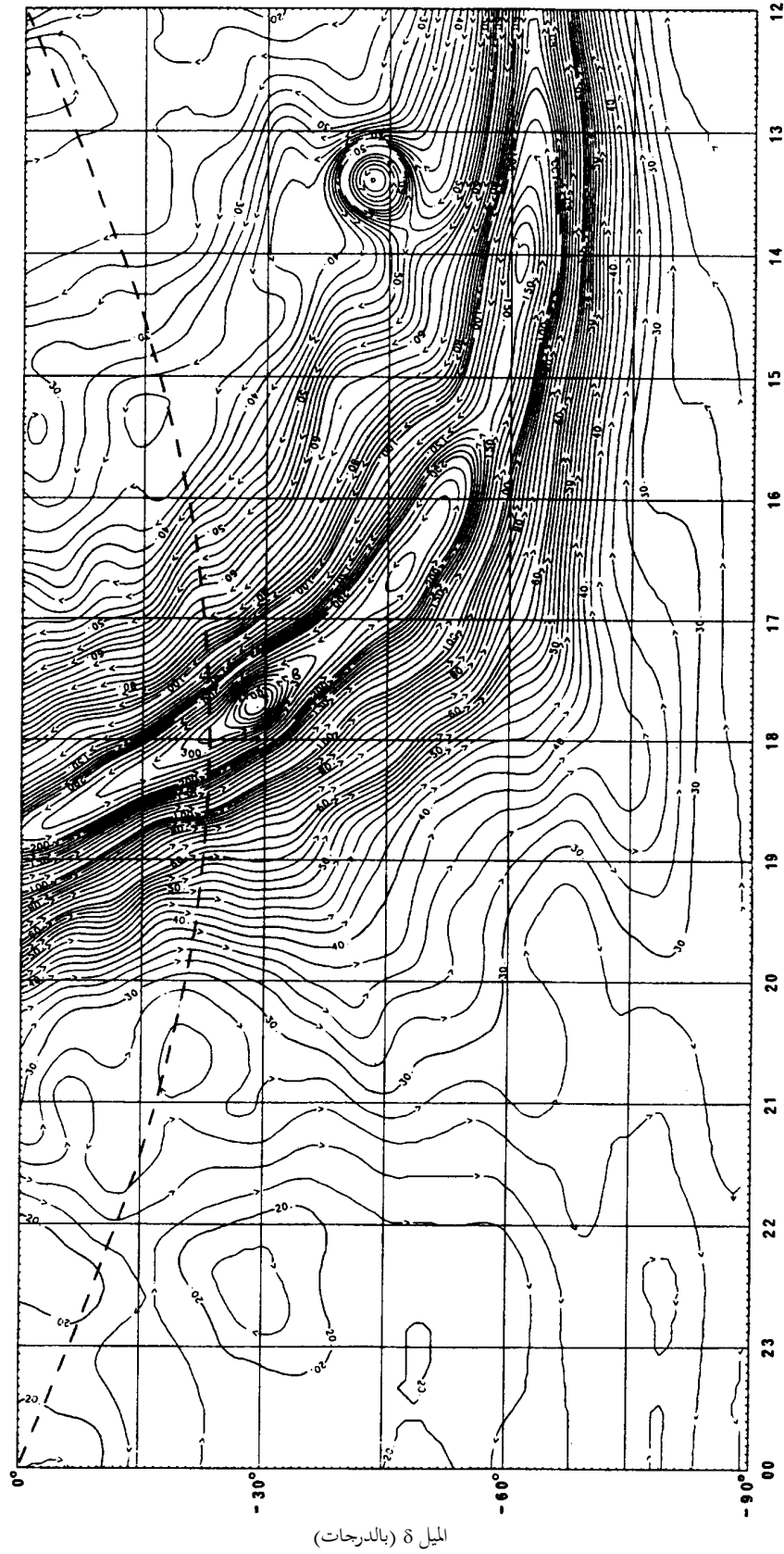
0372-13c

الطالع المستقيم: 1200 h 2400-h الميل: 0° إلى 90°
(h) الطالع المستقيم, α

الميل δ (بالدرجات)

الشكل 13 د)

درجة حرارة السماء الراديوية عند 408 MHz

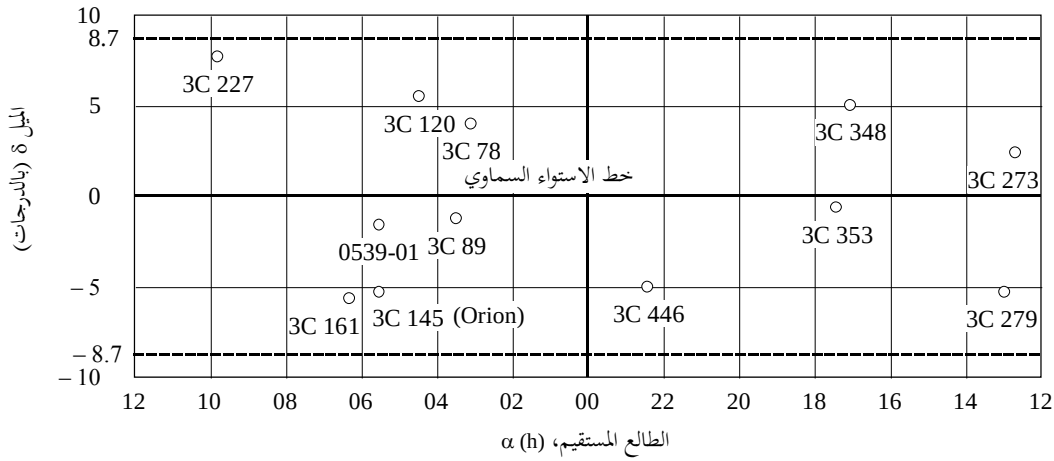
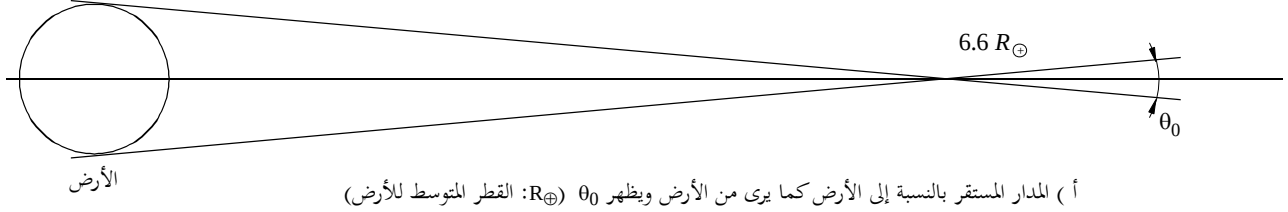


الطالع المستقيم: 2400-h 1200 h الميل: 90° إلى 0° والملحى الشرط إلهيلي

0372-13d

الشكل 14

الجزء من السماء الذي ينطوي على أهمية خاصة بالنسبة إلى الاتصالات الساتلية في المدار المستقر بالنسبة إلى الأرض



ب) موقع المصادر الراديوية الأكثر قدرة (O) من أجل نطاق يبلغ $\pm 8.7^\circ$ في جانبي خط الاستواء السماوي. وتشير الأرقام إلى تعيينات الفهرس مثل 3C التي تشير إلى "third Cambridge".

0372-14

وتشكل الشمس مصدراً قوياً من مصادر الضوضاء المتغيرة؛ وتبلغ درجة حرارة الضوضاء الخاصة بها حوالي 10^6 K عند ترددات بين 50 و 200 MHz و 10^4 K على الأقل عند 10 GHz في فترة النشاط الشمسي الضعيف. وترتفع هذه القيم بشدة في مراحل الاضطرابات الشمسية. وتعد درجة حرارة اللمعان للقمر مستقلة تقريباً عن التردد فوق 1 GHz وهي تتغير من 140 K (حين يكون القمر هلالاً) و 280 K (حين يصبح بديراً). ويكون المسير الشمسي في المستوى الإهليلجي (الخط المتقطع في الشكل 13). ويلاحظ القمر تحت ميل يبلغ $\pm 5^\circ$ بالنسبة إلى المستوى الإهليلجي.

7 الضوضاء الجوية التي تعزى إلى البرق

تعرض الأشكال من 15 أ) إلى 38 أ) خرائط عالمية للضوضاء الراديوية الجوية الأساسية تشير إلى القيم المتوسطة المتوقعة لقدرة الضوضاء المتوسطة F_{am} بوحدة dB فوق $k T_0 b$ عند التردد 1 MHz لكل فصل ولكل فدرة زمنية تبلغ 4 ساعات بالتوقيت المحلي. ويشار إلى تغير F_{am} بدلالة التردد لكل فدرة زمنية فصلية في الأشكال 15 ب) إلى 38 ب). أما التغير بدلالة التردد لمعلومات الضوضاء الأخرى فيرد في الأشكال 15 ج) إلى 38 ج). وقد استعمل فيما يخص تقديرات الضوضاء الجوية هذه هوائي مرجعي وحيد الاستقطاب رأسي قصير وضع على سطح أرضي جيد التوصيل. ويمكن حساب شدة مجال الورد، انظر الفقرة 2.

وسيلاحظ أن قيم الضوضاء الجوية تشير إلى أنها تكون أقل من السويات المتوقعة للضوضاء الاصطناعية وللضوضاء الجوية. ويفترض ألا تستعمل هذه القيم سوى كمجرد لأنها لا تمثل سوى تقديرات لسويات الضوضاء الجوية التي تسجل في حال غياب الأنماط الأخرى من الضوضاء. ومع ذلك يبين فحص المعطيات أن هذه السويات المنخفضة لا تقاس فعلياً إلا في حالات نادرة.

والضوضاء الجوية الناجمة عن البرق غير غوسية في طبيعتها بوجه عام ودالة كثافة احتمالها قد تكون مهمة في تحديد أداء الأنظمة الرقمية. ويشرح توزيع احتمال الاتساع (APD) لهذا النمط من الضوضاء بمعلومية انحراف الفولطية V_d ، وهو النسبة بين جذر مربع التربيع ومتوسط فولطية غلاف الضوضاء.

وترد منحنيات توزيع احتمال الاتساعات (APD) التي تقابل قيم V_d المختلفة في الشكل 39 وتتخذ كمرجع جذر متوسط تربيع فولطية الغلاف A_{rms} . وتتغير قيم V_d المقاسة بالنسبة إلى القيمة المتوسطة المتوقعة V_{dm} ويمثل الرمز σ_{vd} هذا التغير. ويمكن استعمال المنحنيات APD من أجل عروض نطاقات متنوعة جداً. وتخص تقديرات V_d (الأشكال 15 ج) إلى 38 ج) عرض نطاق يبلغ 200 Hz. ويوفر الشكل 40 وسيلة لتحويل قيمة V_d عند 200 Hz إلى قيم V_d المقابلة لعروض نطاق أخرى. ولا ينطبق الشكل 40 سوى على ترددات الموجات الهكثومترية MF والديكامترية HF لذا يتطلب تطبيق هذه النتائج على الترددات الدنيا (أي LF و VLF و ELF) حذراً شديداً.

وتستعمل الأشكال بالطريقة التالية: يمكن الحصول على قيمة F_{am} عند 1 MHz في خرائط الضوضاء (الأشكال 15 أ) إلى 38 أ) بالنسبة للفصل الخاضع للبحث وباستعمال هذه القيمة لتحديد الضوضاء يمكن تحديد قيمة F_{am} للتردد المطلوب من منحنيات الترددات (الأشكال 15 ب) إلى 38 ب). ويمكن الحصول على معلمات التغير σ_{Fam} و D_u و σ_{Du} للتردد المطلوب من الأشكال 15 ج) إلى 38 ج). كما يمكن الحصول على قيمتي D و σ_D لنسب مئوية أخرى من الزمن بافتراض توزيعات شبه لوغاريتمية عادية على جانبي القيم المتوسطة.

8 تركيبة الضوضاء المنبعثة من مصادر عديدة

توجد حالات يلزم فيها مراعاة أكثر من نمط واحد من أنماط الضوضاء وذلك لأن هناك نمطين أو أكثر تتشابه في قيمتها. وهذا صحيح في أي تردد بشكل عام. لكن يمكن غالباً ملاحظة هذه الظاهرة في ترددات الموجات الديكامترية حيث تتشابه قيم الضوضاء الجوية والاصطناعية والمجرية (الشكل 2، 10 MHz، على سبيل المثال).

وعامل الضوضاء لكل مصدر من مصادر الضوضاء المحددة أعلاه، F_a (dB)، يفترض أن له توزيعاً يمثل بتوزيعين شبه عاديين على جانبي القيمة المتوسطة، F_{am} . وللجانِب الأدنى من التوزيع الشبه عادي انحراف معياري $\sigma_l (= D_l/1,282)$ تحت القيمة المتوسطة والانحراف المعياري للجانِب الأعلى من التوزيع $\sigma_u (= D_u/1,282)$ فوق القيمة المتوسطة. ولقيم عامل الضوضاء المقابلة f_a (W) توزيعات لوغاريتمية عادية على جانبي القيمة المتوسطة.

ويمكن الحصول على القيمة المتوسطة، F_{amT} ، والانحراف المعياري، σ_T ، لعامل الضوضاء لمجموع عمليتين أو أكثر من عمليات الضوضاء من المعادلتين:

$$(14) \quad \text{dB } F_{amT} = c \left[\ln(\alpha_T) - \frac{\sigma_T^2}{2c^2} \right]$$

$$(15) \quad \text{dB } \sigma_T = c \sqrt{\ln \left(1 + \frac{\beta_T}{\alpha_T^2} \right)}$$

حيث:

$$(16) \quad c = 10/\ln(10) = 4,343$$

$$(17) \quad \alpha_T = \sum_{i=1}^n \alpha_i = \sum_{i=1}^n \exp \left[\frac{F_{ami}}{c} + \frac{\sigma_i^2}{2c^2} \right] \quad W$$

$$(18) \quad \beta_T = \sum_{i=1}^n \alpha_i^2 \left[\exp \left(\frac{\sigma_i^2}{c^2} \right) - 1 \right] \quad W^2$$

حيث σ_i و F_{ami} هما القيمة المتوسطة والانحراف المعياري لعامل الضوضاء لكل مكون من مكونات مصادر الضوضاء. وبالنسبة للضوضاء الجوية، تستخرج هذه القيم من الأشكال 15 إلى 38. وبالنسبة للضوضاء الاصطناعية فإنها تستخرج من الشكل 10 والجدول 2. فيما يتحصل على F_{am} للضوضاء المجرية من المعادلة (12) والانحراف σ_i يضبط على القيمة 1,56 dB (= 2/1,282).

ويتحصل على الانحراف العشري الأعلى، D_{uT} ، لعامل الضوضاء لمجموع عمليتين أو أكثر من عمليات الضوضاء بالمعادلة:

$$(19) \quad D_{uT} = 1,282 \sigma_T \quad \text{dB}$$

حيث يحسب σ_T باستعمال الانحرافات العشرية الأعلى لمكونات الضوضاء الخاصة بحساب σ_i (= $D_u/1,282$) في المعادلتين (17) و(18).

ويتحصل على الانحراف العشري الأدنى، D_{IT} ، لعامل الضوضاء لمجموع عمليتين أو أكثر من عمليات الضوضاء من المعادلة:

$$(20) \quad D_{IT} = 1,282 \sigma_T \quad \text{dB}$$

حيث تحسب σ_T باستعمال الانحرافات العشرية الدنيا لمكونات الضوضاء الخاصة بحساب σ_i (= $D_I/1,282$) في المعادلتين (17) و(18).

وعندما يتجاوز الانحراف العشري الأعلى لعامل الضوضاء لمكونة ضوضاء واحدة على الأقل 12 dB، فإن σ_T المحسوبة بالمعادلات (15) إلى (18) باستعمال الانحرافات العشرية الأعلى لمكونات الضوضاء، ينبغي لها أن تتقيد بقيمة قصوى قدرها:

$$(21) \quad \sigma_T = c \sqrt{2 \ln \left(\frac{\alpha_T}{\gamma_T} \right)} \quad \text{dB}$$

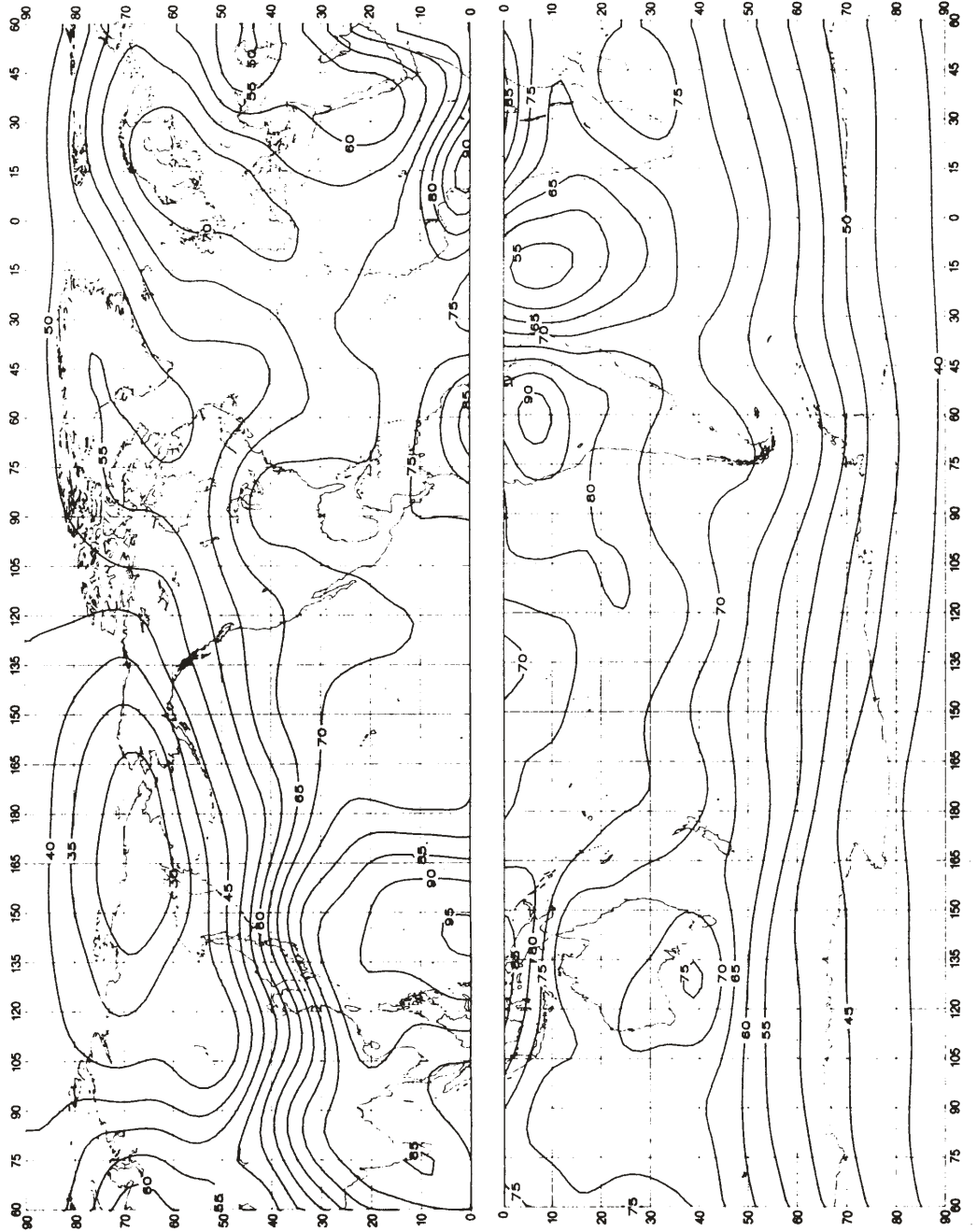
حيث γ_T هو عامل الضوضاء لمجموع أسّي بسيط للقيم المتوسطة الإفرادية لعامل الضوضاء:

$$(22) \quad \gamma_T = \sum_{i=1}^n \exp \left(\frac{F_{ami}}{c} \right) \quad W$$

وبالمثل، عندما يتجاوز الانحراف العشري الأدنى لعامل الضوضاء لمكونة ضوضاء واحدة على الأقل 12 dB، فإن σ_T المحسوبة بالمعادلات (15) إلى (18) باستعمال الانحرافات العشرية الدنيا لمكونات الضوضاء، ينبغي لها أن تتقيد بالقيمة القصوى المعطاة في المعادلة (21).

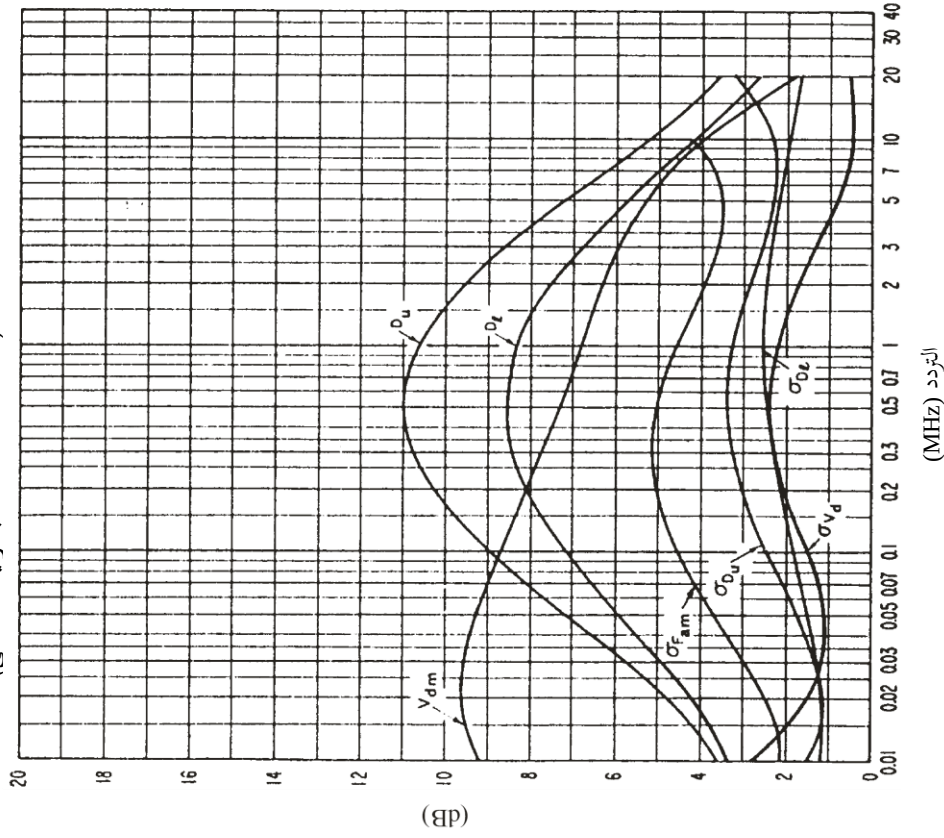
الشكل 15 أ)

القيم المتوقعة للضوضاء الجوية الراديوية، F_{am} (بوحدة dB أعلى من kT_0b عند 1 MHz) (الشتاء: 0400-0000 بالتوقيت المحلي)



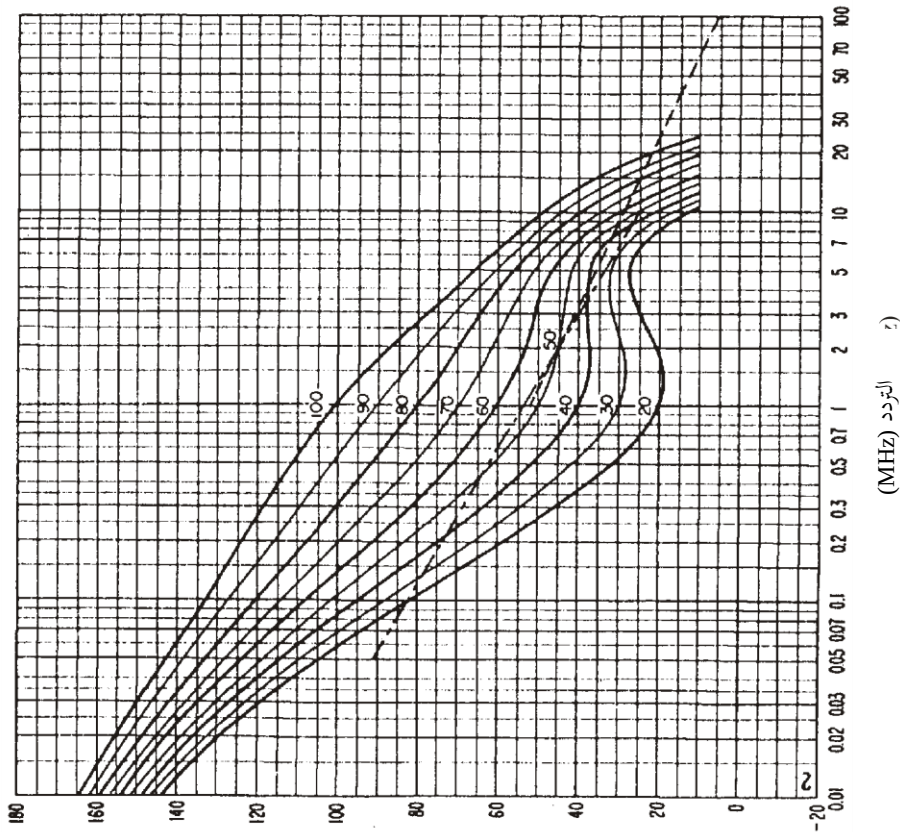
P.0372-15a

الشكل 15 ج) معطيات بشأن متغيرات الضوضاء وسماتها
(الشتاء: 0400-0000 بالتوقيت المحلي)



الانحراف النموذجي لقيم F_{am} : σ_{Fam}
نسبة العشر الأعلى إلى قيمة F_{am} المتوسطة : D_u
الانحراف النموذجي لقيم D_U : σ_{Du}
نسبة قيمة F_{am} المتوسطة إلى العشر الأدنى : D_l
الانحراف النموذجي لقيم D_l : σ_{Dl}
القيمة المتوقعة للانحراف المتوسط للتوتر الوسطي
(القيم الخاصة بعرض نطاق يبلغ 200 Hz)
الانحراف النموذجي لقيم V_d : σ_{vd}

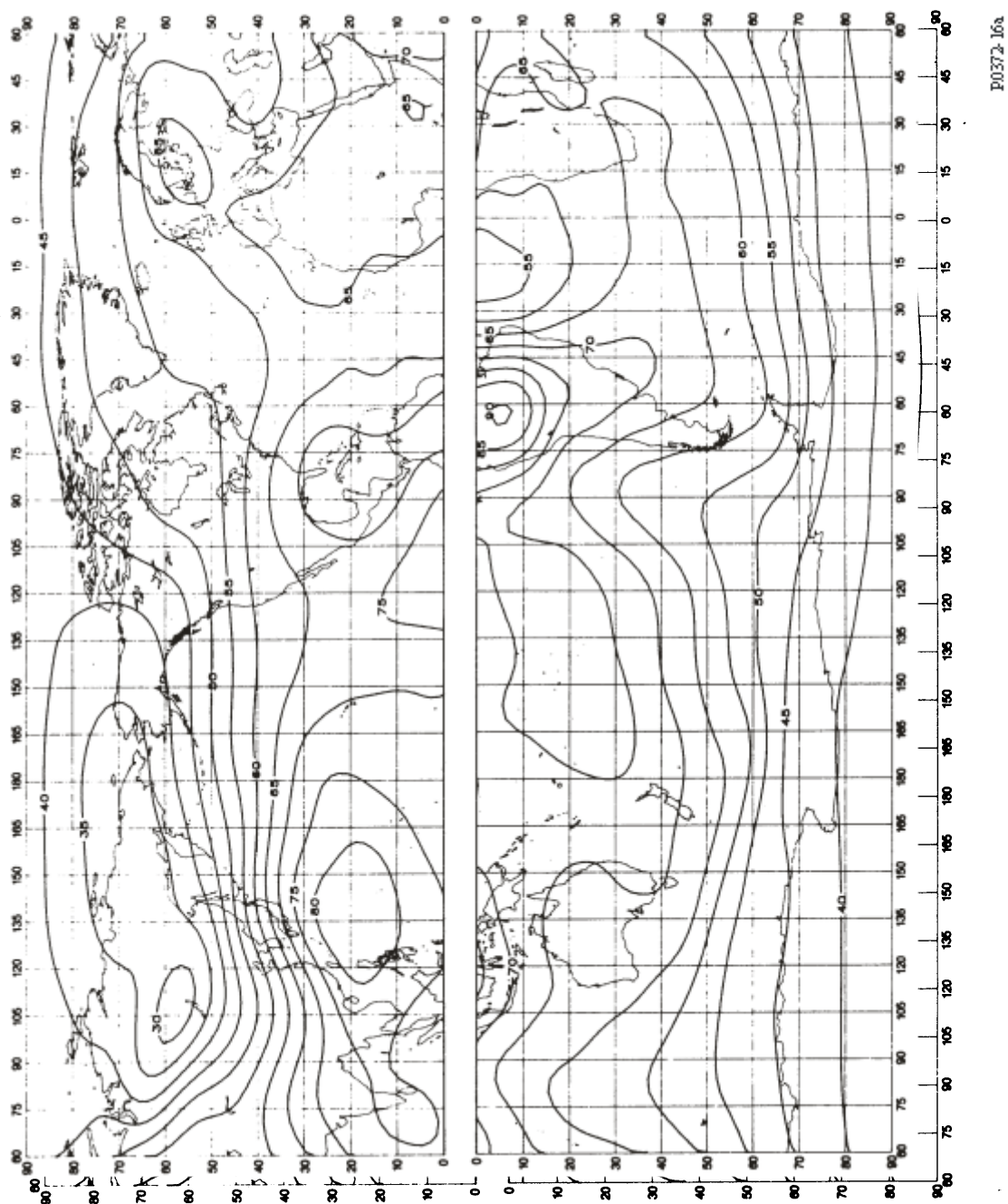
الشكل 15 ب) تغير الضوضاء الراديوية بدلالة التردد
(الشتاء: 0400-0000 بالتوقيت المحلي)



القيم المتوقعة للضوضاء الجوية
القيم المتوقعة الاصطناعية في موقع استقبال هادئ
القيم المتوقعة للضوضاء الجوية

(الشكل 16 أ)

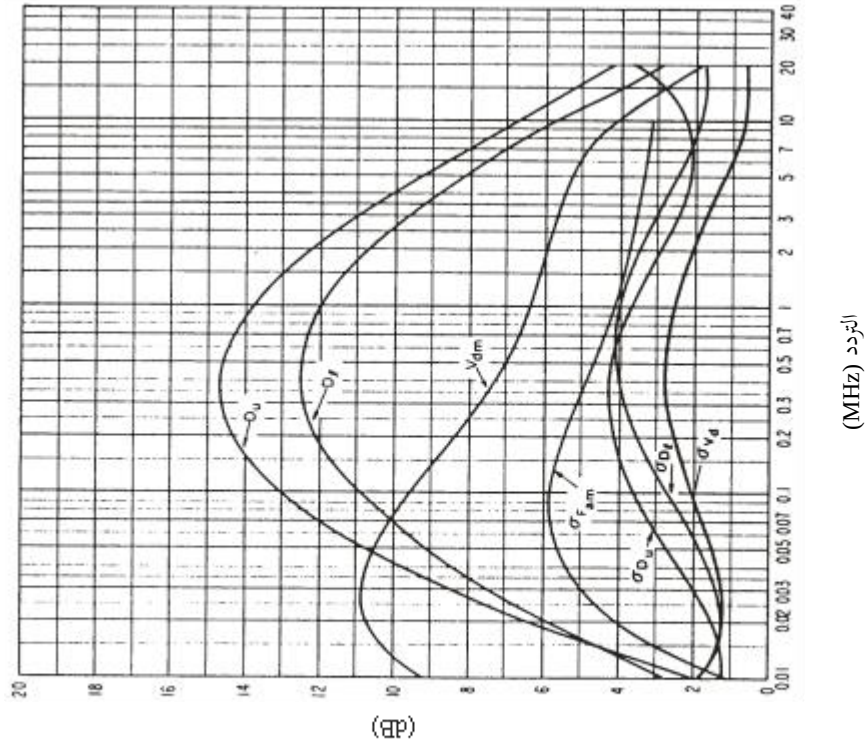
القيم المتوقعة للضوضاء الجوية الراديوية، F_{am} (بوحدة dB أعلى من kT_0b عند 1 MHz) (الشتاء: 0800-0400 بالتوقيت المحلي)



P0372-16a

0372-16a

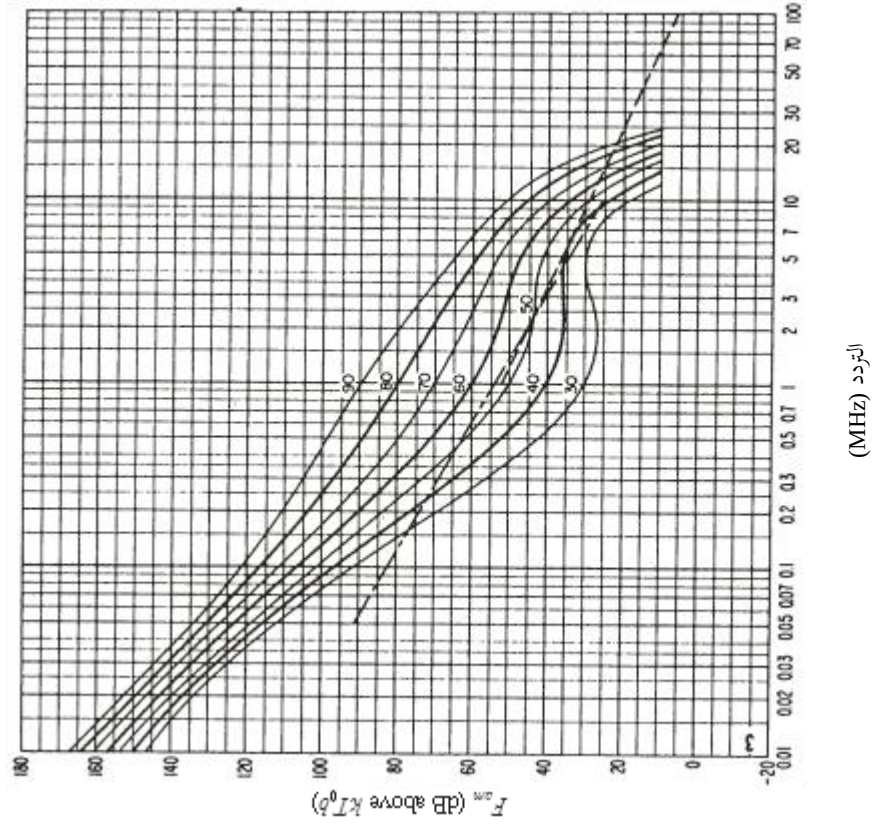
الشكل 16 ج) معطيات بشأن متغيرات الضوضاء وسماتها
(الشتاء: 0800-0400 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ج)

P.0372-106

الشكل 16 ب) تغير الضوضاء الجوية بدلالة التردد
(الشتاء: 0800-0400 بالتوقيت المحلي)



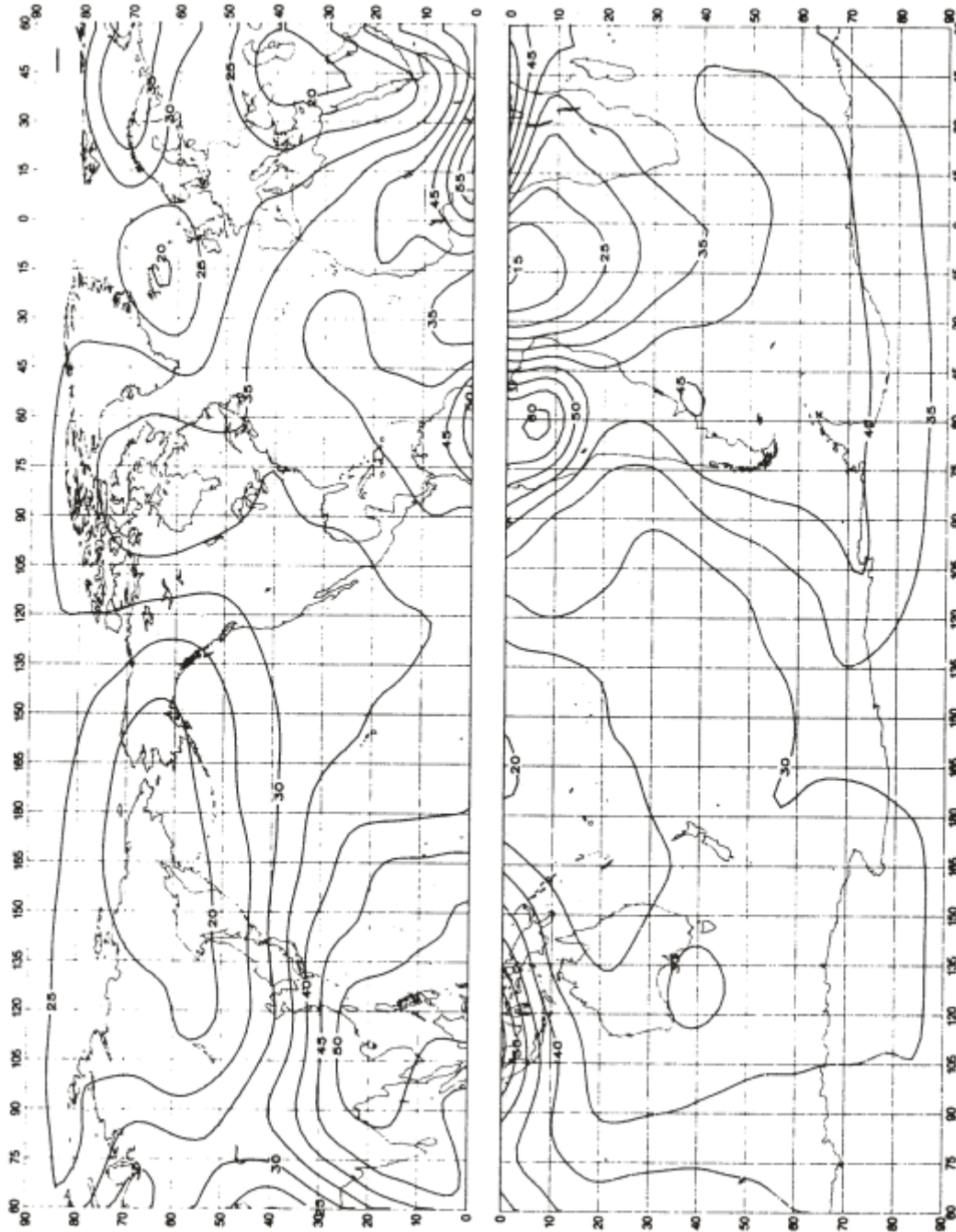
انظر شرح الشكل 15 ب)

التردد (MHz)

التردد (MHz)

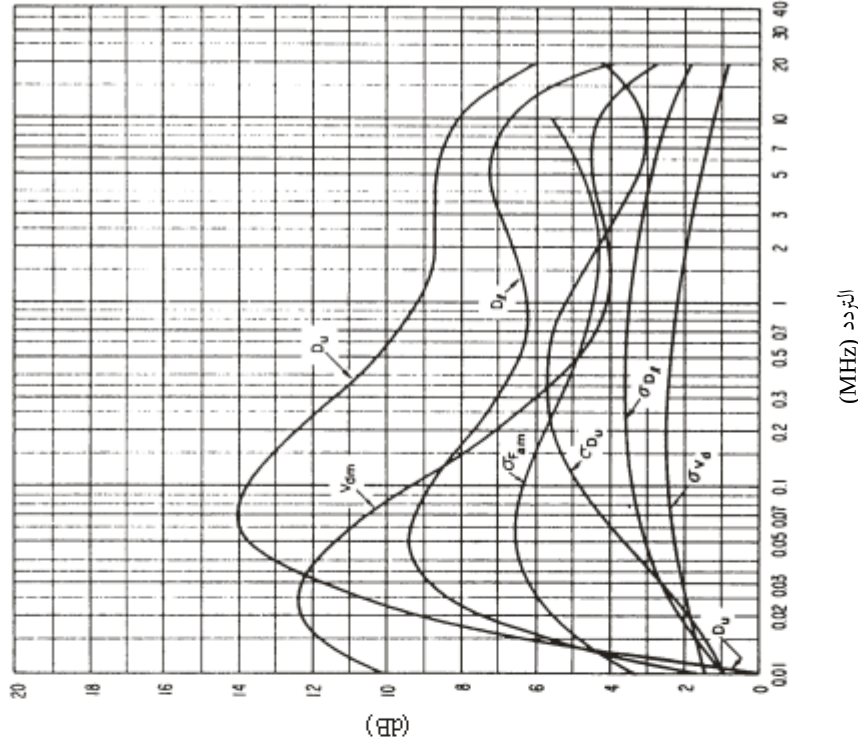
(الشكل 17 أ)

القيم المتوقعة للضوضاء الجوية الراديوية، F_{am} (بوحدة dB أعلى من kT_0b عند 1 MHz) (الشتاء: 1200-0800 بالتوقيت المحلي)



P0372-17a

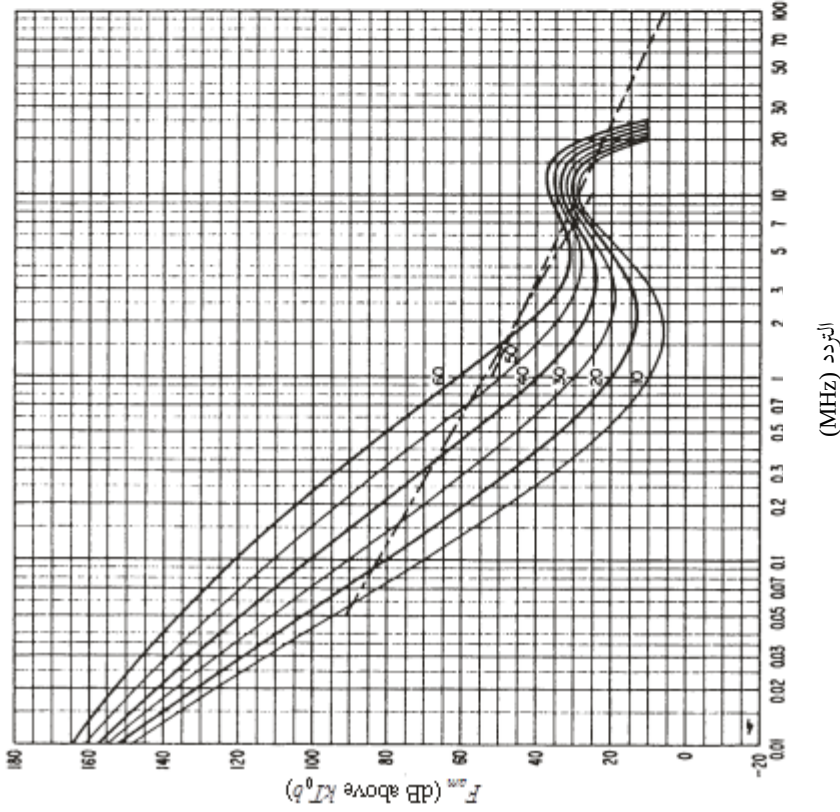
الشكل 17 ج) معطيات بشأن متغيرات الضوضاء وسماتها
(الشتاء: 1200-0800 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ج)

P0372-17b

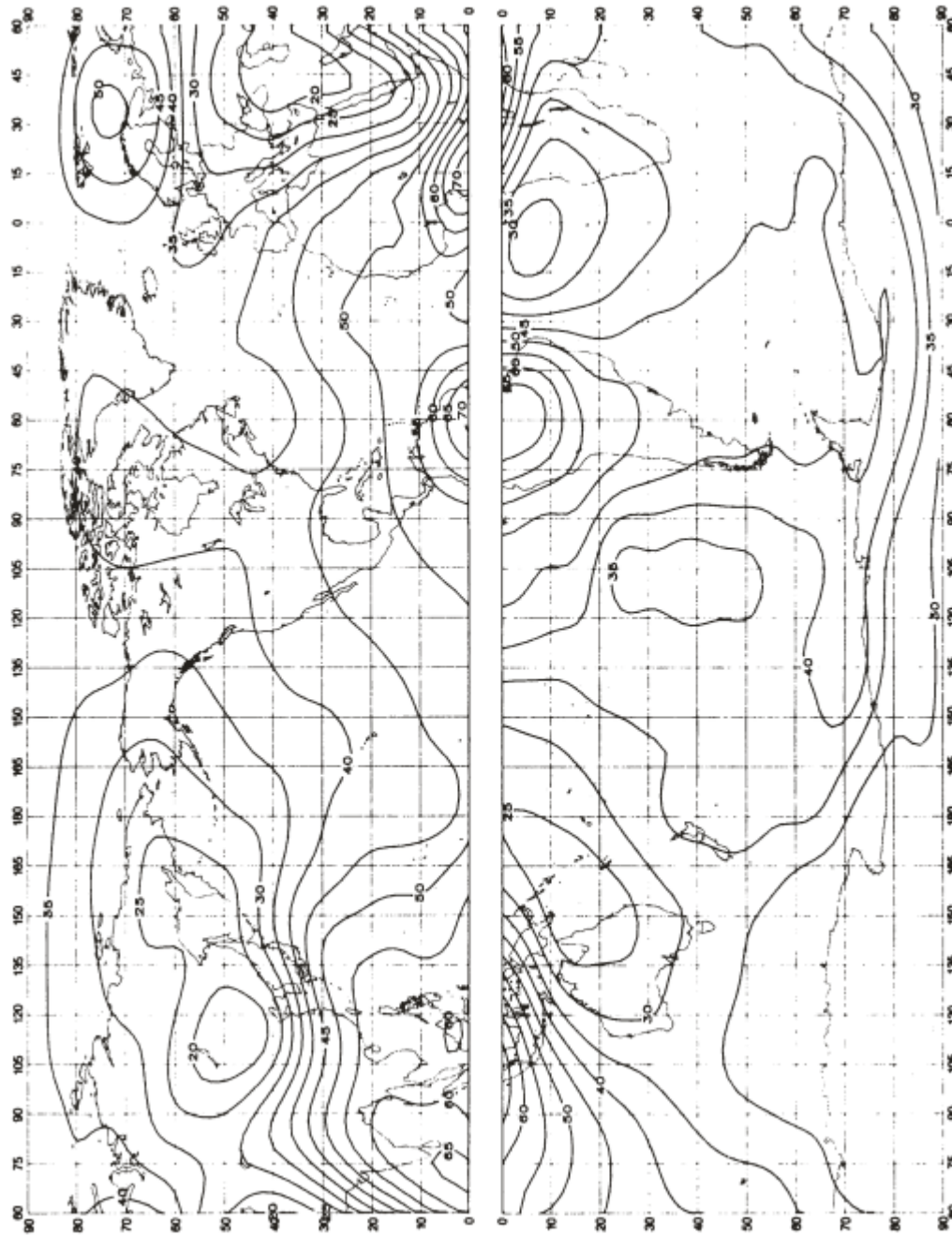
الشكل 17 ب) تغير الضوضاء الراديوية بدلالة التردد
(الشتاء: 1200-0800 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ب)

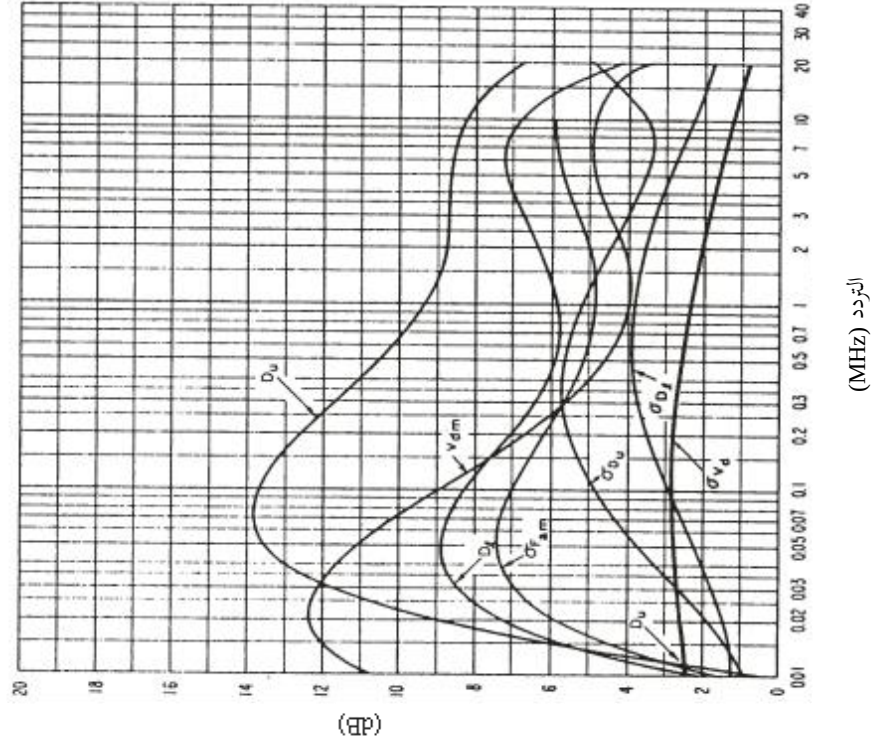
الشكل 18 أ)

القيم المتوقعة للضوضاء الجوية الراديوية، F_{am} (بوحدة dB أعلى من kT_0b عند 1 MHz) (الشتاء: 1200-1600 بالتوقيت المحلي)



P.0372-18a

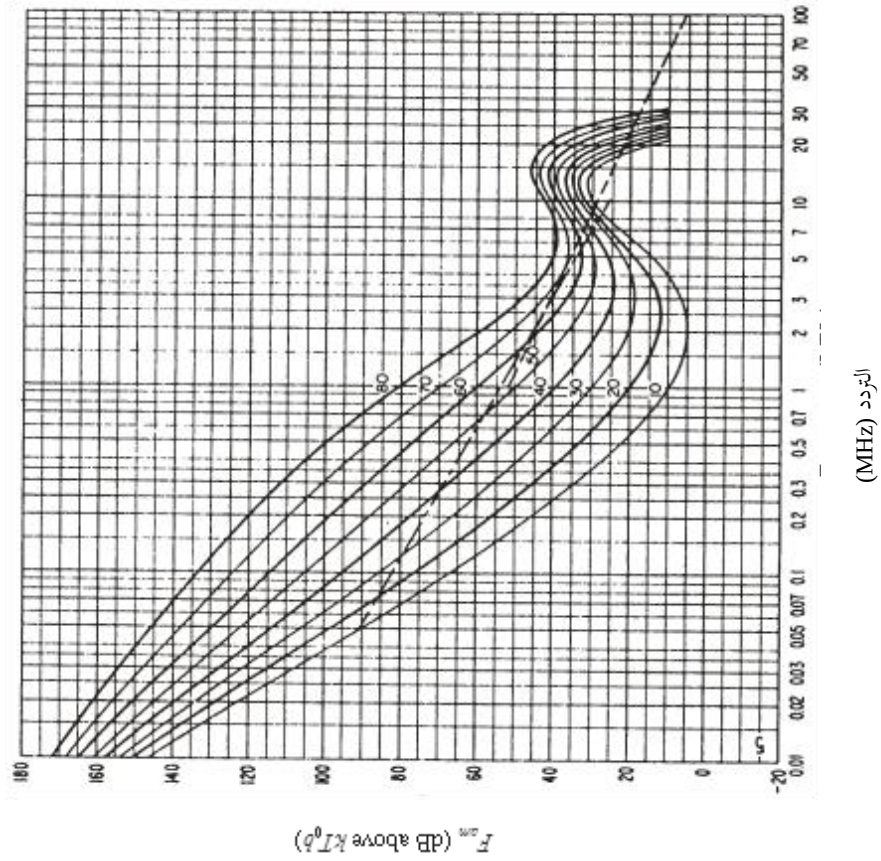
الشكل 18 ج) معطيات بشأن منغبرات الضوء وسماتها (البناء: 1600-1200 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ج)

P.0372-18b

الشكل 18 ب) تغير الضوء الراديوية بدلالة التردد (البناء: 1600-1200 بالتوقيت المحلي)

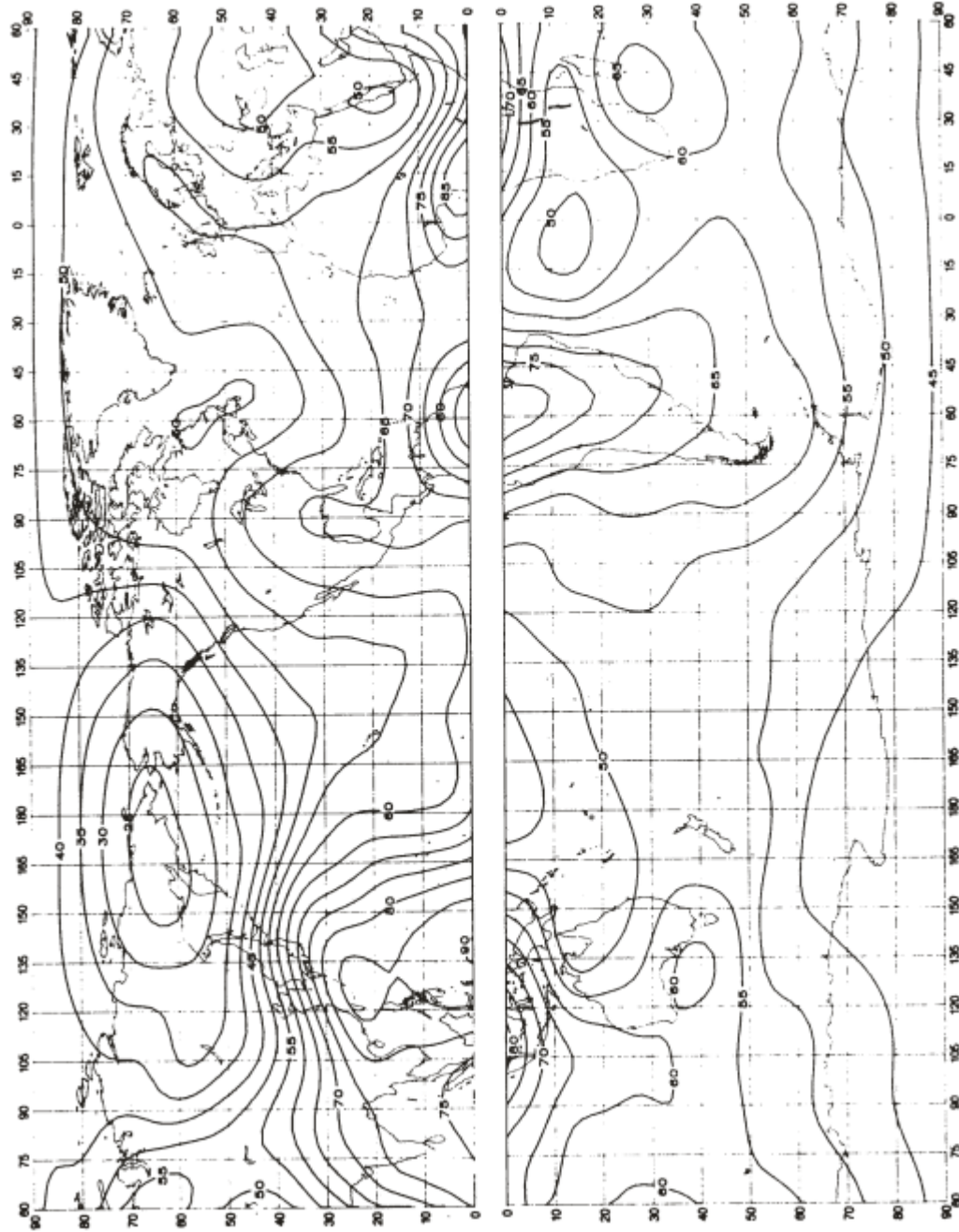


انظر شرح الشكل 15 ب)

التردد (MHz)

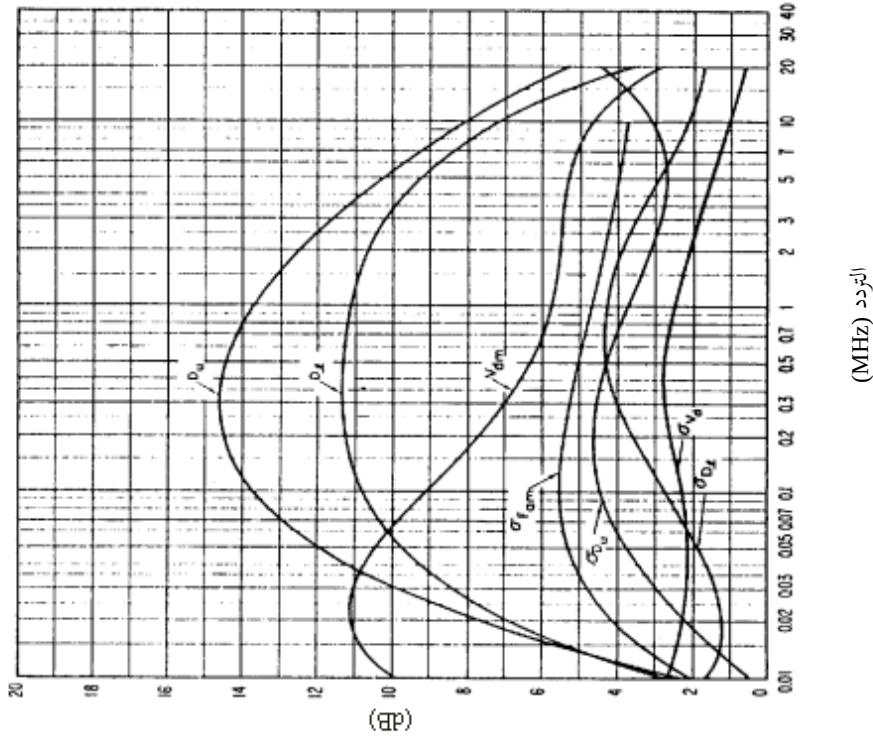
(الشكل 19 أ)

القيم المتوقعة للضوضاء الجوية الراديوية، F_{am} (بوحدة dB أعلى من kT_0b عند 1 MHz) (الشتاء: 2000-1600 بالتوقيت المحلي)



P.0372-10a

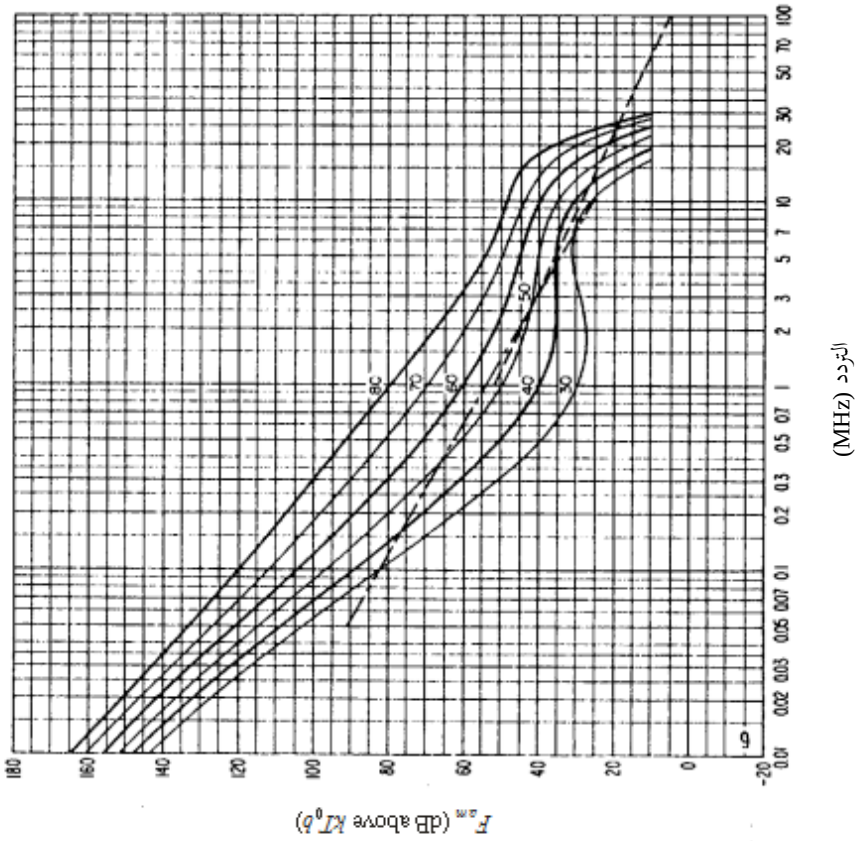
الشكل 19 ج) معطيات بشأن متغيرات الضوضاء وسماتها (الشتاء: 2000-1600 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ج)

P.0372-19b

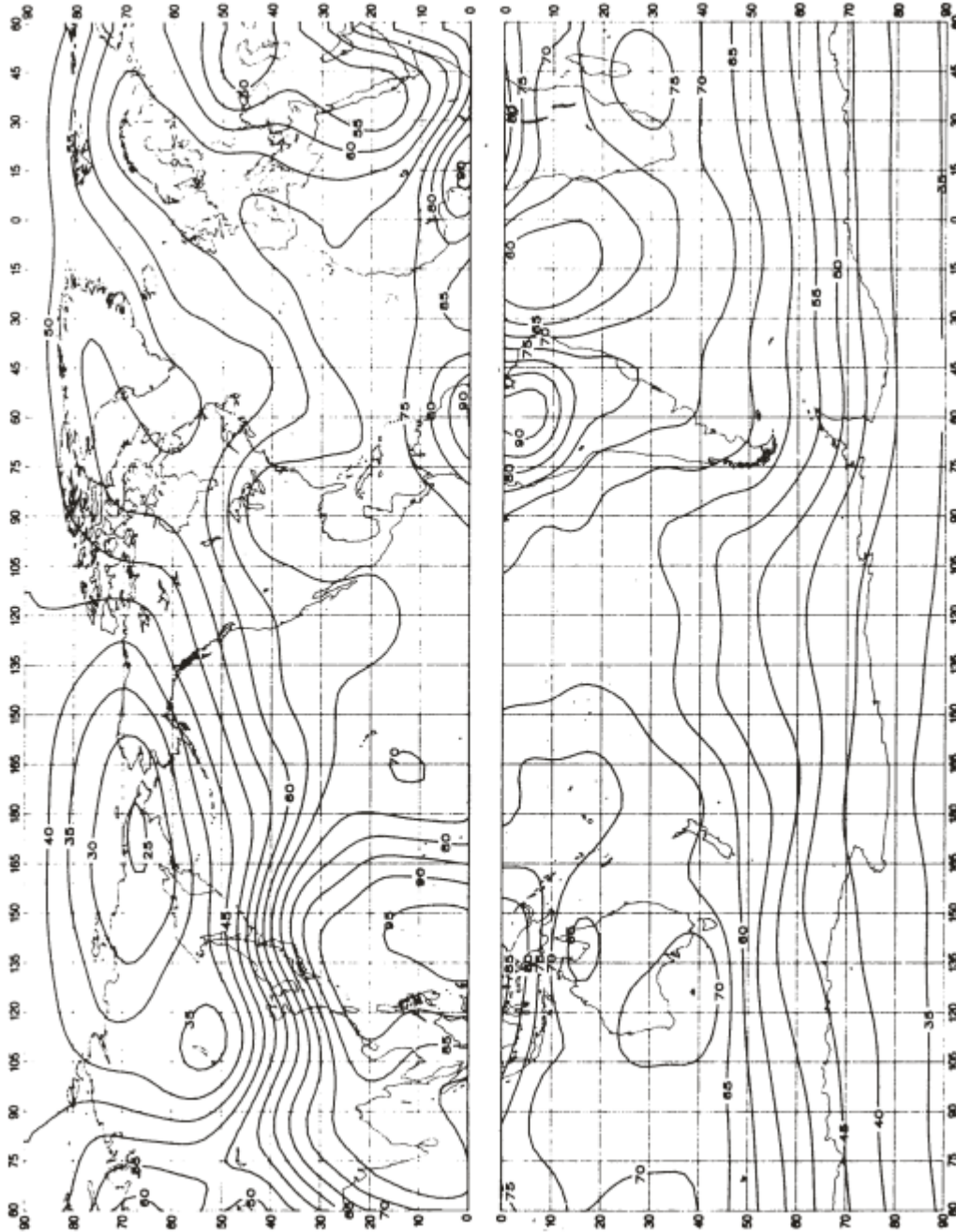
الشكل 19 ب) تغير الضوضاء الراديوية بدلالة التردد (الشتاء: 2000-1600 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ب)

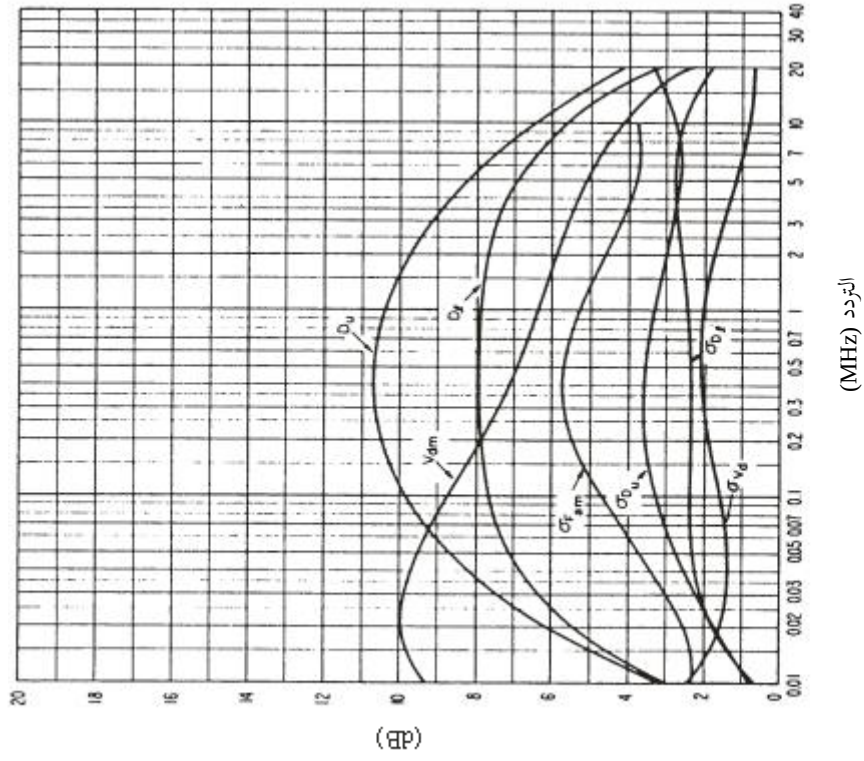
(الشكل 20 أ)

القيم المتوقعة للضوضاء الجوية الراديوية، F_{am} (بوحدة dB أعلى من kT_0b عند 1 MHz) (الشتاء: 2000-2400 بالتوقيت المحلي)



P0372-20a

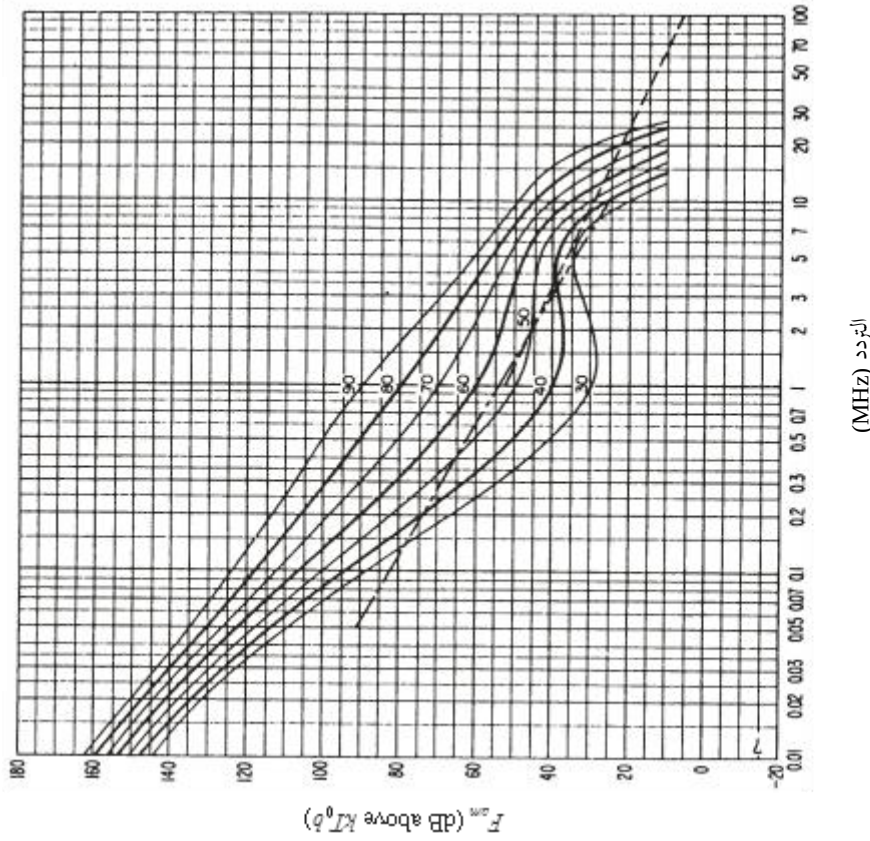
الشكل 20 ج) معطيات بشأن متغيرات الضوضاء وسماتها (الشاء: 2400-2000 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ج)

E0372-20b

الشكل 20 ب) تغير الضوضاء الراديوية بدلالة التردد (الشاء: 2400-2000 بالتوقيت المحلي)



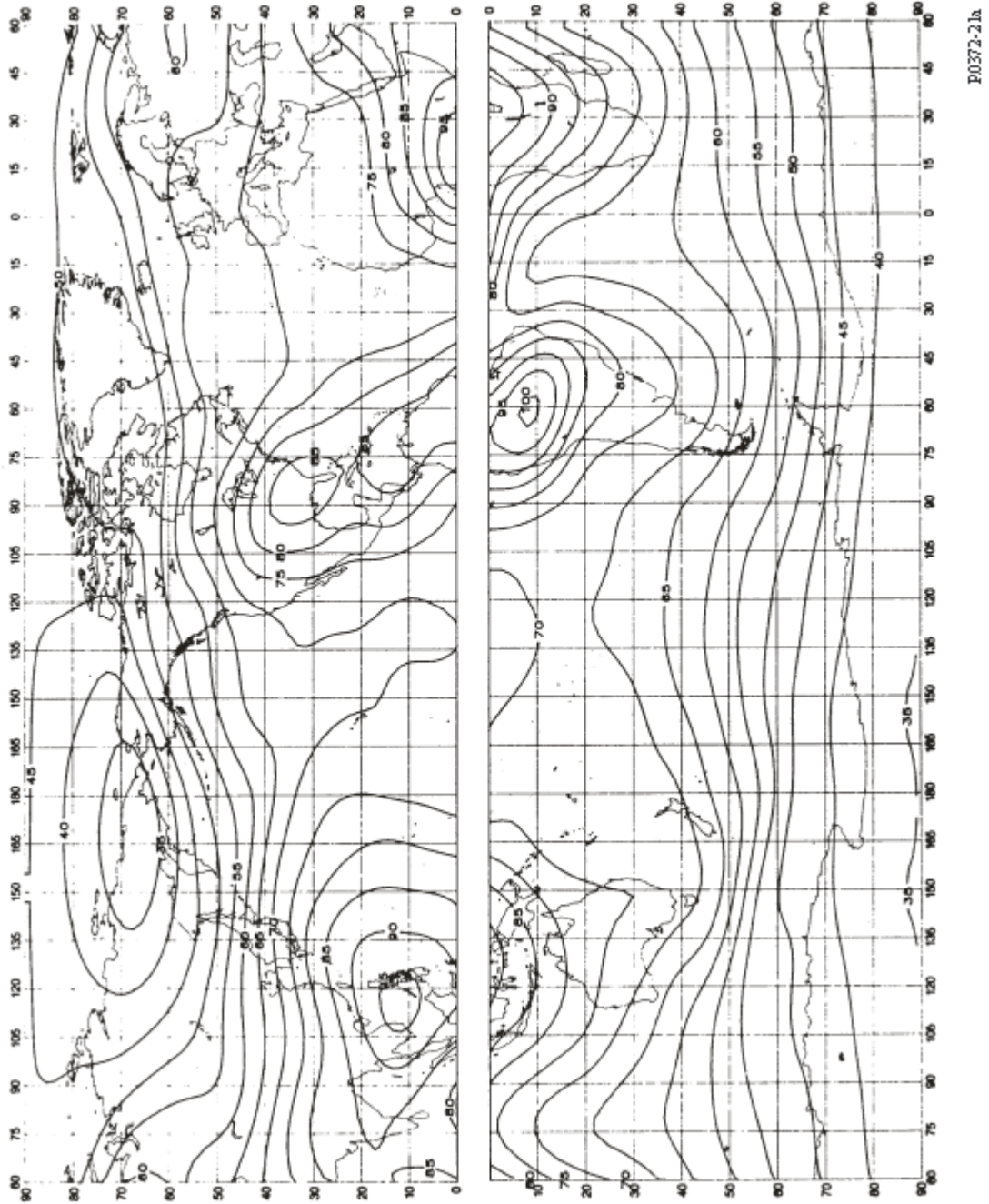
انظر شرح الشكل 15 ب)

التردد (MHz)

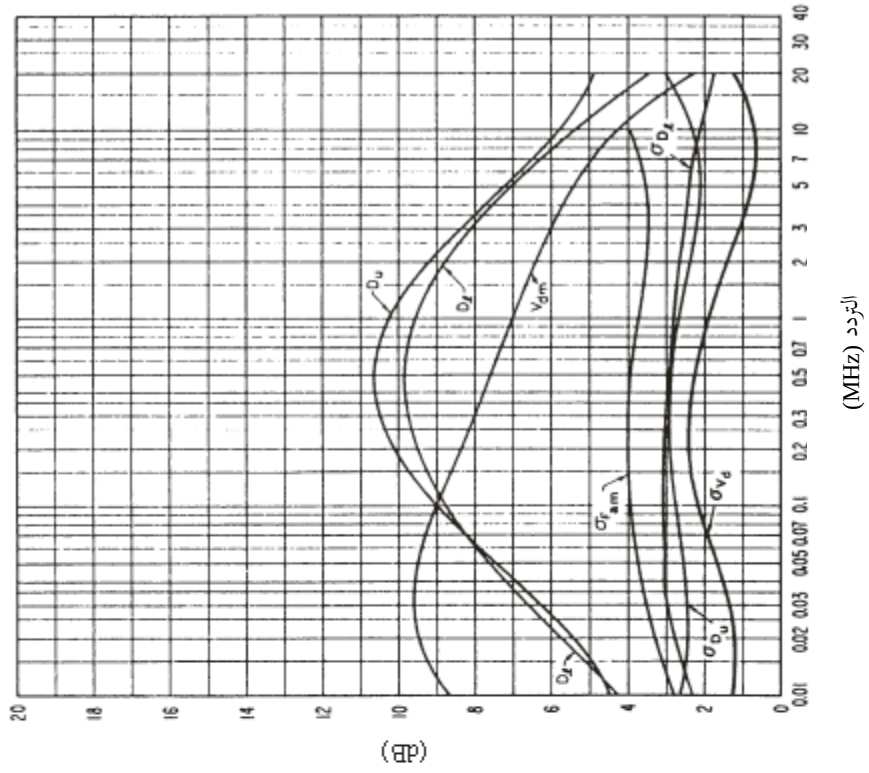
التردد (MHz)

(الشكل 21 أ)

القيم المتوقعة للضوضاء الجوية الراديوية، F_{am} (بوحدة dB أعلى من kT_0b عند 1 MHz) (الربيع: 0400-0000 بالتوقيت المحلي)



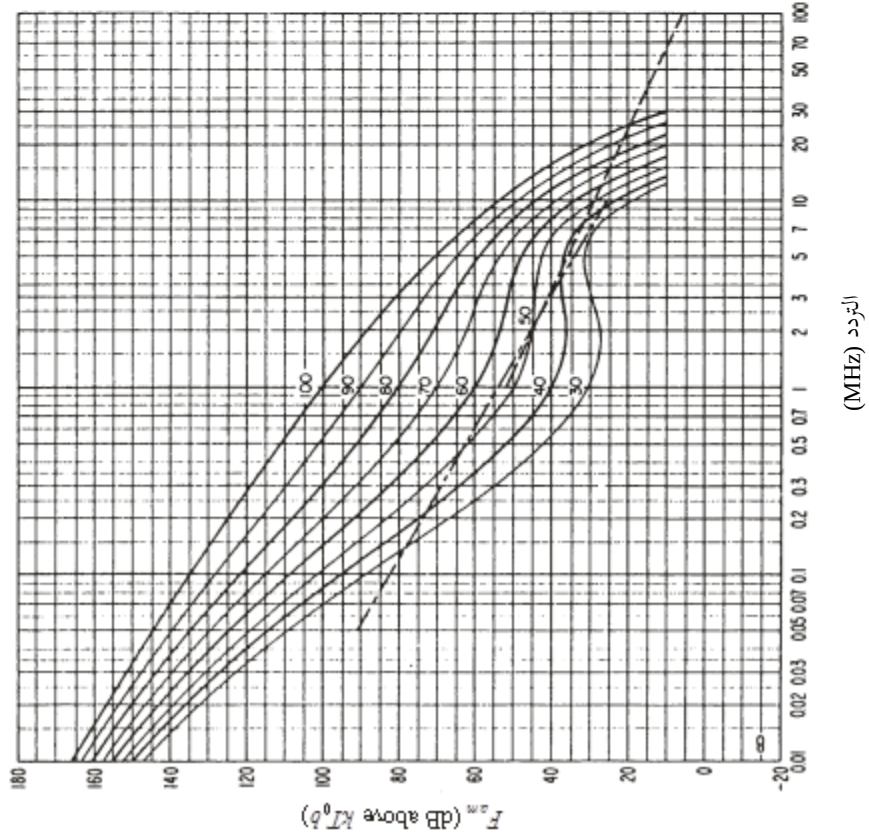
الشكل 21 ج) معطيات بشأن متغيرات الضوضاء وسماتها (الربيع: 0400-0000 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ج)

P0372-21b

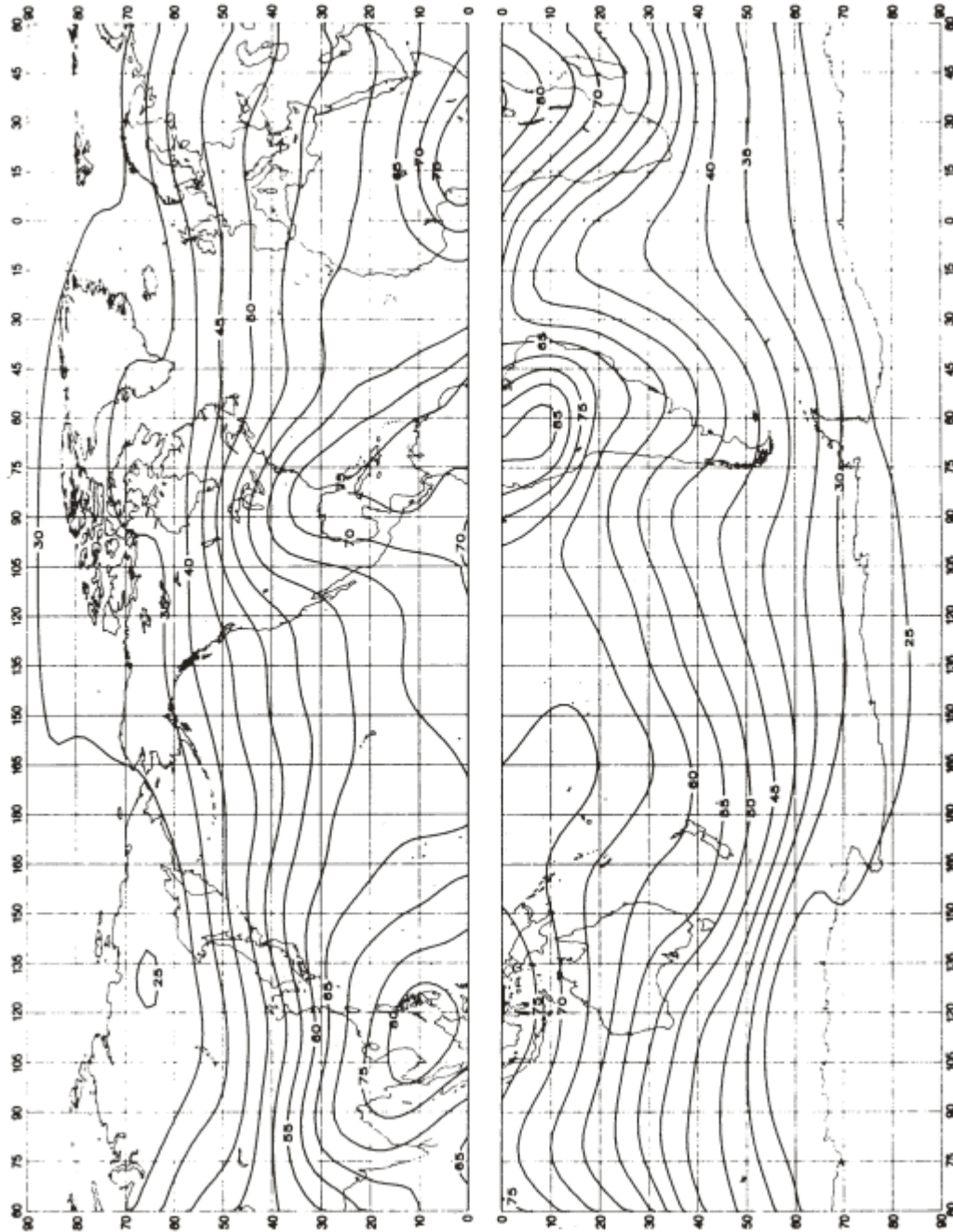
الشكل 21 ب) تغير الضوضاء الراديوية بدلالة التردد (الربيع: 0400-0000 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ب)

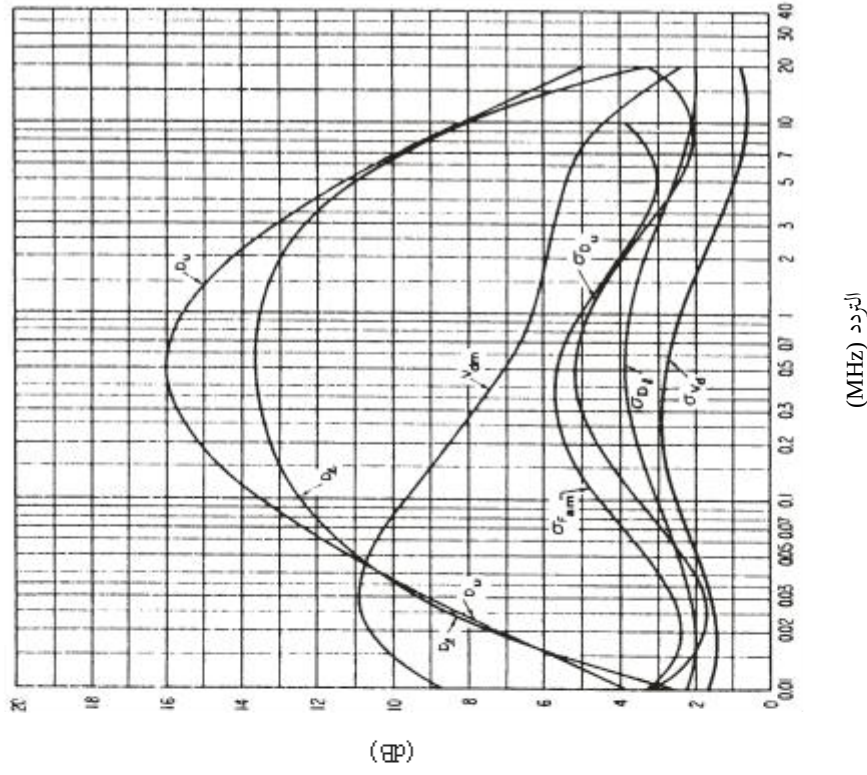
(الشكل 22 أ)

القيم المتوقعة للضوضاء الجوية الراديوية، F_{am} (بوحدة dB أعلى من kT_0b عند 1 MHz) (الربيع: 0800-0400 بالتوقيت المحلي)



P0372-2.2a

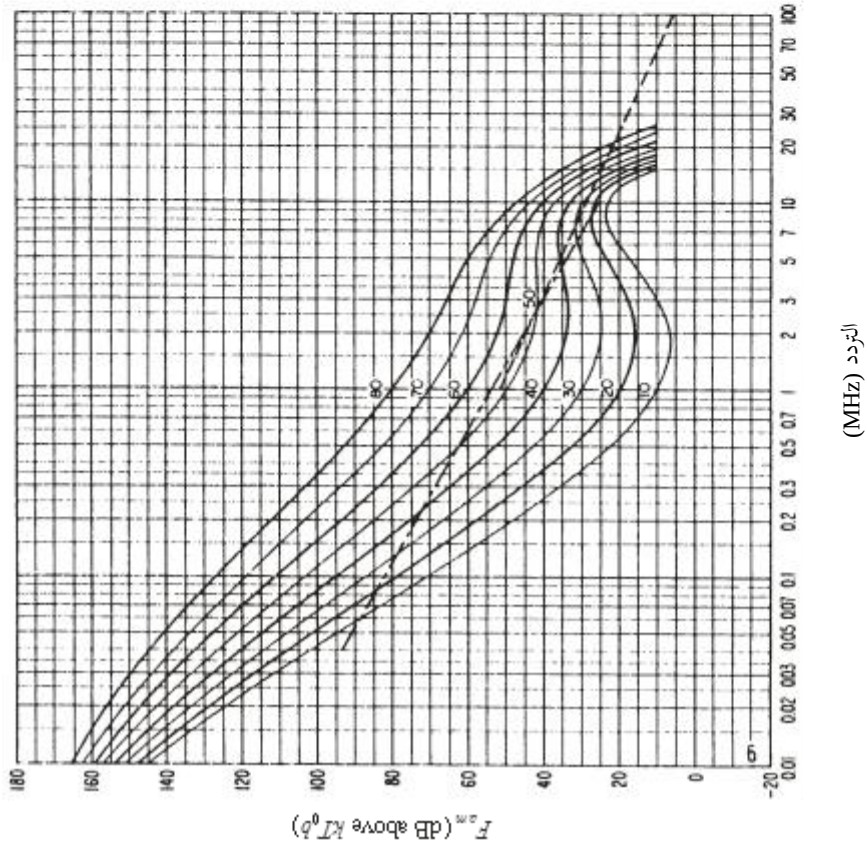
الشكل 22 ج) معطيات بشأن متغيرات الضوضاء وسماتها (الربيع: 0800-0400 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ج)

P0372-22b

الشكل 22 ب) تغير الضوضاء الراديوية بدلالة التردد (الربيع: 0800-0400 بالتوقيت المحلي)



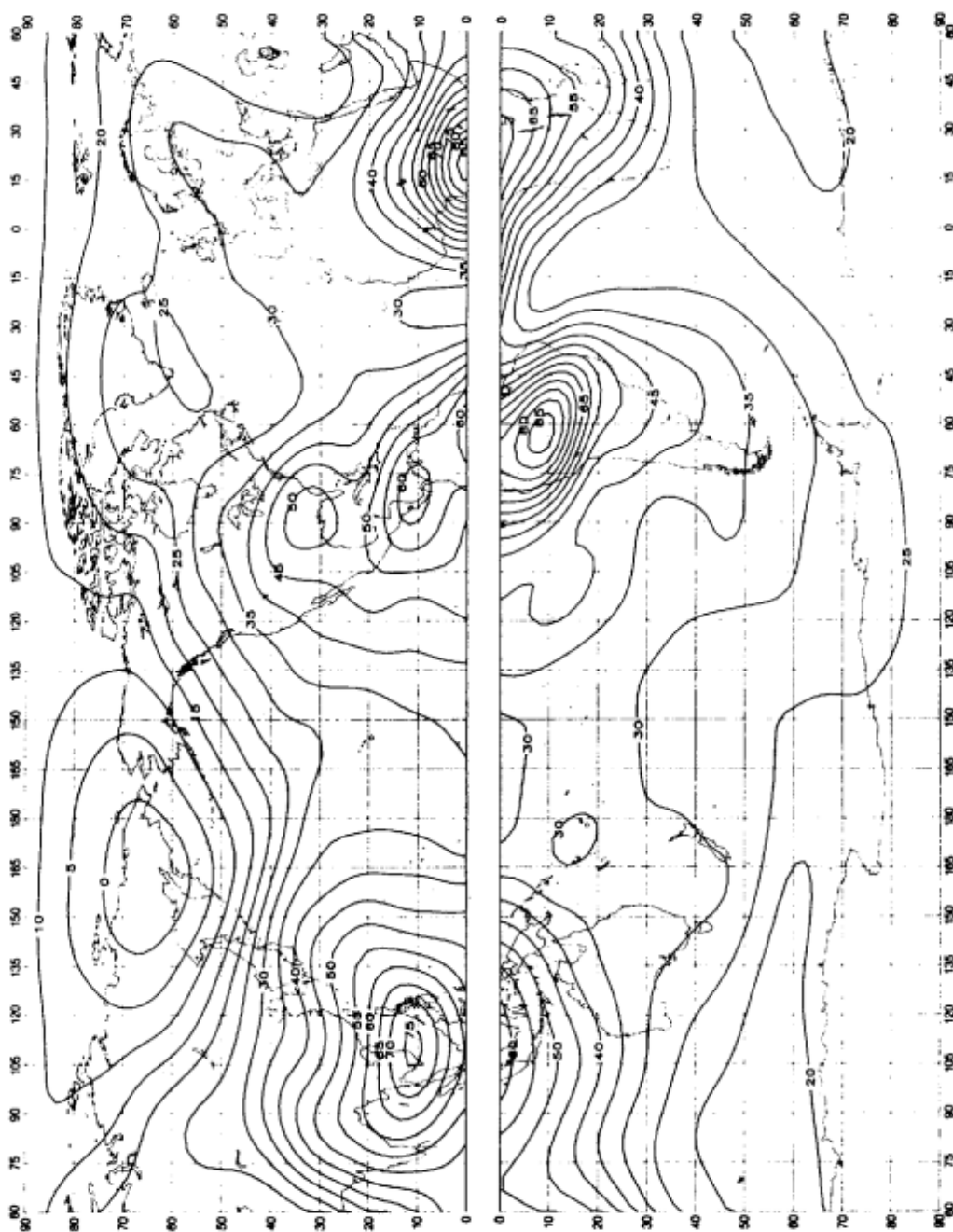
انظر شرح الشكل 15 ب)

التردد (MHz)

التردد (MHz)

الشكل 23 أ)

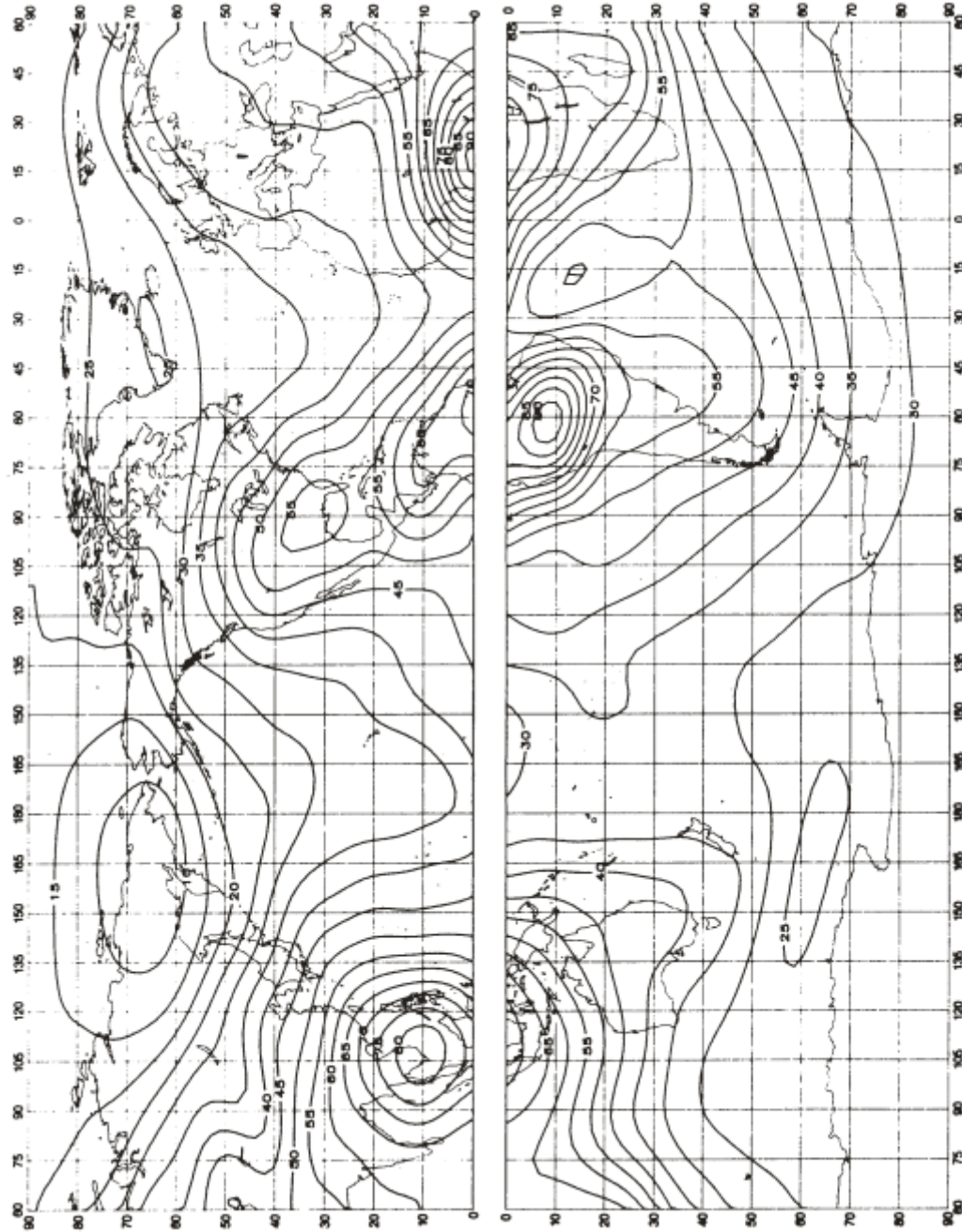
القيم المتوقعة للضوضاء الجوية الراديوية، F_{am} (بوحدة dB أعلى من kT_0b عند 1 MHz) (الربيع: 0800-1200 بالتوقيت المحلي)



P0372-23a

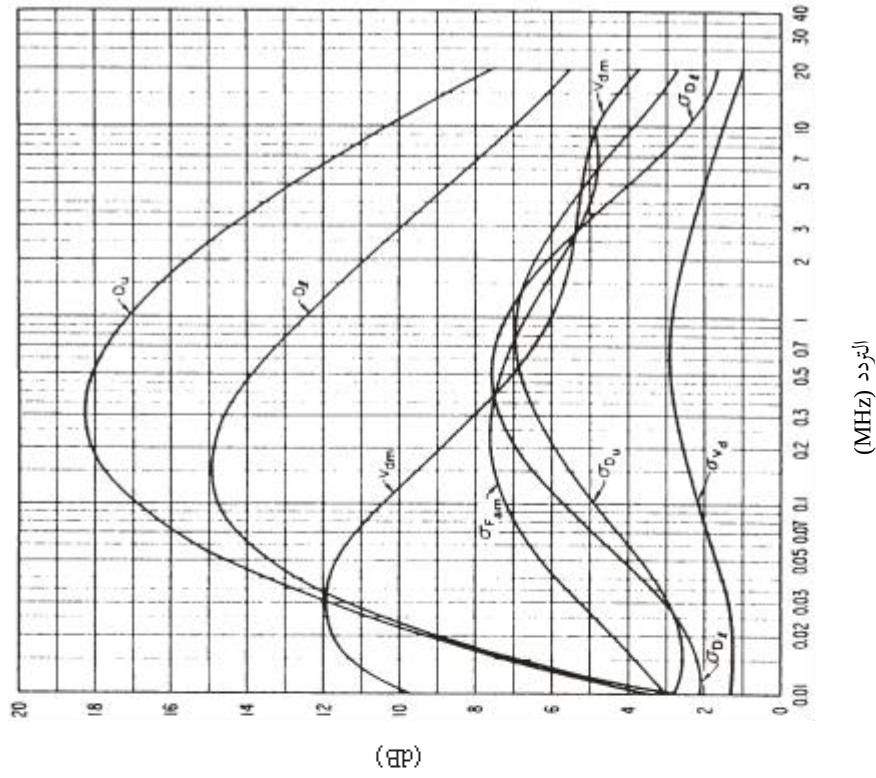
الشكل 24 أ)

القيم المتوقعة للضوضاء الجوية الراديوية، F_{am} (بوحدة dB أعلى من kT_0b عند 1 MHz) (الربيع: 1200-1600 بالتوقيت المحلي)



P.0372-24a

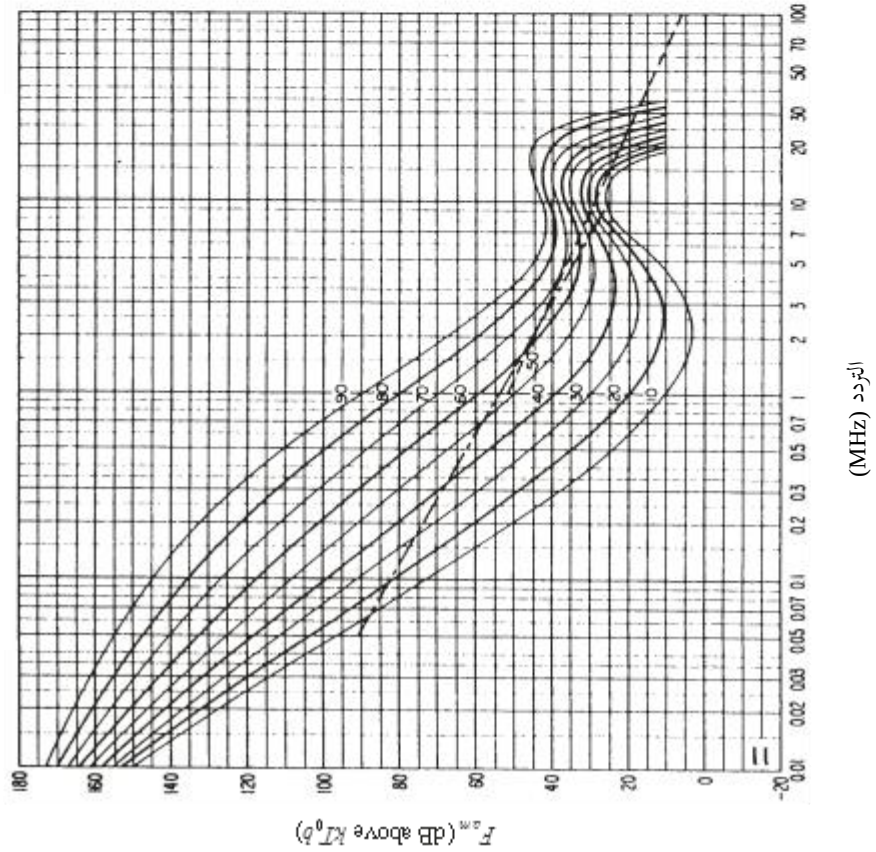
الشكل 24 ج) معطيات بشأن معغيرات الضوضاء وسماتها (الربيع: 1600-1200 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ج)

P.03 72-34b

الشكل 24 ب) تغير الضوضاء الراديوية بدلالة التردد (الربيع: 1600-1200 بالتوقيت المحلي)



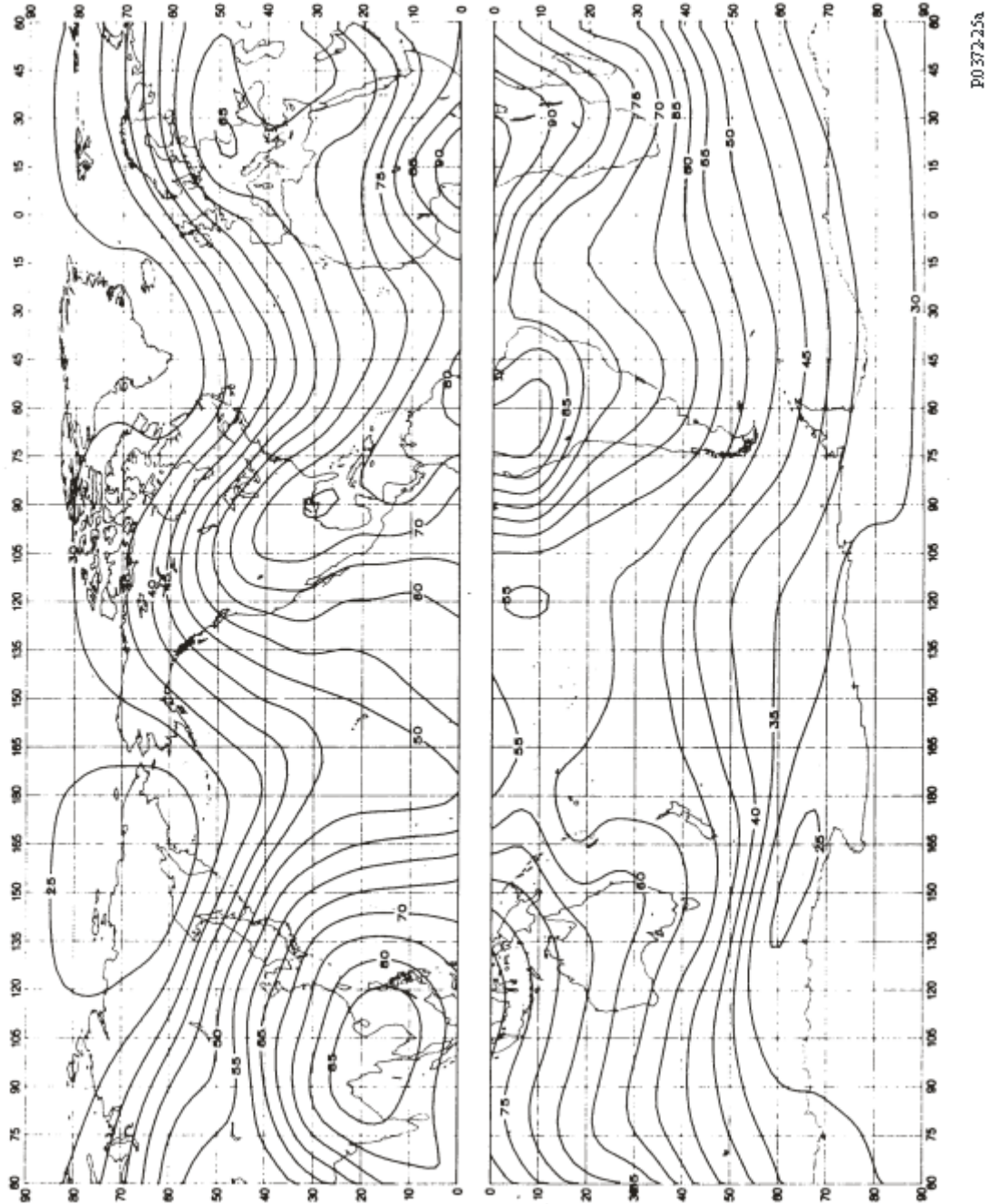
انظر شرح الشكل 15 ب)

التردد (MHz)

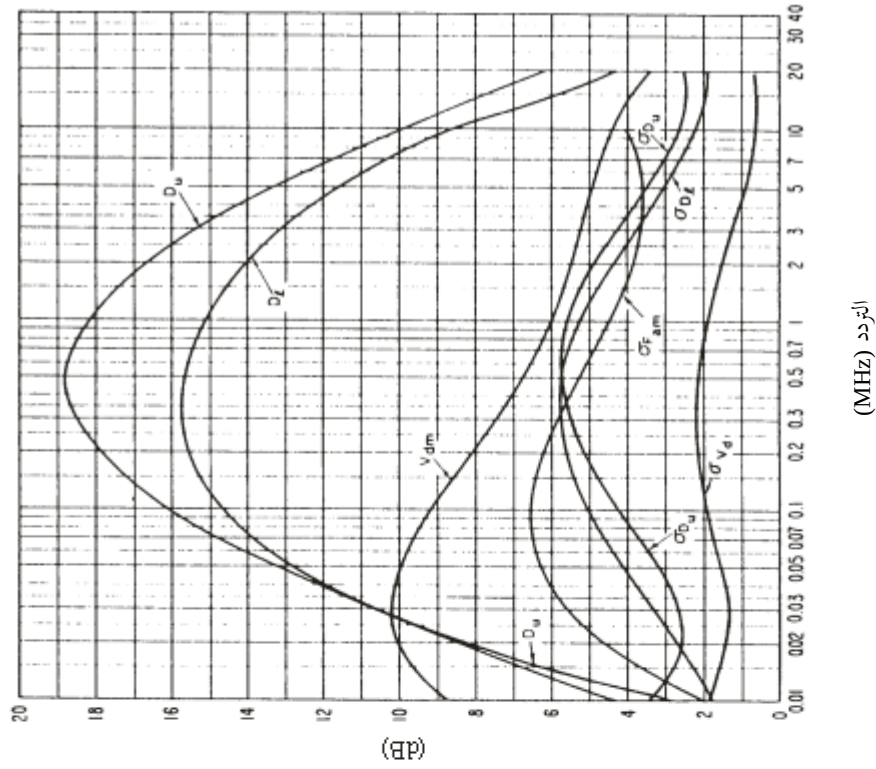
التردد (MHz)

الشكل 25 أ)

القيم المتوقعة للضوضاء الجوية الراديوية، F_{am} (بوحدة dB أعلى من kT_0b عند 1 MHz) (الربيع: 2000-1600 بالتوقيت المحلي)



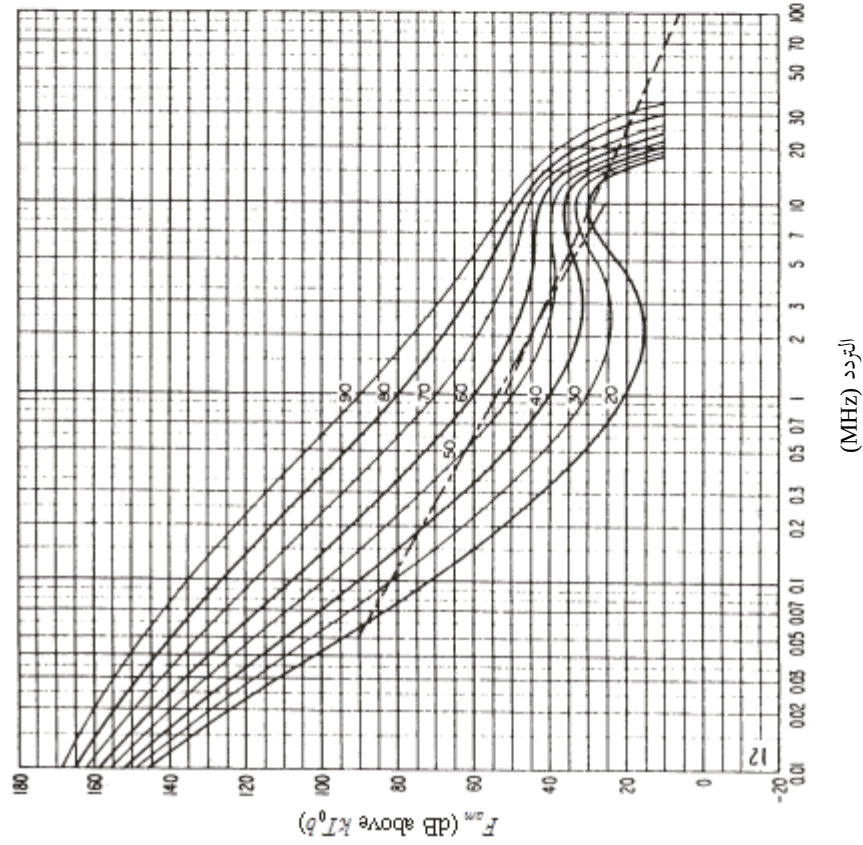
الشكل 25 ج) معطيات بشأن متغيرات الضوضاء وسماتها
(الربيع: 2000-1600 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ج)

P.0872-25b

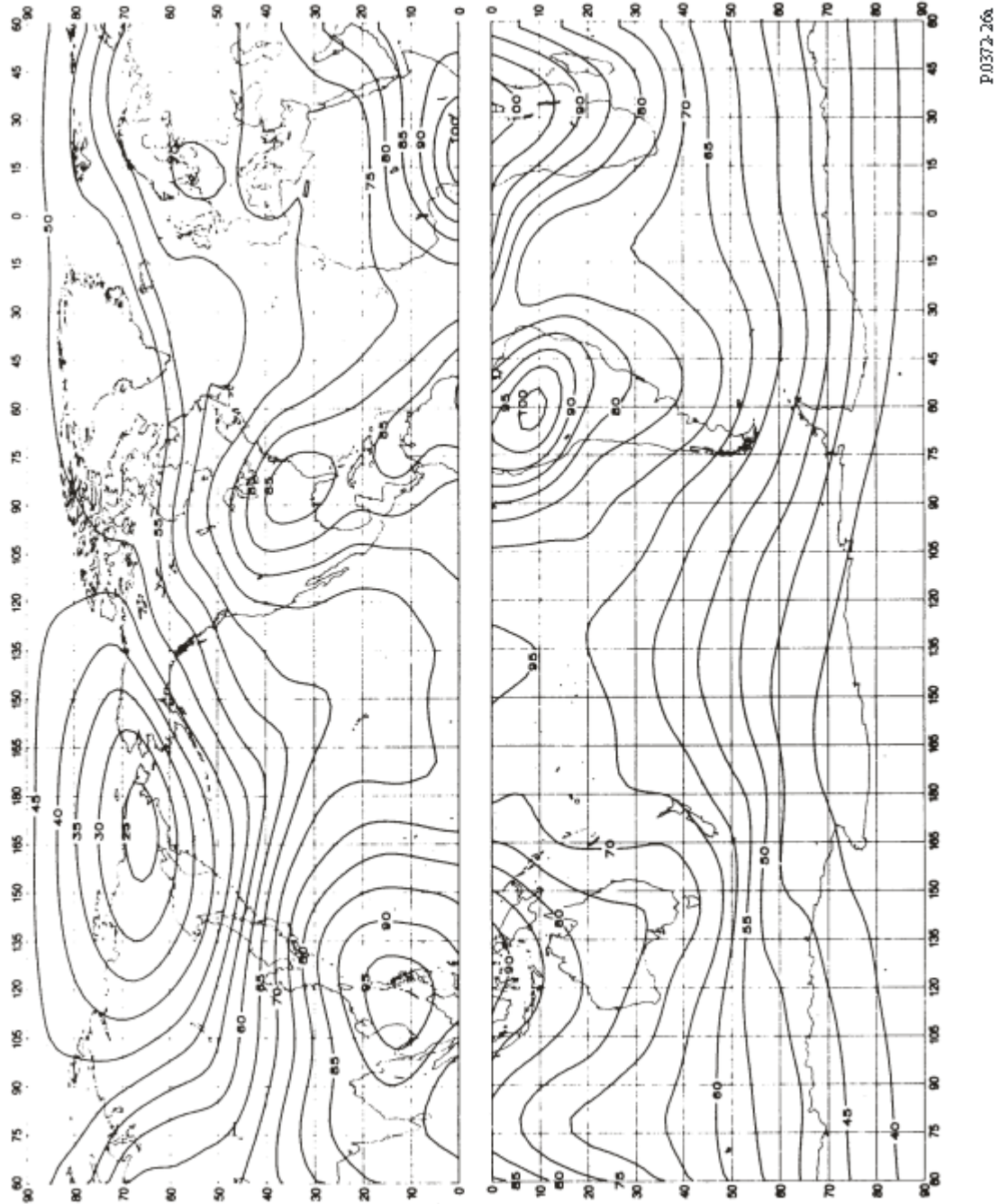
الشكل 25 ب) تغير الضوضاء الراديوية بدلالة التردد
(الربيع: 2000-1600 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ب)

الشكل 26 أ)

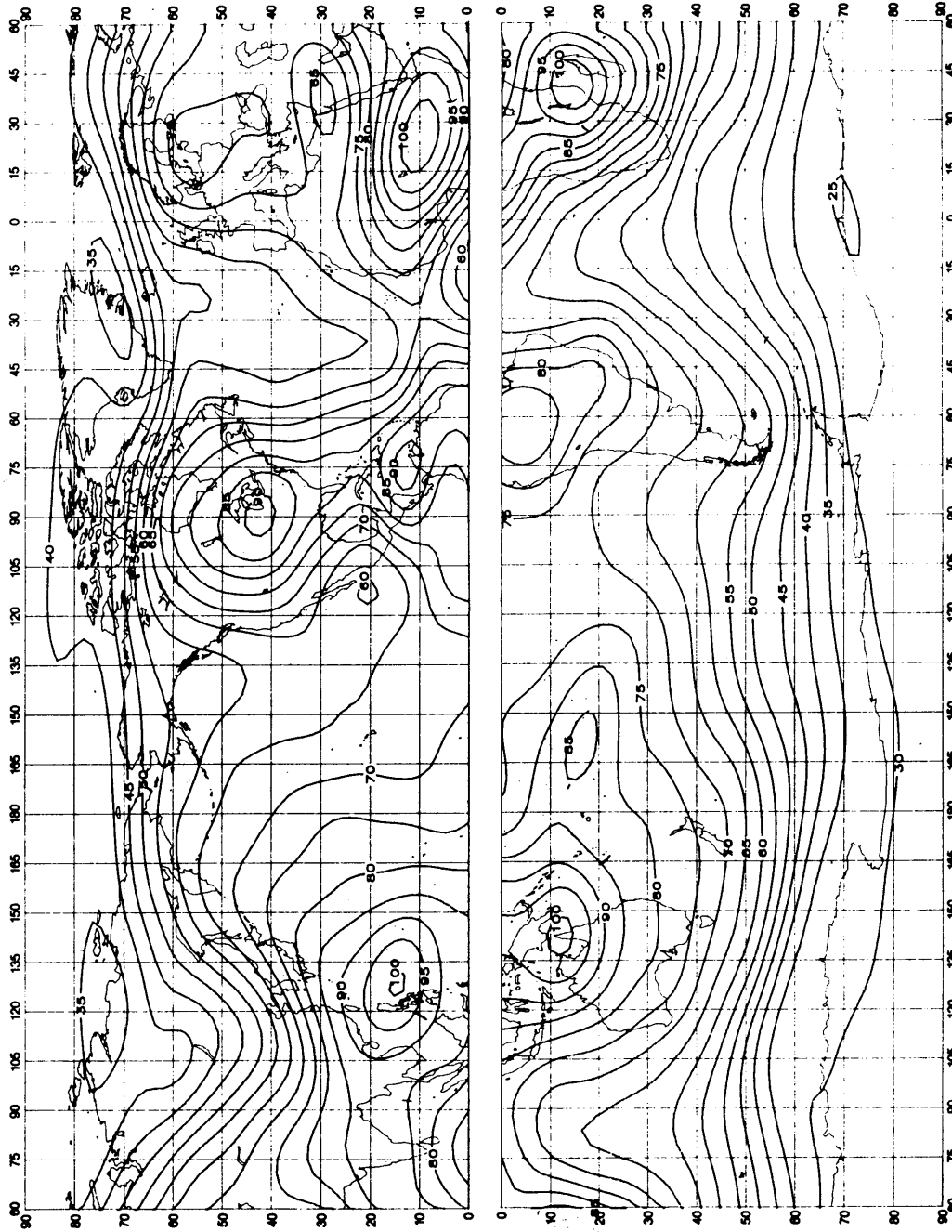
القيم المتوقعة للضوضاء الجوية الراديوية، F_{am} (بوحدة dB أعلى من kT_0b عند 1 MHz) (الربيع: 2000-2400 بالتوقيت المحلي)



P.0372-26a

الشكل 27 أ

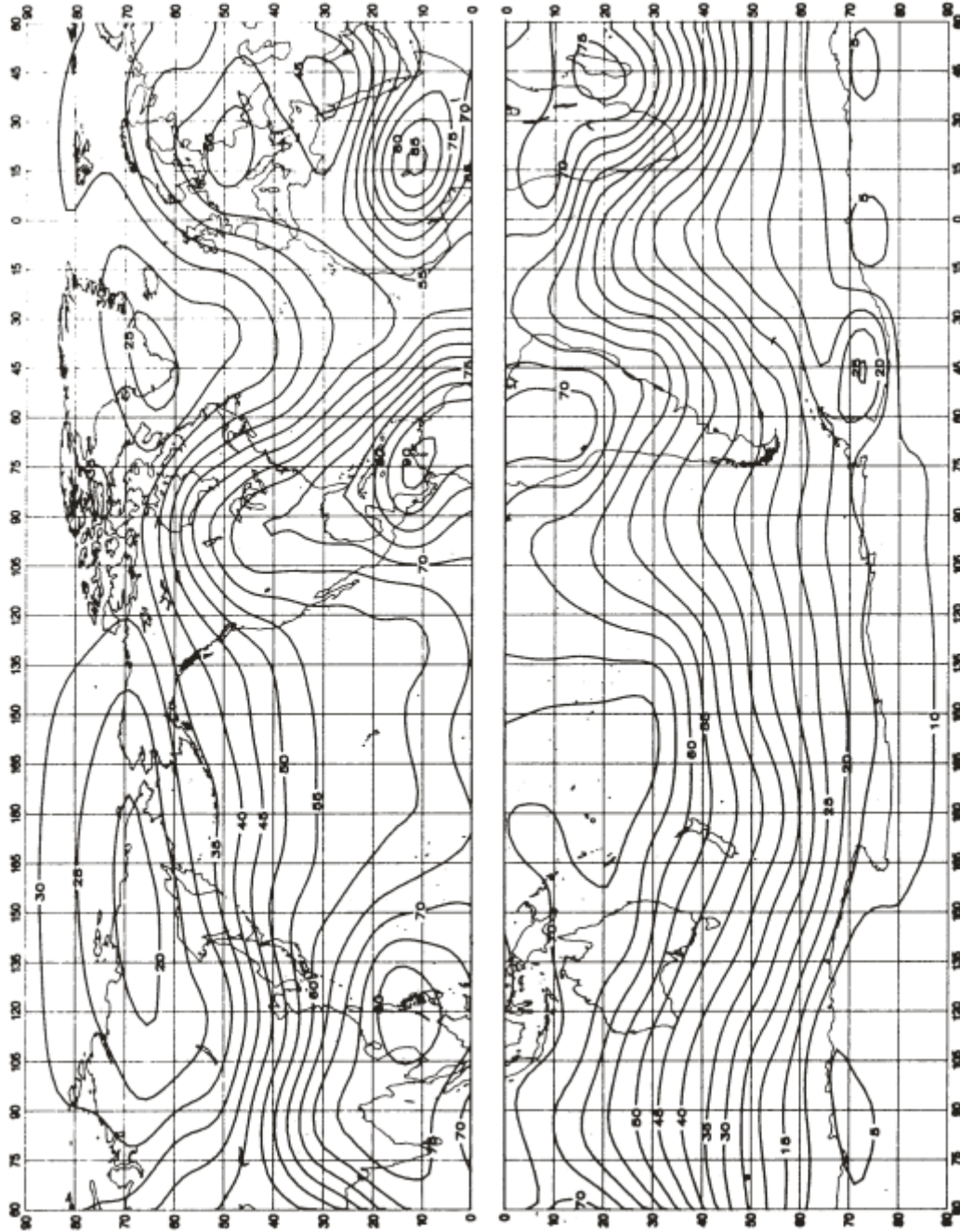
القيم المتوقعة للضوضاء الجوية الراديوية، F_{am} (بوحدة dB أعلى من kT_0b عند 1 MHz) (الصيف: 0400-0000 بالتوقيت المحلي)



0372-27a

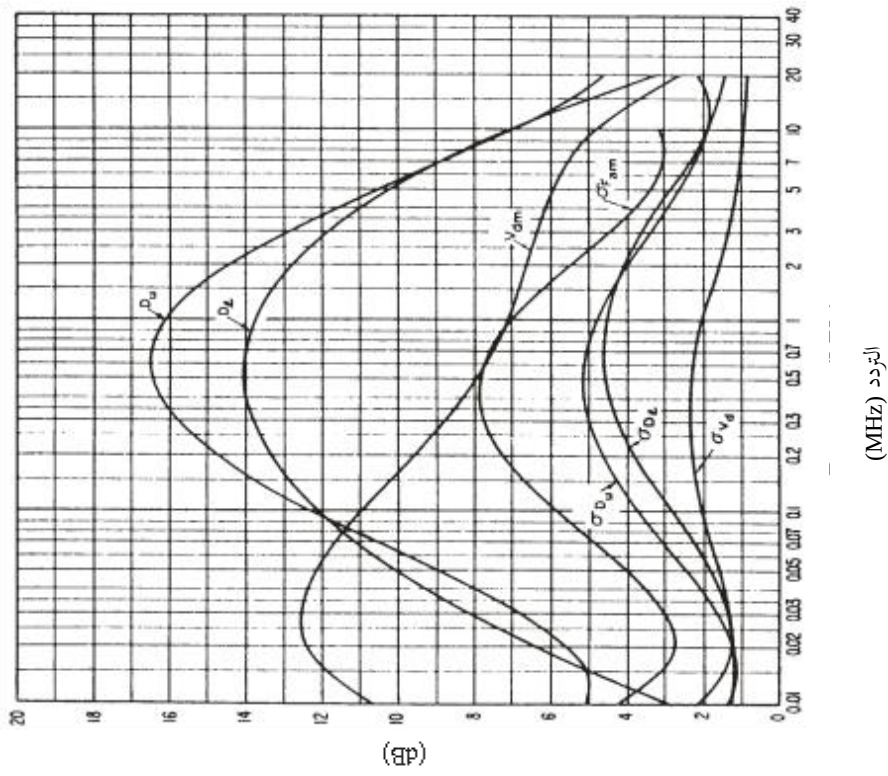
(الشكل 28 أ)

القيم المتوقعة للضوضاء الجوية الراديوية، F_{am} (بوحدة dB أعلى من kT_0b عند 1 MHz) (الصيف: 0800-0400 بالتوقيت المحلي)



P0372-28a

الشكل 28 ج) معطيات بشأن متغيرات الضوء وسماتها
(الصفيف: 0800-0400 بالتوقيت المحلي)

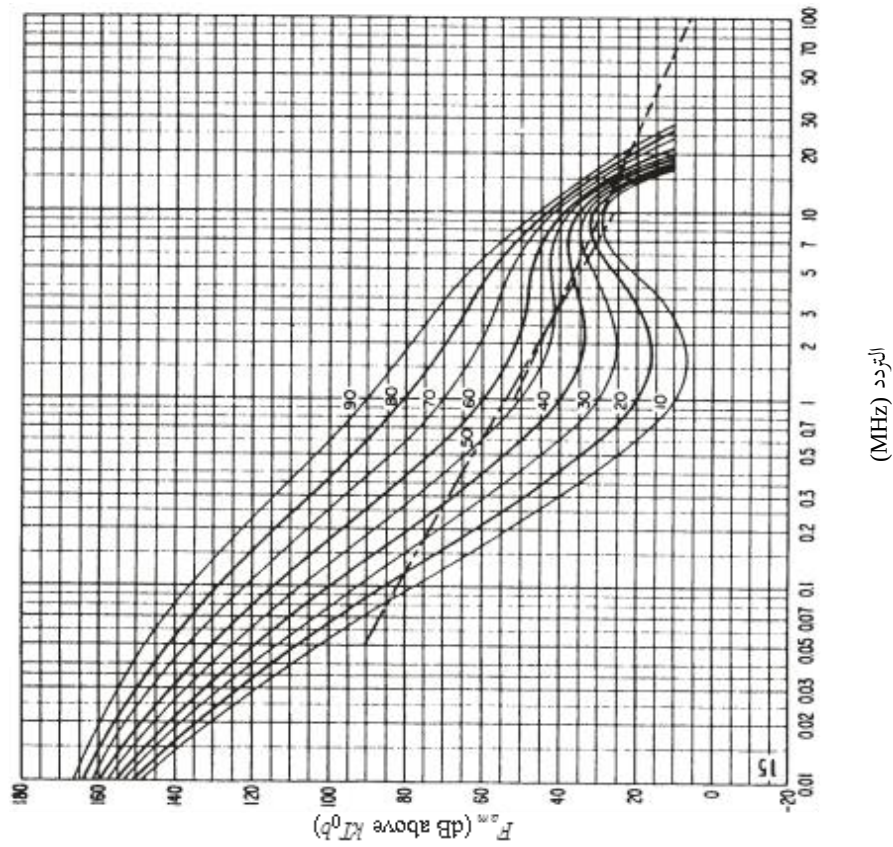


التردد (MHz)

انظر شرح الشكل 15 ج)

P.0372-28b

الشكل 28 ب) تغير الضوء الراديوية بدلالة التردد
(الصفيف: 0800-0400 بالتوقيت المحلي)

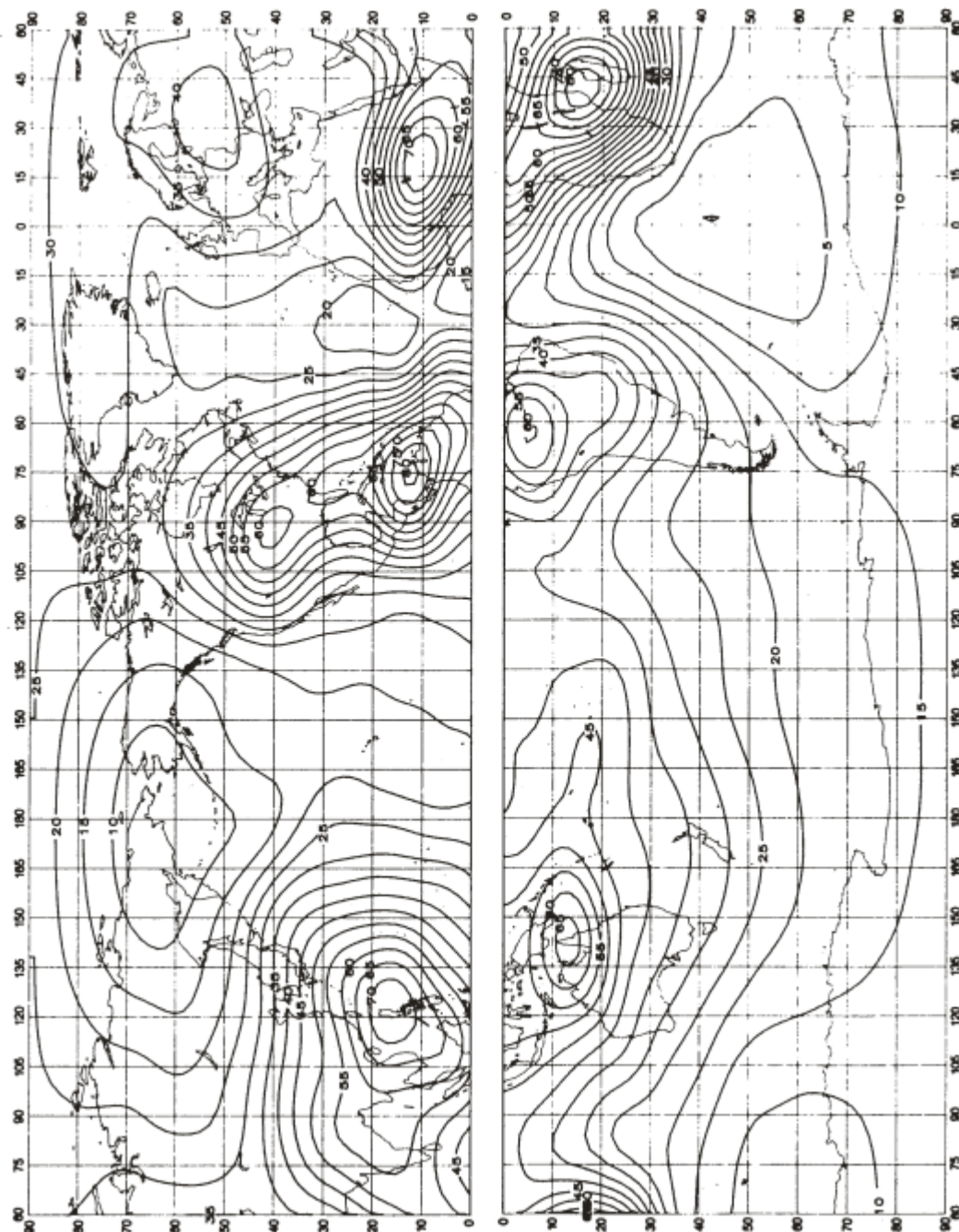


التردد (MHz)

انظر شرح الشكل 15 ب)

(الشكل 29 أ)

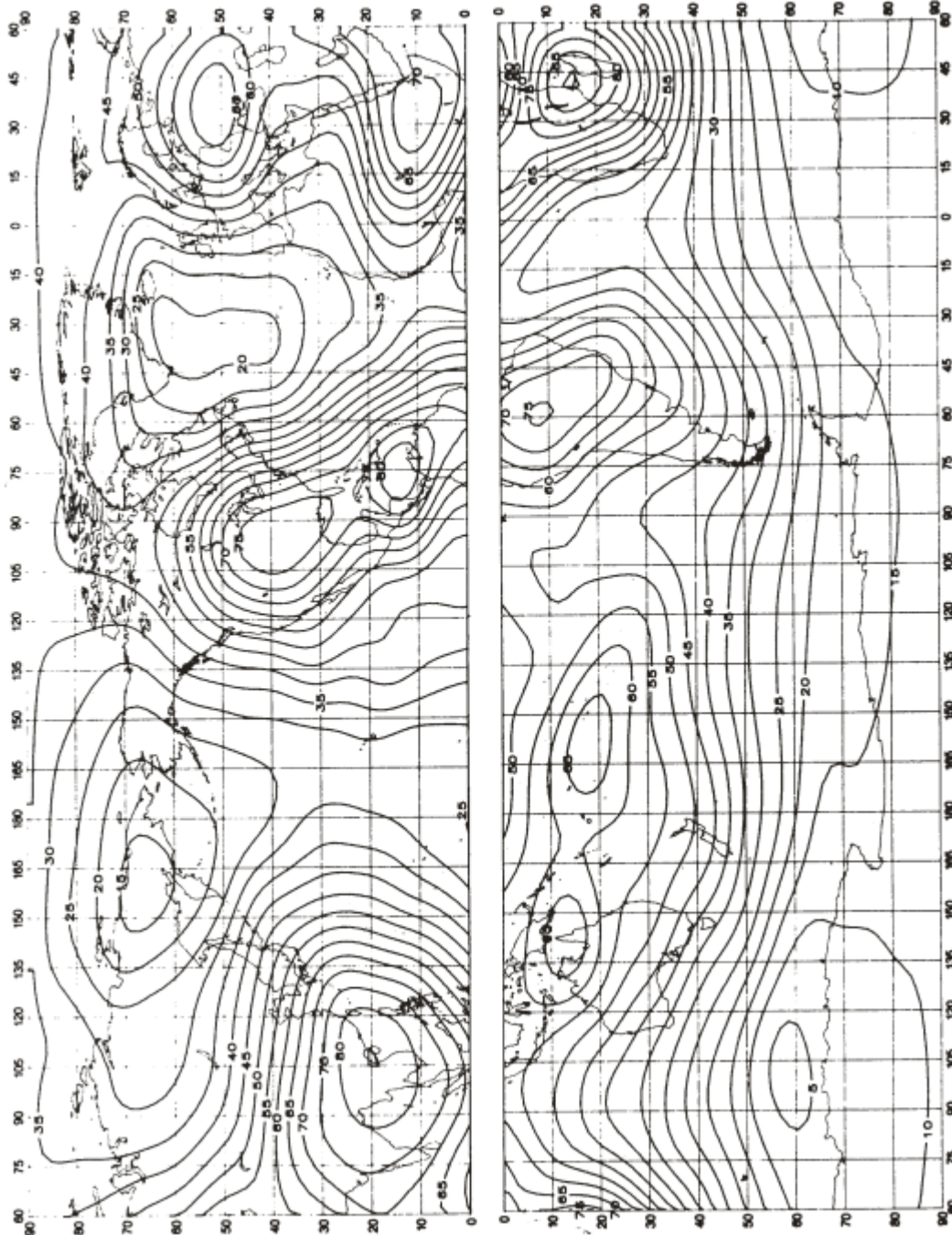
القيم المتوقعة للضوضاء الجوية الراديوية، F_{am} (بوحدة dB أعلى من kT_0b عند 1 MHz) (الصيف: 1200-0800 بالتوقيت المحلي)



P.0372-19a

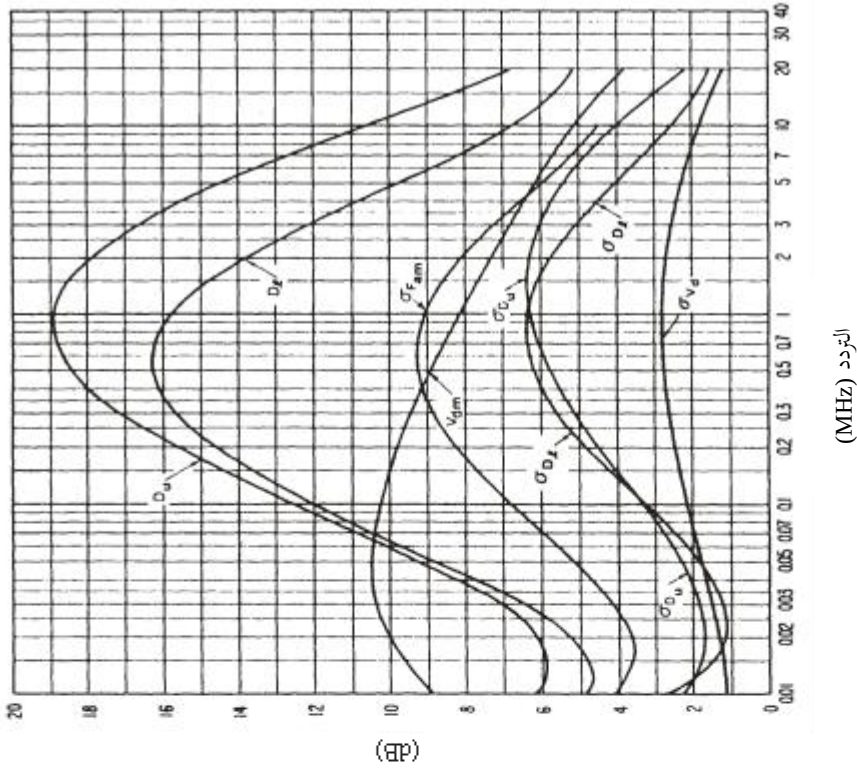
(الشكل 30 أ)

القيم المتوقعة للضوضاء الجوية الراديوية، F_{am} (بوحدة dB أعلى من kT_0b عند 1 MHz) (الصف: 1200-1600 بالتوقيت المحلي)



P.0372-30a

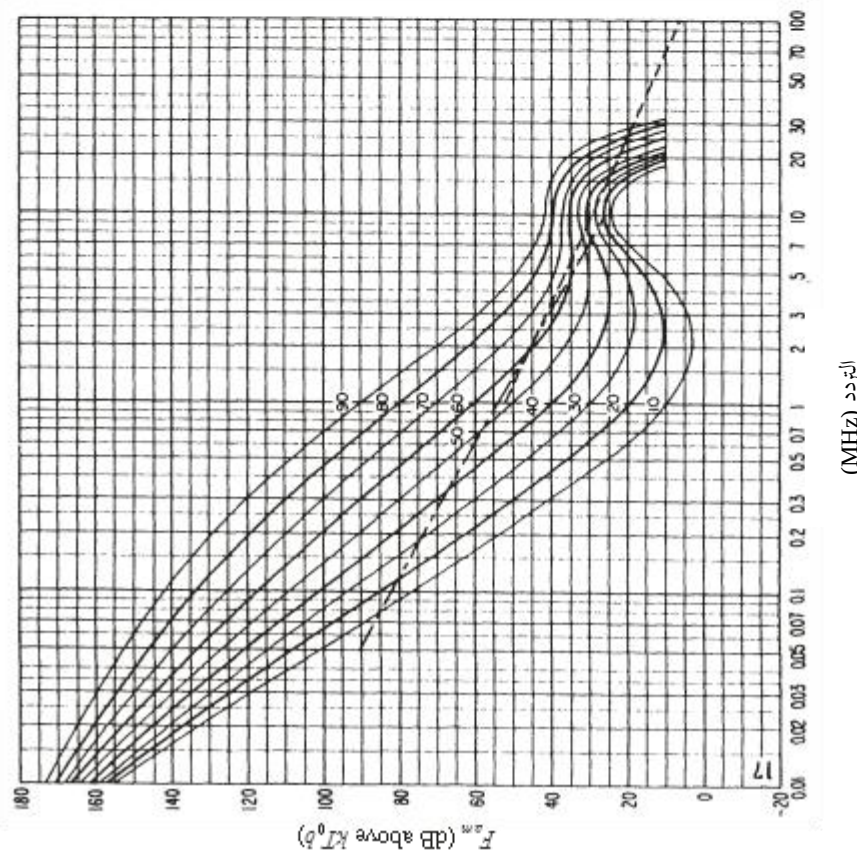
الشكل 30 ج) معطيات بشأن متغيرات الضوء وسماتها (الصف: 1600-1200 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ج)

P0372-30b

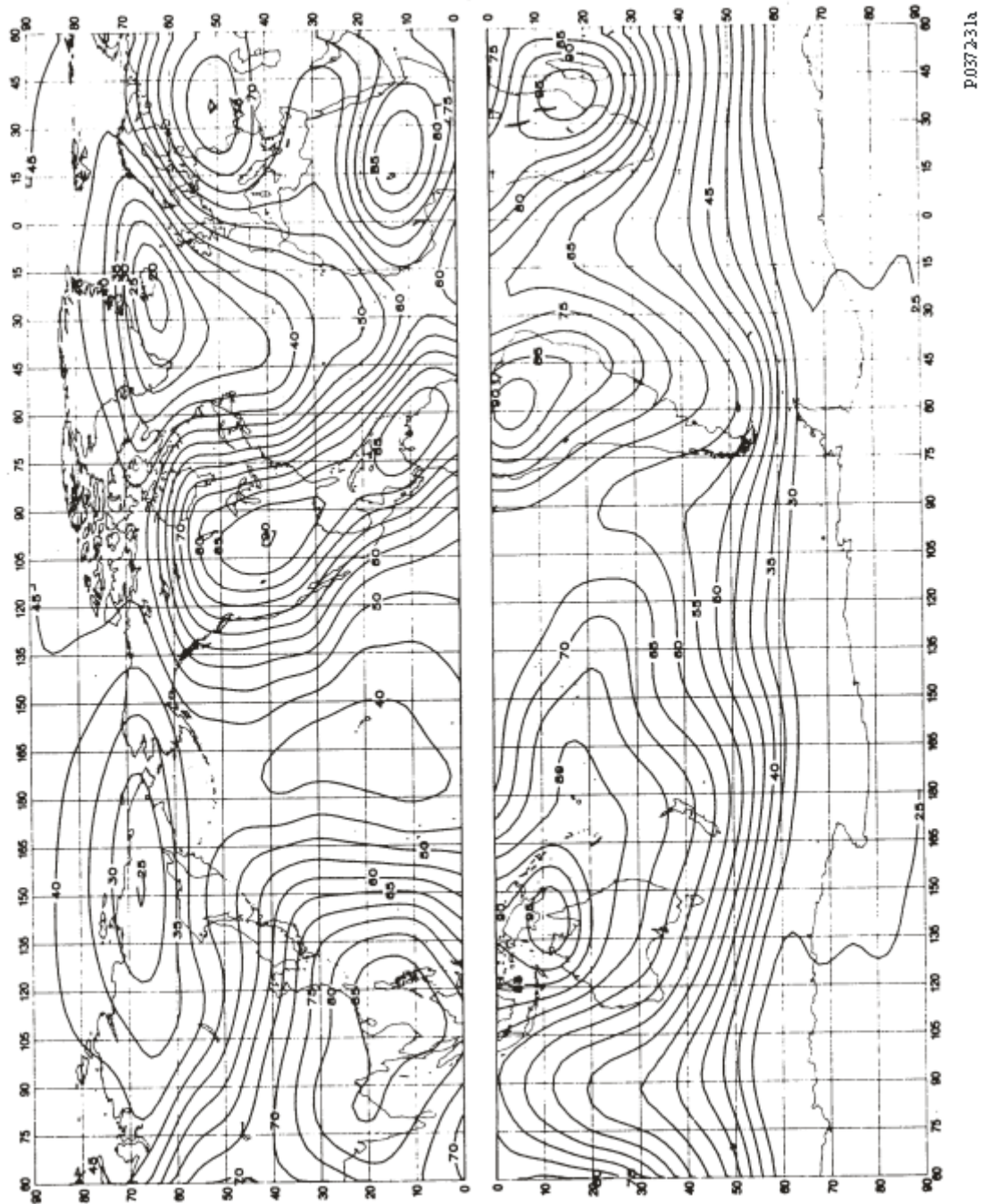
الشكل 30 ب) تغير الضوء الراديوية بدلالة التردد (الصف: 1600-1200 بالتوقيت المحلي)



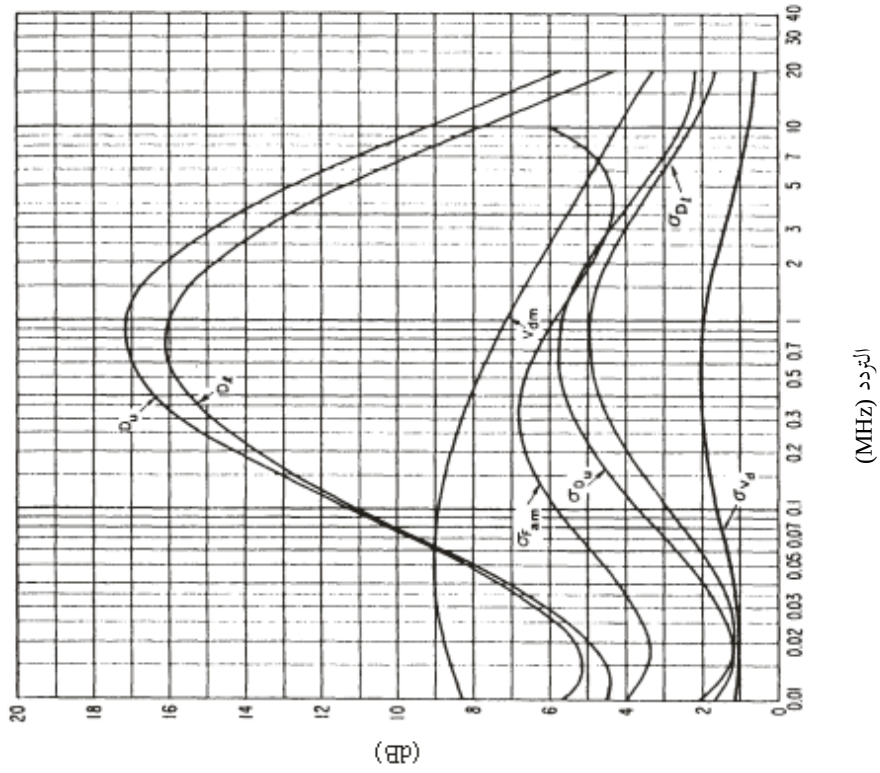
انظر شرح الشكل 15 ب)

(الشكل 31 أ)

القيم المتوقعة للضوضاء الجوية الراديوية، F_{am} (بوحدة dB أعلى من kT_0b عند 1 MHz) (الصيف: 1600-2000 بالتوقيت المحلي)

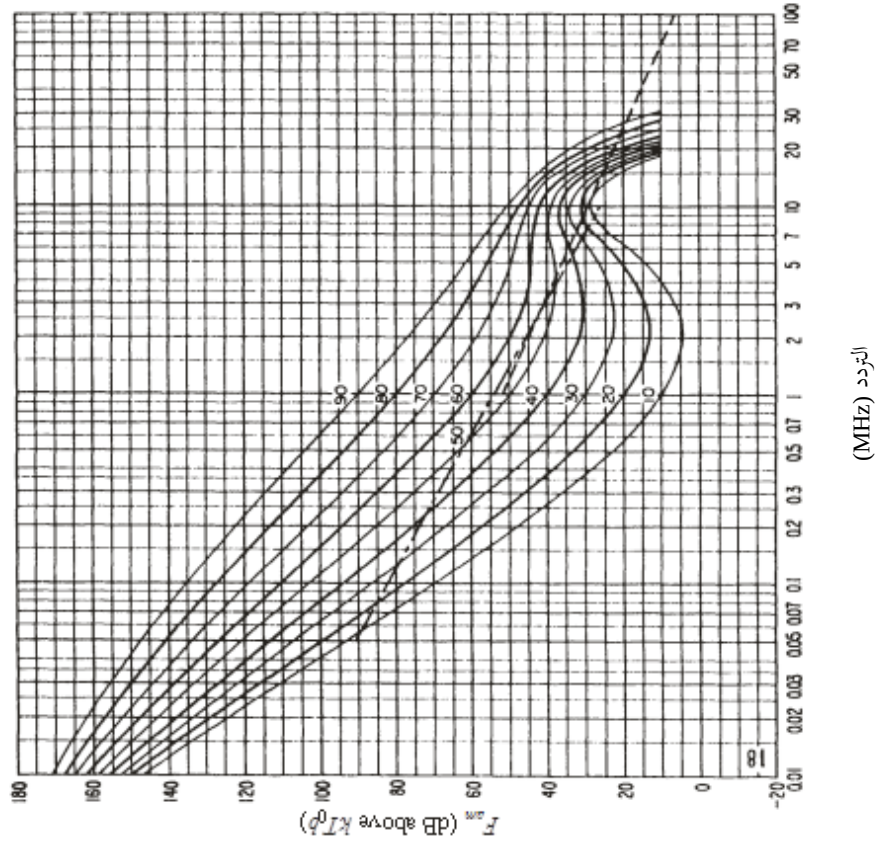


الشكل 31 ج) معطيات بشأن متغيرات الضوضاء وسماتها (الصيف: 2000-1600 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ج) P.0372-3 Db

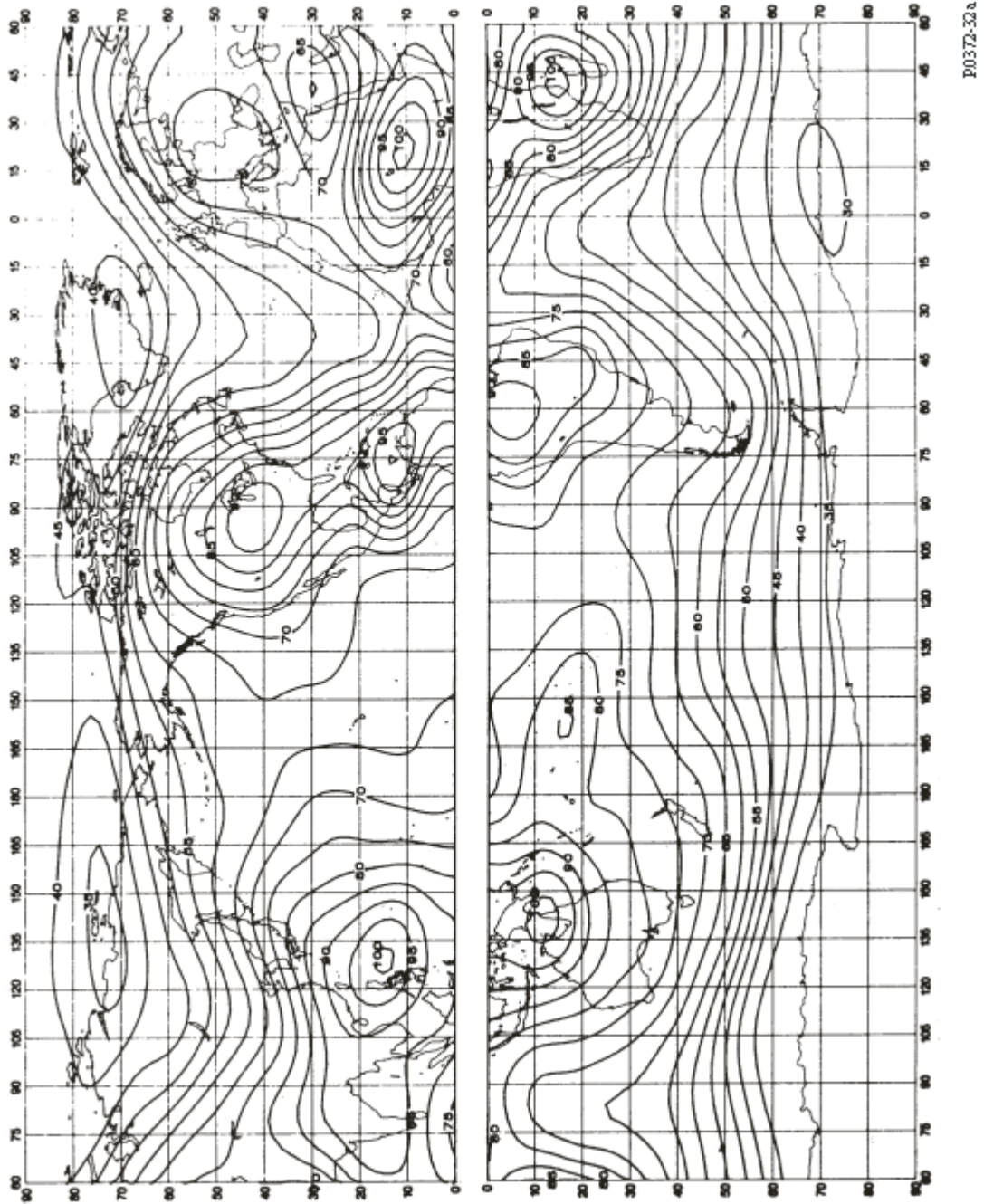
الشكل 31 ب) تغير الضوضاء الراديوية بدلالة التردد (الصيف: 2000-1600 بالتوقيت المحلي)



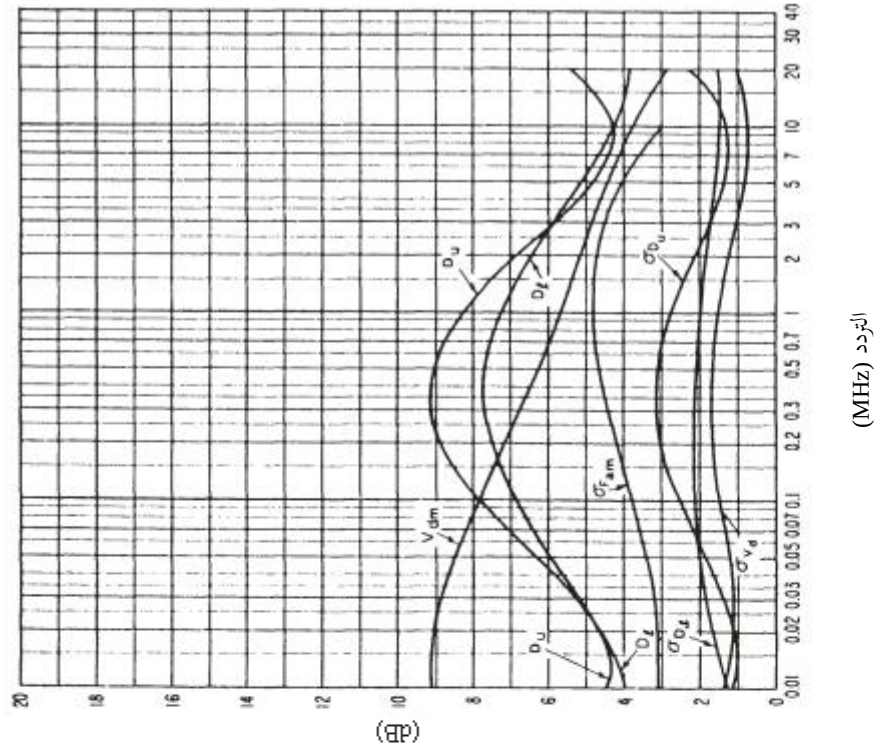
انظر شرح الشكل 15 ب)

الشكل 32 أ)

القيم المتوقعة للضوضاء الجوية الراديوية، F_{am} (بوحدة dB أعلى من kT_0b عند 1 MHz) (الصيف: 2000-2400 بالتوقيت المحلي)



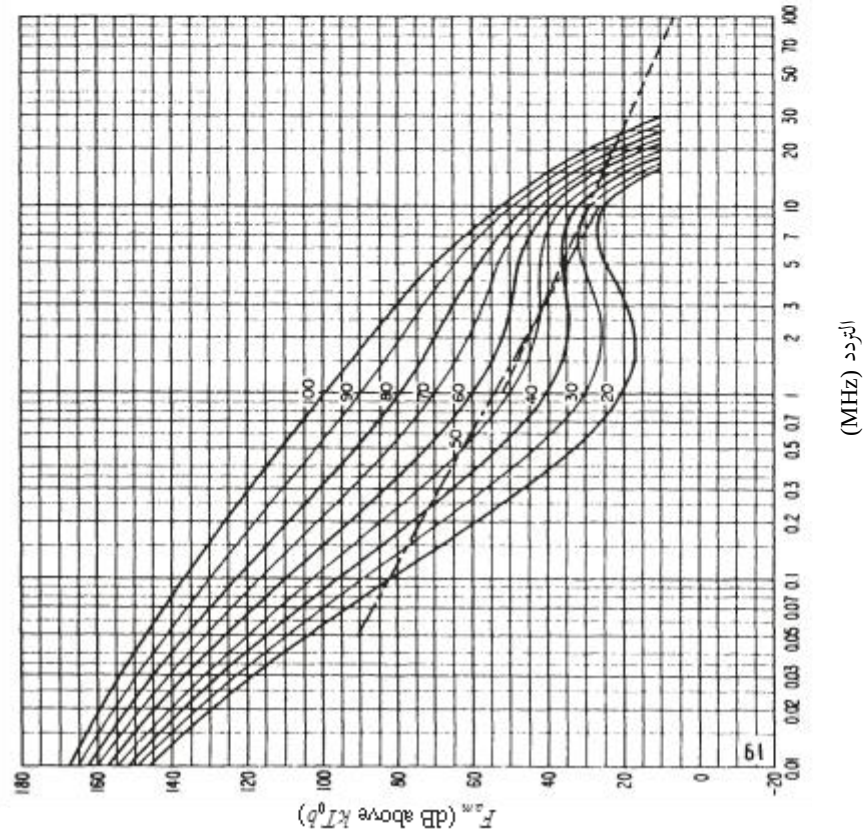
الشكل 32 ج) معطيات بشأن متغيرات الضوضاء وسماتها
(الصفيف: 2400-2000 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ج)

P0372-32b

الشكل 32 ب) تغير الضوضاء الراديوية بدلالة التردد
(الصفيف: 2400-2000 بالتوقيت المحلي)



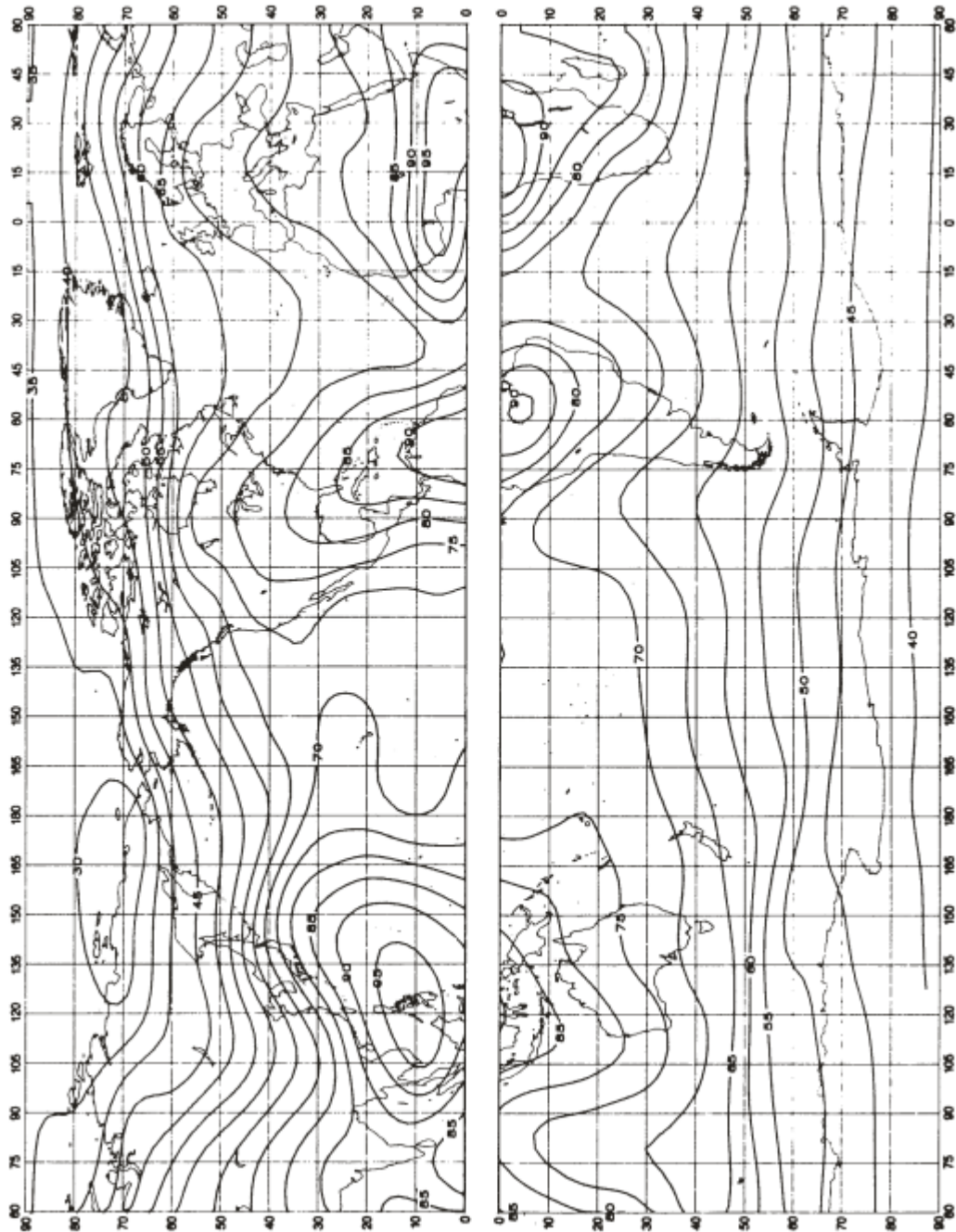
انظر شرح الشكل 15 ب)

التردد (MHz)

التردد (MHz)

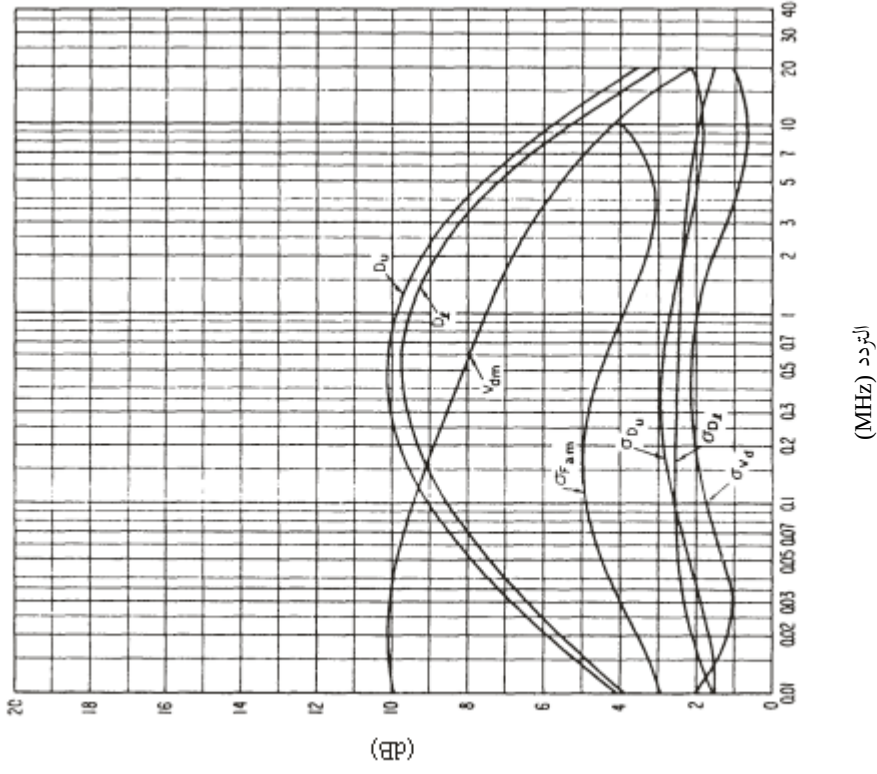
الشكل 33 أ)

القيم المتوقعة للضوضاء الجوية الراديوية، F_{am} (بوحدة dB أعلى من kT_0b عند 1 MHz) (الخريف: 0400-0000 بالتوقيت المحلي)



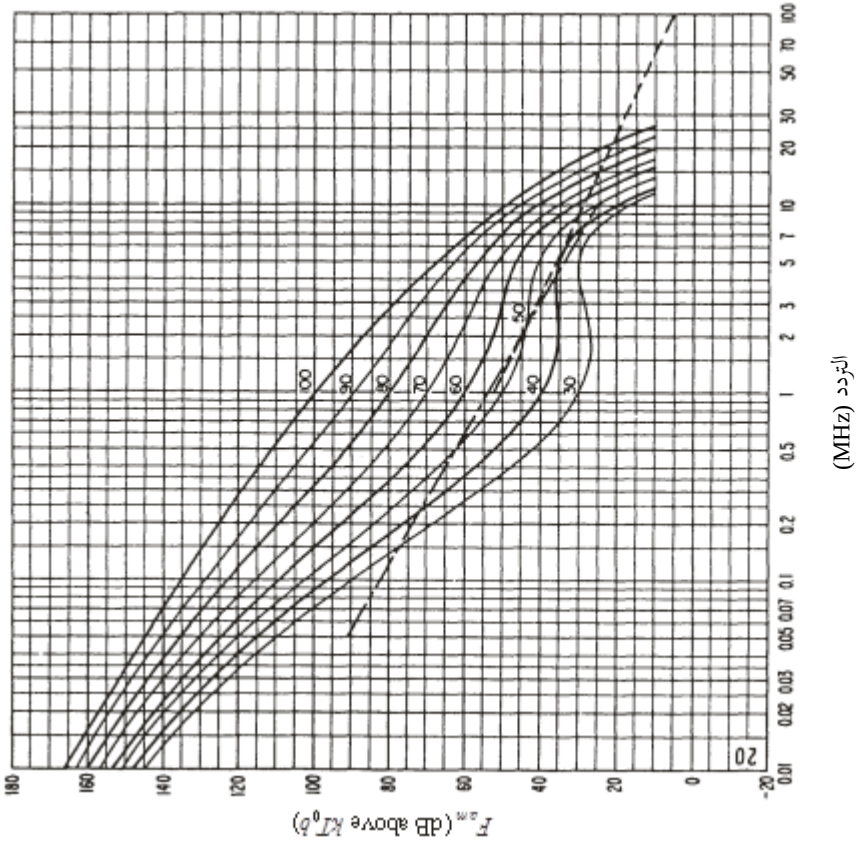
P.0372-33a

الشكل 33 ج) معطيات بشأن متغيرات الضوضاء ومسائتها (الصيف: 0400-0000 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ج) P.0872-33b

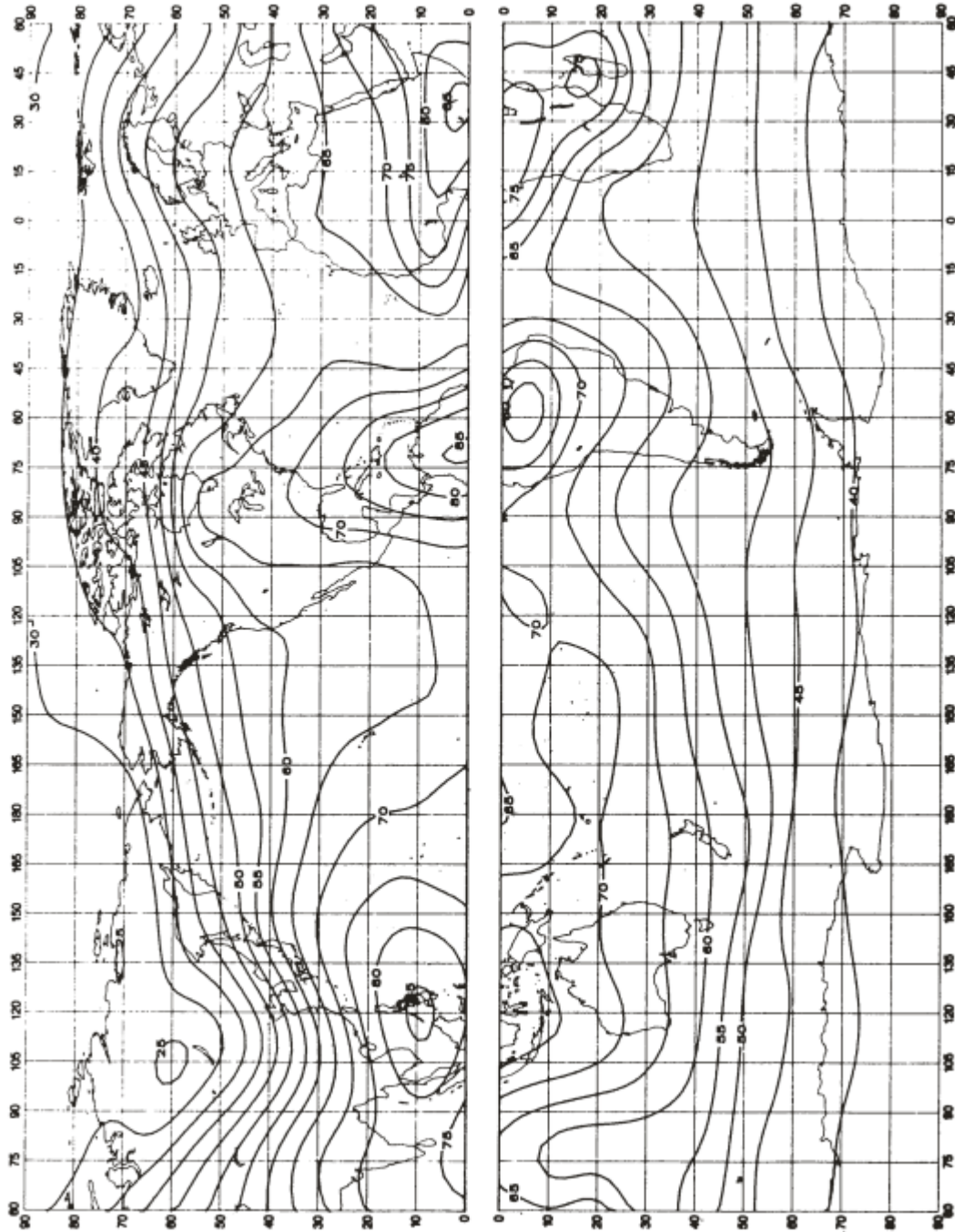
الشكل 33 ب) تغير الضوضاء الراديوية بدلالة التردد (الصيف: 0400-0000 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ب)

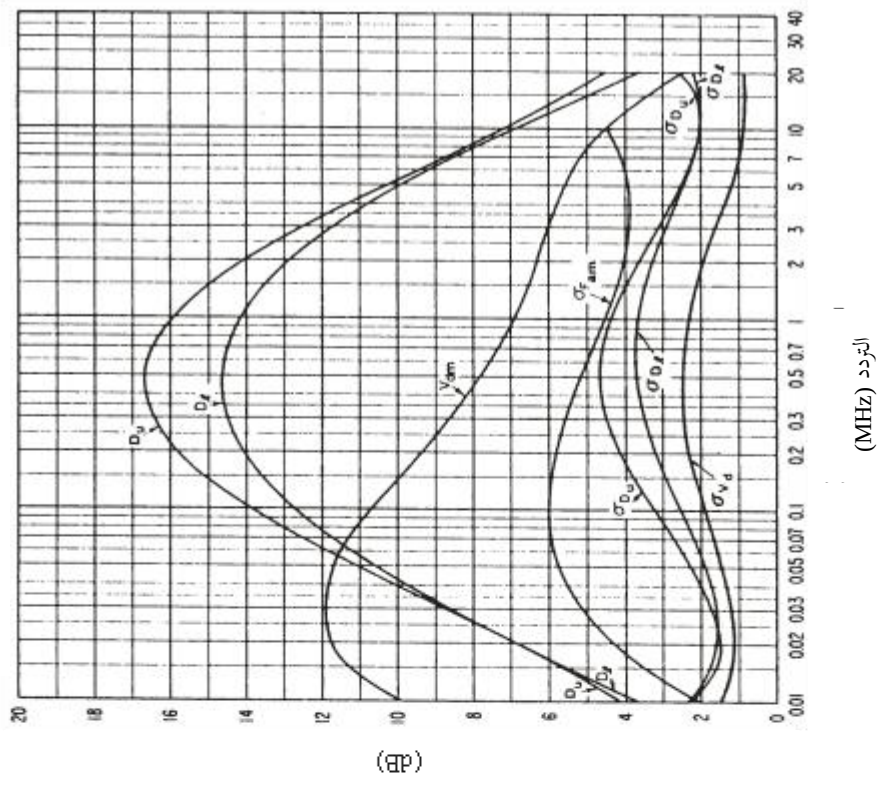
(الشكل 34 أ)

القيم المتوقعة للضوضاء الجوية الراديوية، F_{am} (بوحدة dB أعلى من kT_0b عند 1 MHz) (الخريف: 0800-0400 بالتوقيت المحلي)

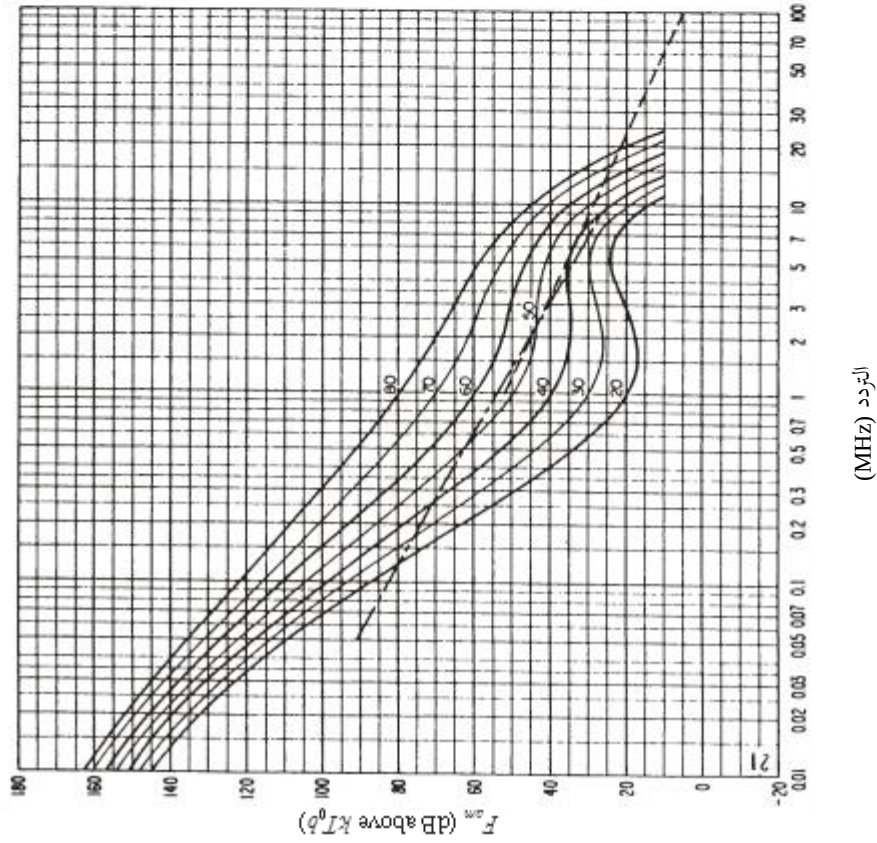


P.0372-34a

الشكل 34 ج) معطيات بشأن مشغرات الضوضاء وسماتها
(الخريف: 0800-0400 بالتوقيت المحلي)



الشكل 34 ب) تغير الضوضاء الراديوية بدلالة التردد
(الخريف: 0800-0400 بالتوقيت المحلي)

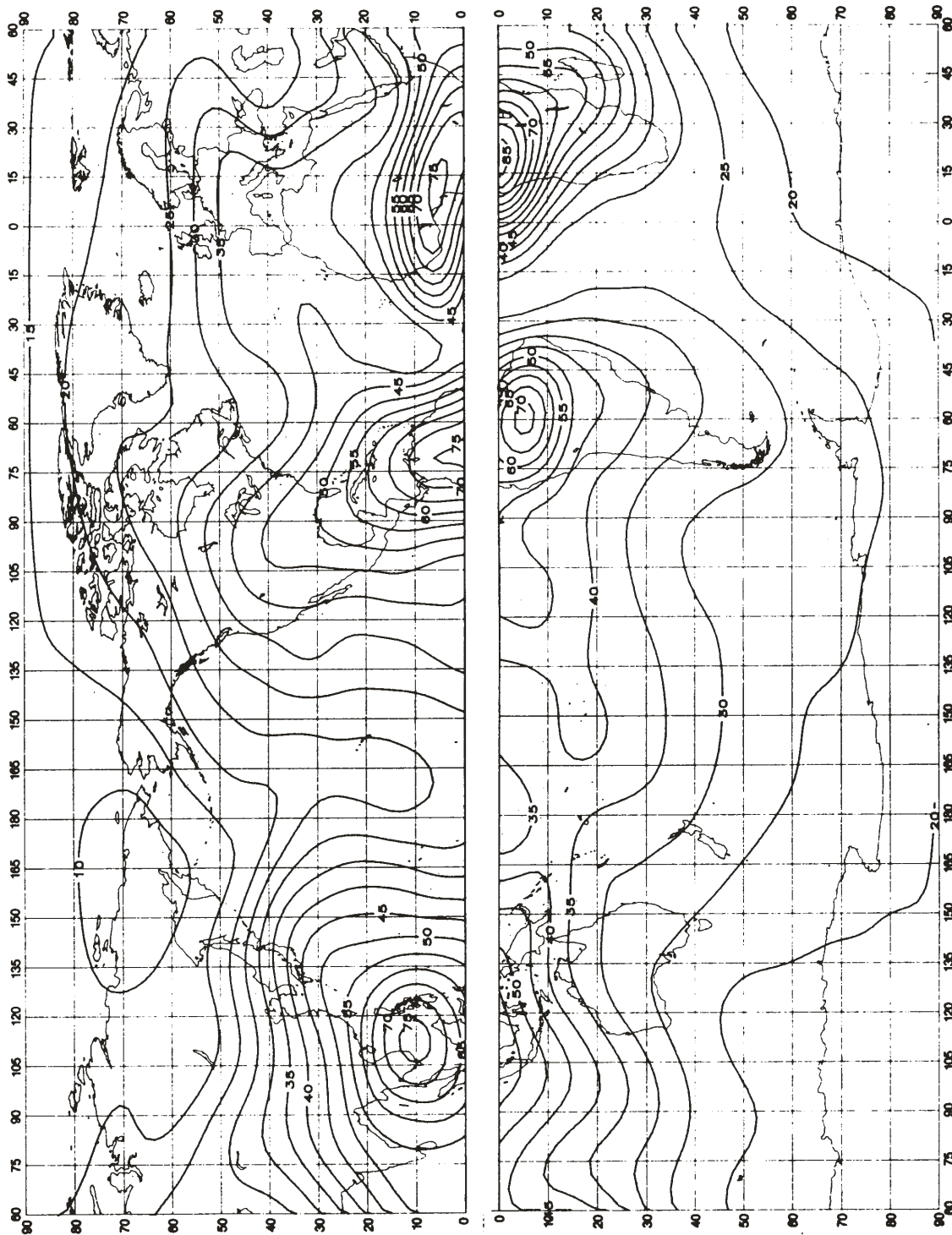


انظر شرح الشكل 15 (ب)

انظر شرح الشكل 15 (ج)

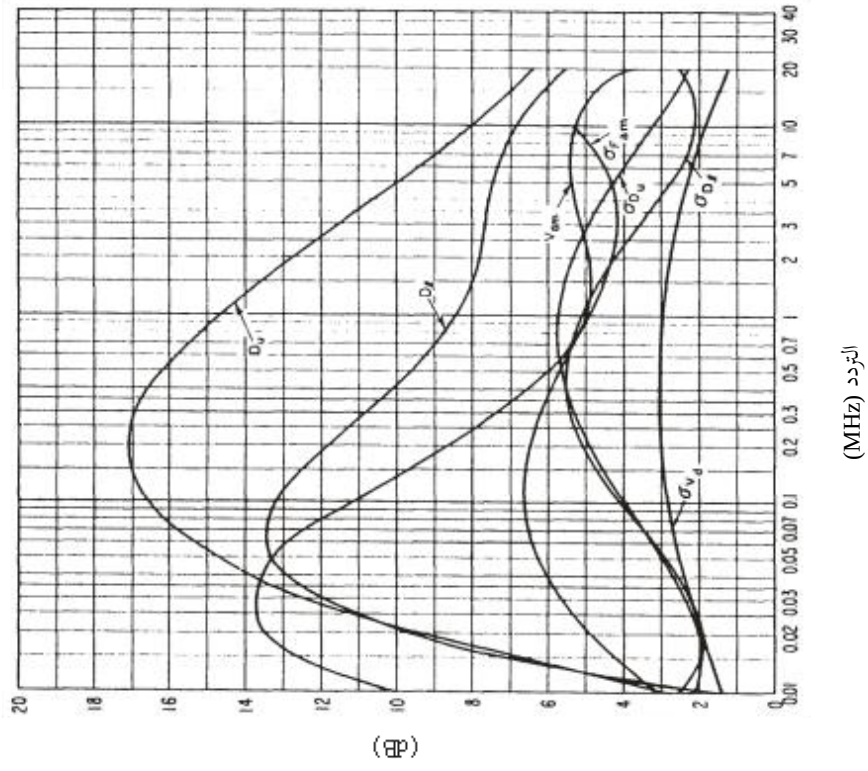
(الشكل 35 أ)

القيم المتوقعة للضوضاء الجوية الراديوية، F_{am} (بوحدة dB أعلى من kT_0b عند 1 MHz) (الخريف: 1200-0800 بالتوقيت المحلي)



P.0372-35a

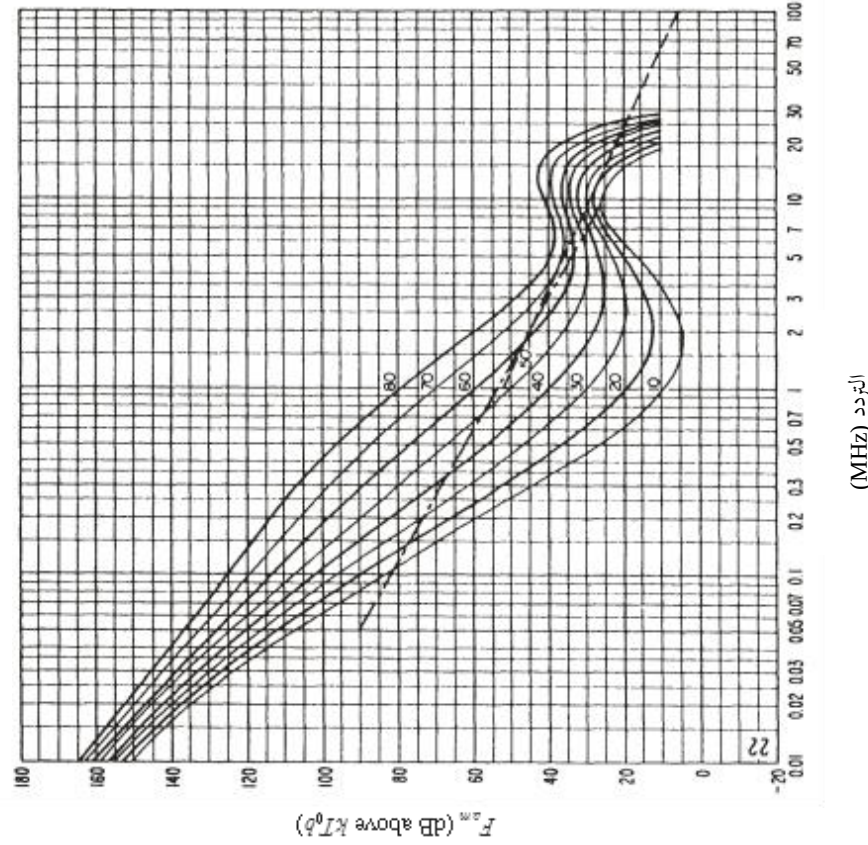
الشكل 35 ج) معطيات بشأن معغيرات الضوضاء وسماتها (الخريف: 1200-0800 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ج)

P.0872-35b

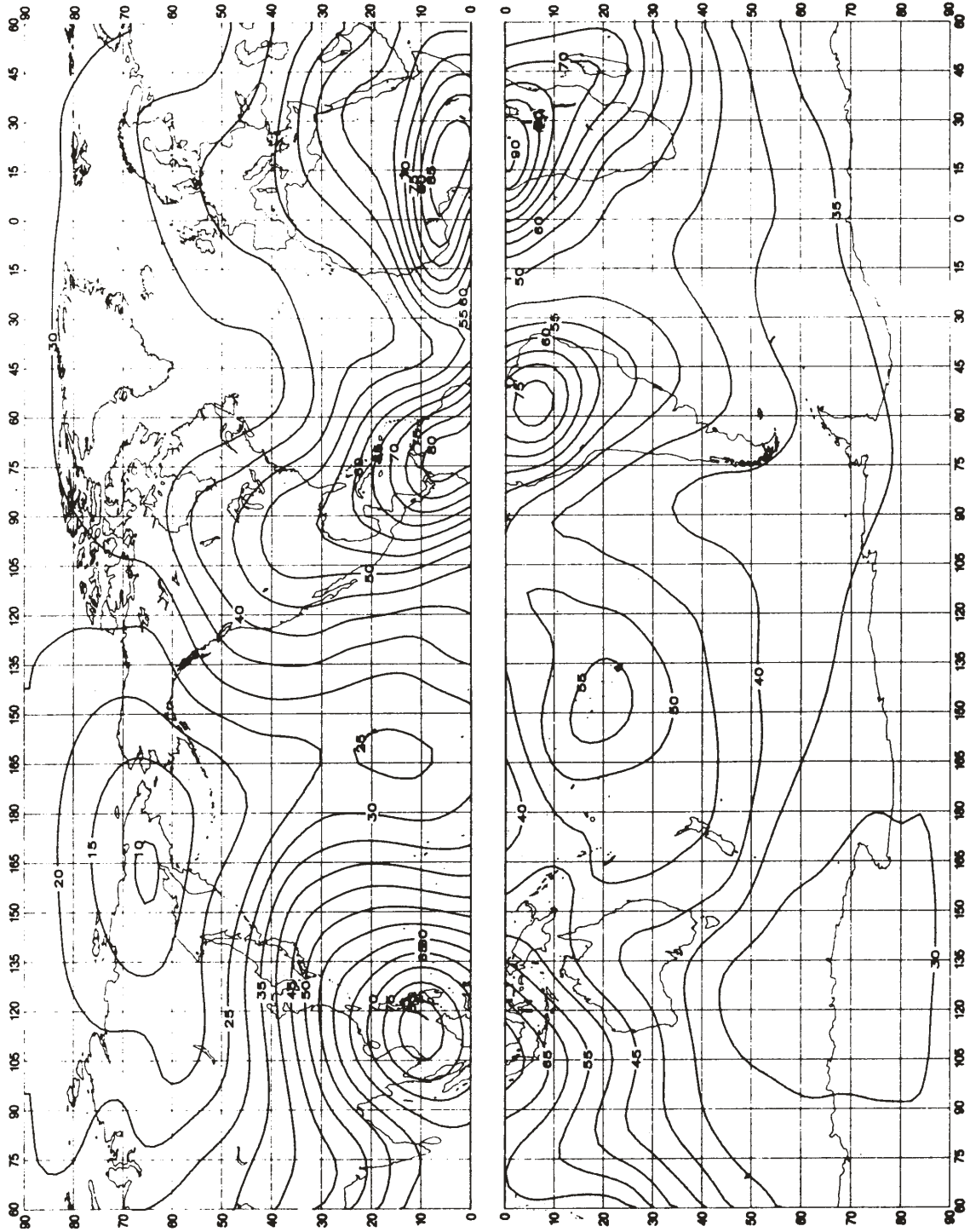
الشكل 35 ب) تغير الضوضاء الراديوية بدلالة التردد (الخريف: 1200-0800 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ب)

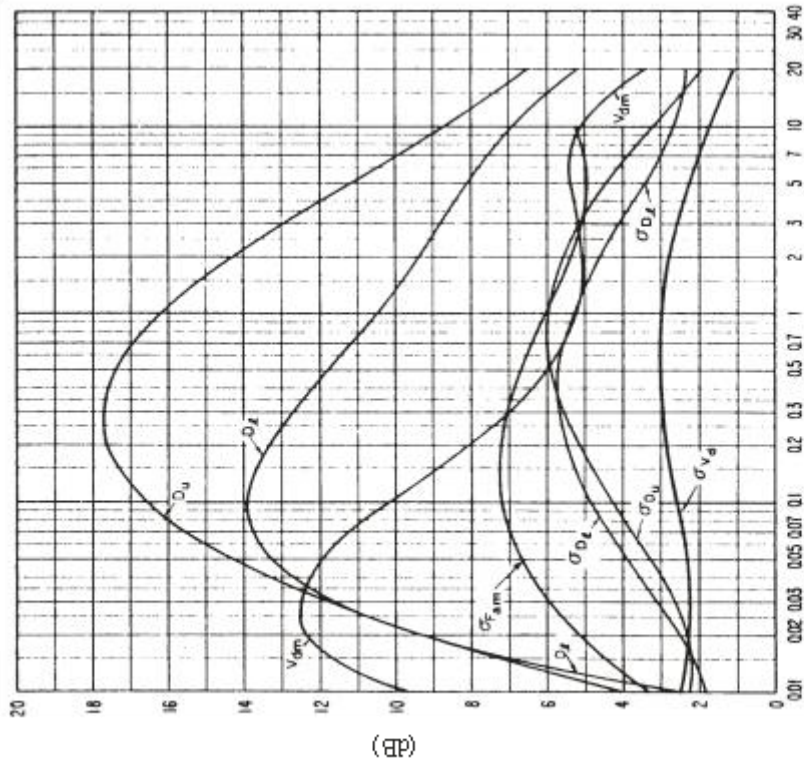
الشكل 36 أ

القيم المتوقعة للضوضاء الجوية الراديوية، F_{am} (بوحدة dB أعلى من kT_0b عند 1 MHz) (الخريف: 1200-1600 بالتوقيت المحلي)



P.0372-36a

الشكل 36 ج) معطيات بشأن متغيرات الضوء وسداتها
(الخريف: 1600-1200 بالتوقيت المحلي)

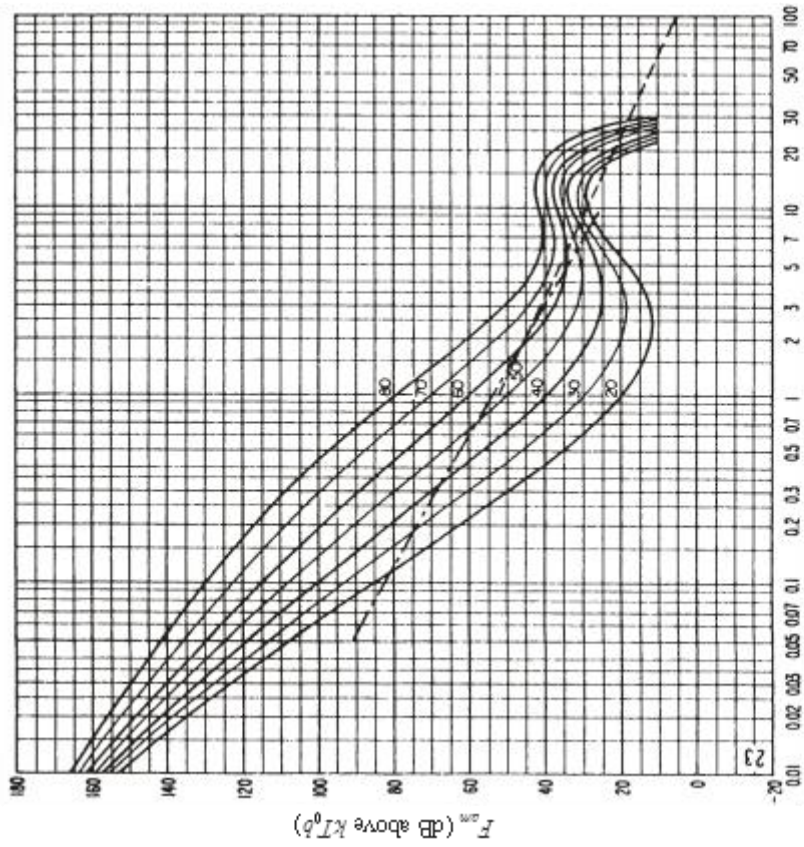


التردد (MHz)

انظر شرح الشكل 15 ج)

P0372306

الشكل 36 ب) تغير الضوء الراديوية بدلالة التردد
(الخريف: 1600-1200 بالتوقيت المحلي)

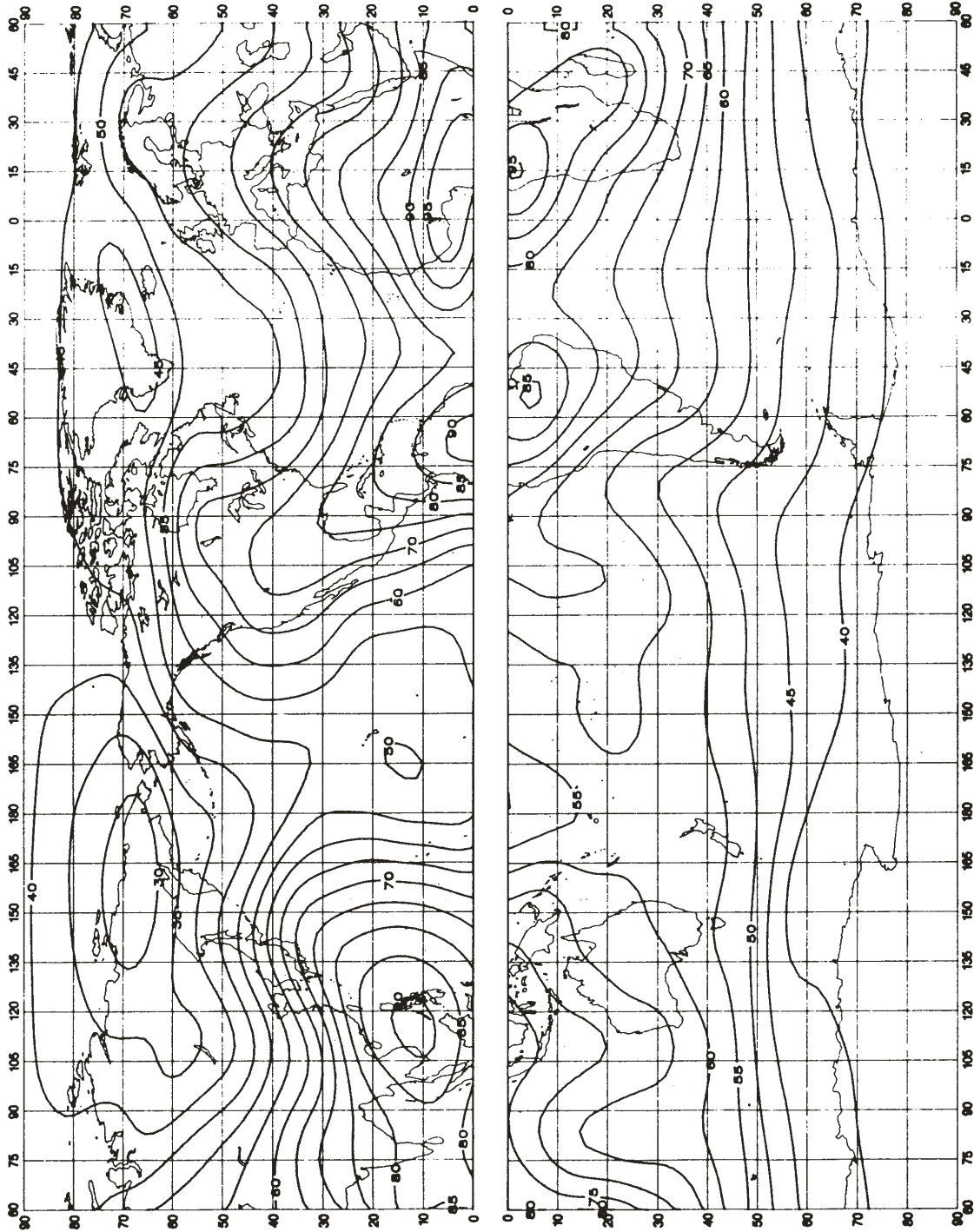


التردد (MHz)

انظر شرح الشكل 15 ب)

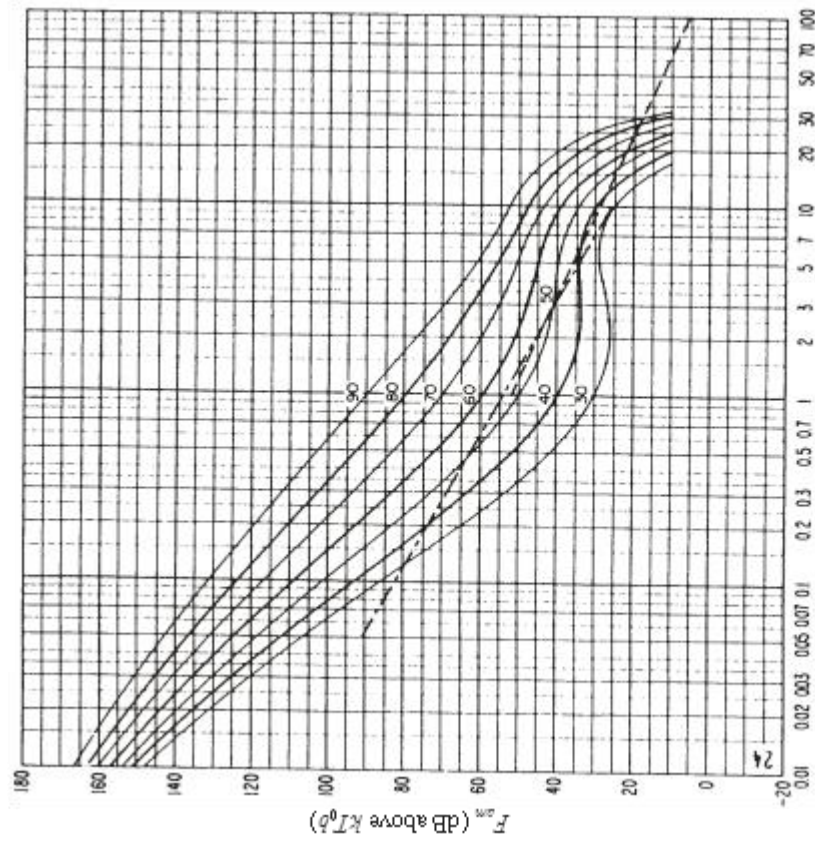
(الشكل 37 أ)

القيم المتوقعة للضوضاء الجوية الراديوية، F_{am} (بوحدة dB أعلى من kT_0b عند 1 MHz) (الخريف: 2000-1600 بالتوقيت المحلي)



P0372-37a

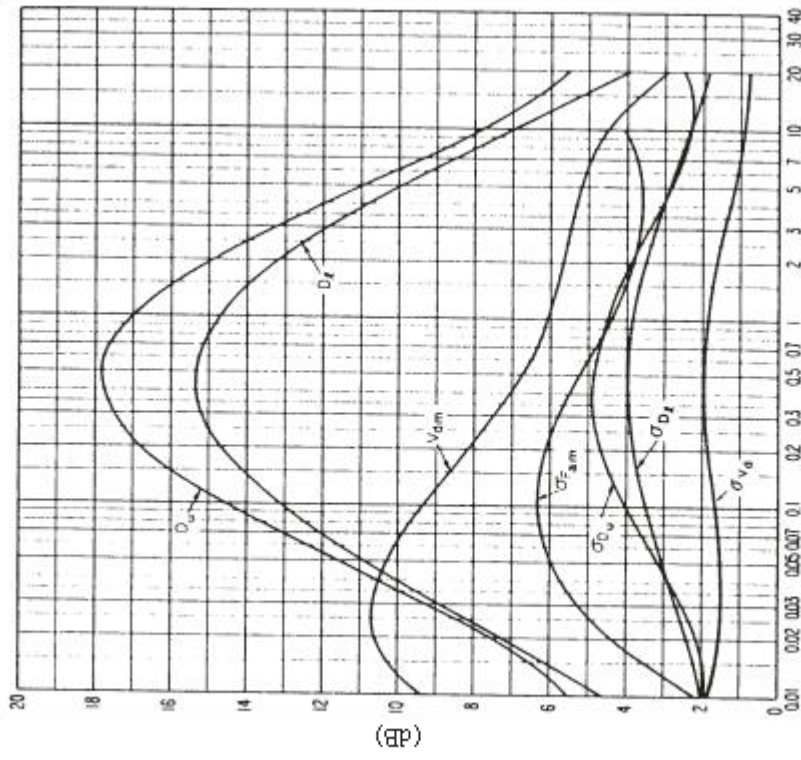
الشكل 37 ب) تغير الضوضاء الراديوية بدلالة التردد
(الخريف: 2000-1600 بالتوقيت المحلي)



التردد (MHz)

انظر شرح الشكل 15 ب)

الشكل 37 ج) معطيات بشأن متغيرات الضوضاء وسماتها
(الخريف: 2000-1600 بالتوقيت المحلي)

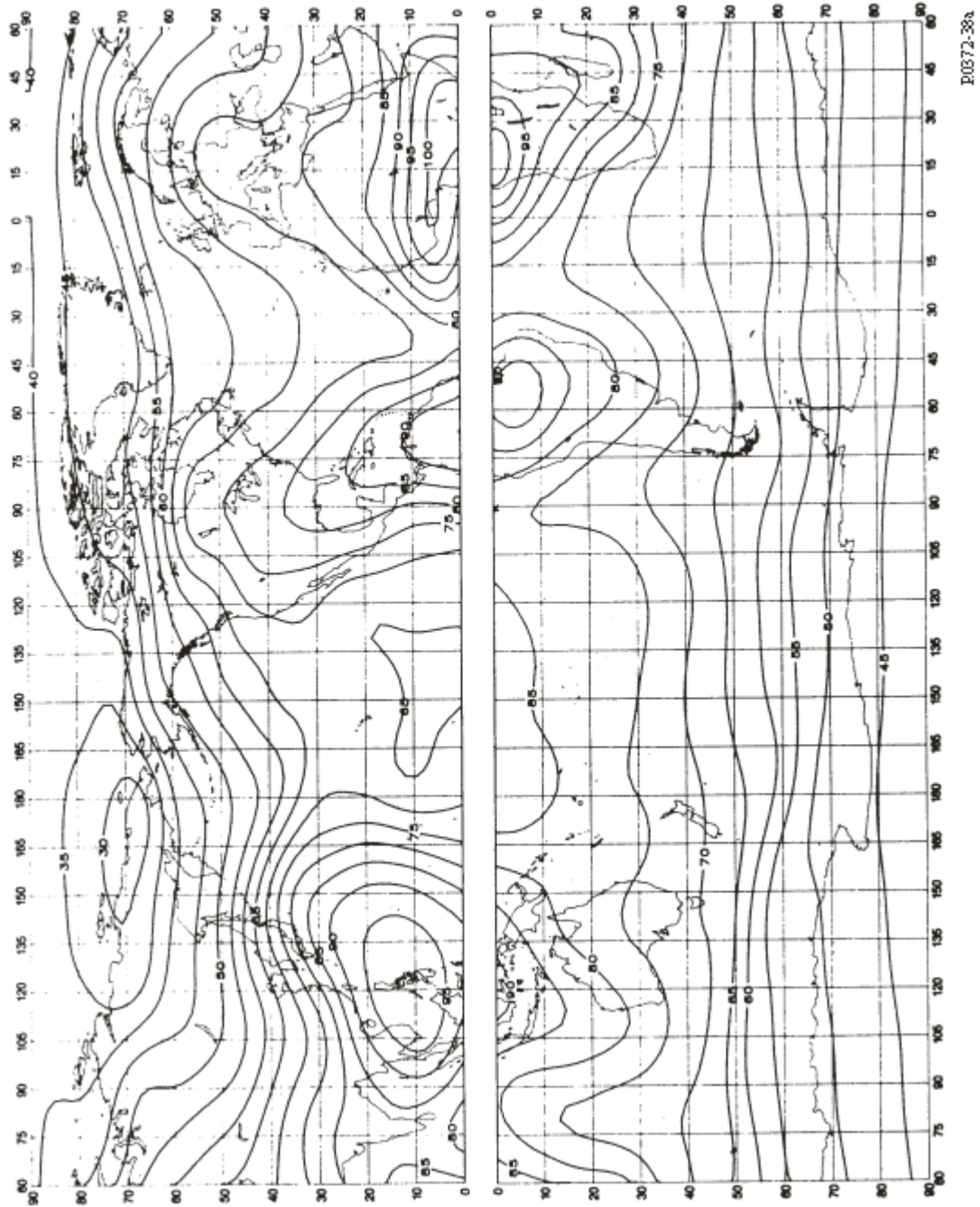


التردد (MHz)

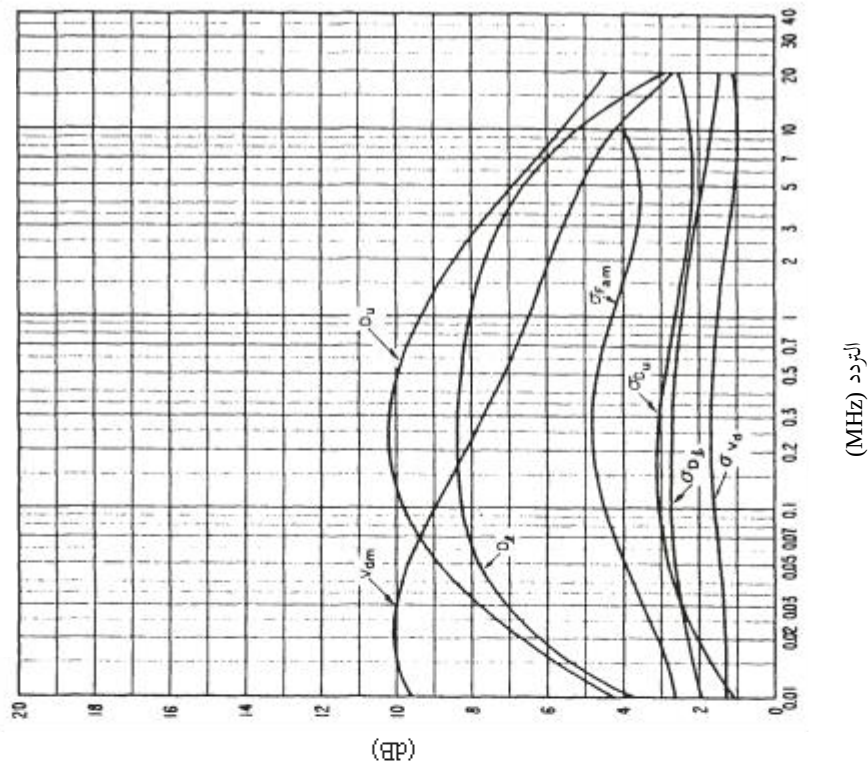
انظر شرح الشكل 15 ج)

الشكل 38 أ)

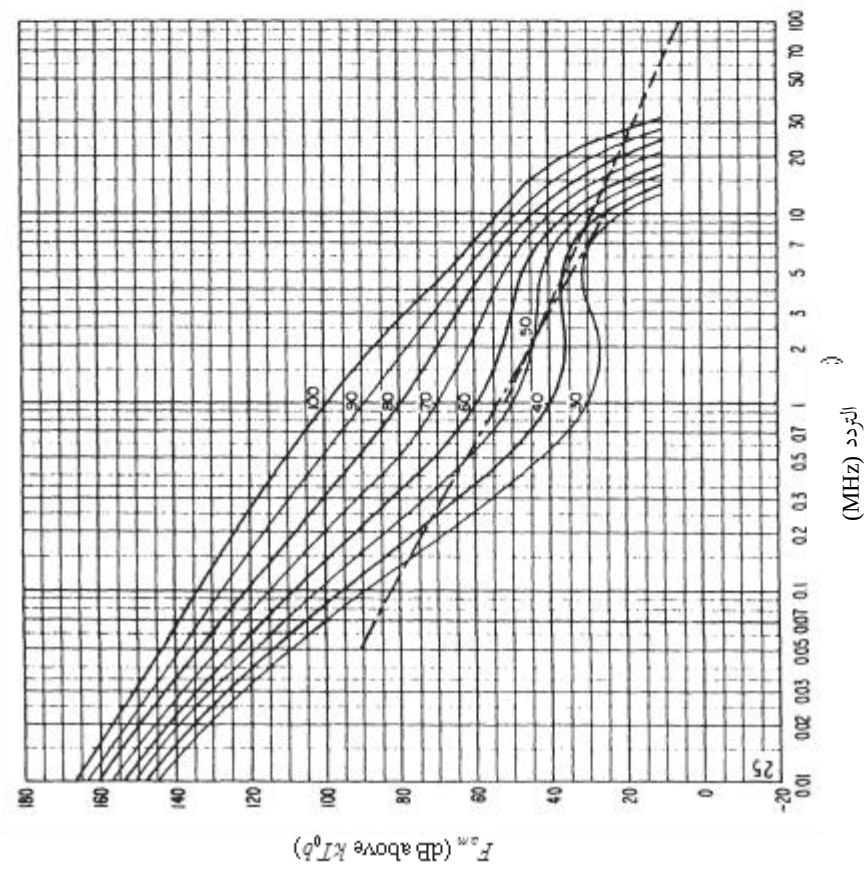
القيم المتوقعة للضوضاء الجوية الراديوية، F_{am} (بوحدة dB أعلى من kT_0b عند 1 MHz) (الخريف: 2000-2400 بالتوقيت المحلي)



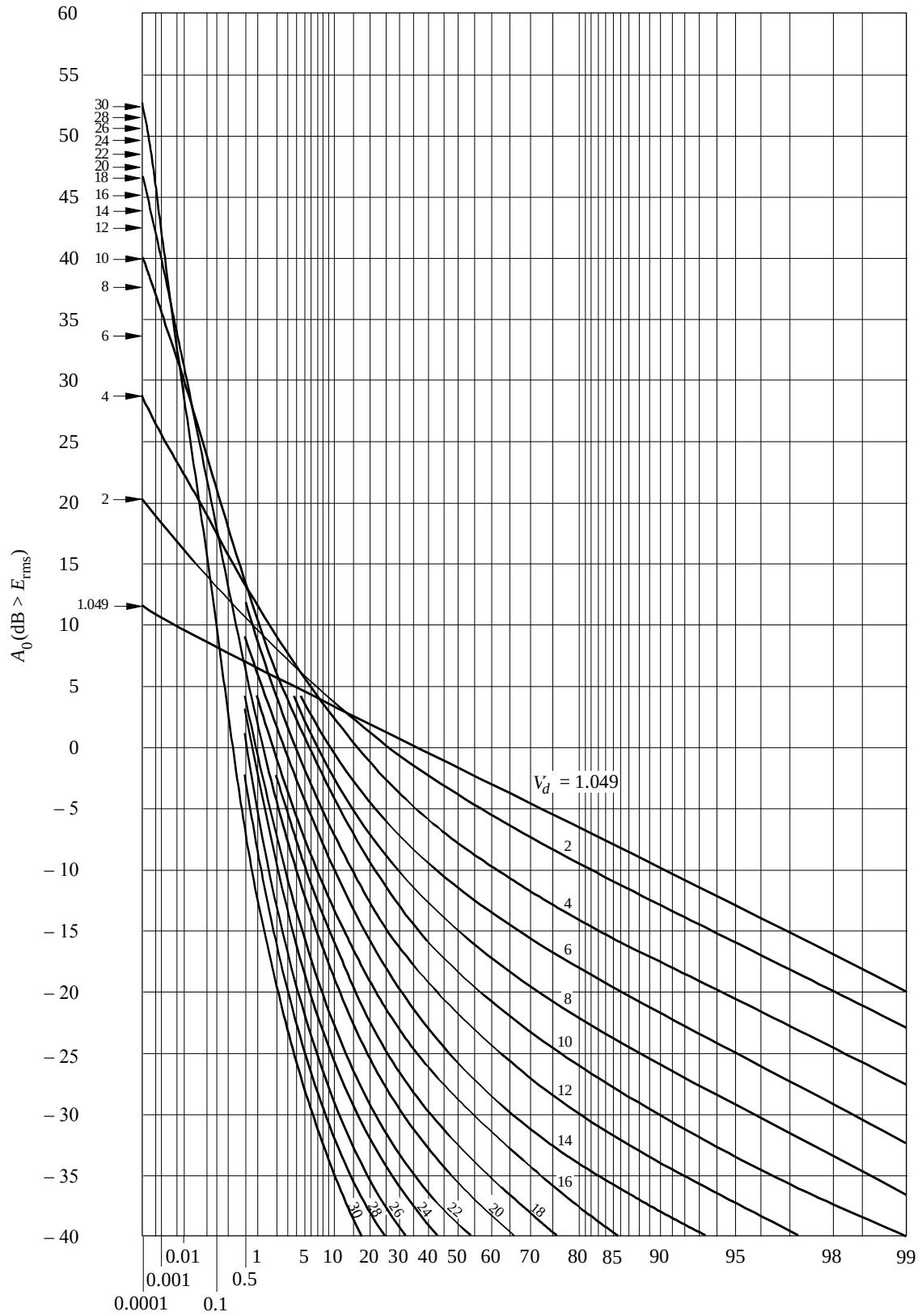
الشكل 38 ج)
معطيات بشأن متغيرات الضوضاء وسماتها
(الخريف: 2000-2400 بالتوقيت المحلي)



الشكل 38 ب) تغير الضوضاء الراديوية بدلالة التردد (الخريف: 2000-2400 بالتوقيت المحلي)



الشكل 39

توزيعات احتمال الاتساعات للضوضاء الجوية الراديوية من أجل قيم V_d المختلفة

النسبة المئوية من الزمن التي يتم خلالها تجاوز قيمة الصادات

الشكل 40

تحول قيم V_d المنطبقة على نطاق يبلغ 200 Hz إلى قيم V_d و V_{dm} تنطبق على عروض نطاقات أخرى، b

