

الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصية ITU-R P.372-12
(2015/07)

الضوضاء الراديوية

P السلسلة

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 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 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 بُعد	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 الموضوع في القرار ITU-R 1.

النشر الإلكتروني
جنيف، 2016

التوصية ITU-R P.372-12

الضوضاء الراديوية*

(المسألة 214/3 ITU-R)

(1951-1953-1956-1959-1963-1974-1978-1982-1986-1990-1994-2001-2003-2007-2009-2013-2015)

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 المحرّة وعن درجة حرارة الطبقة السفلى من الغلاف الجوي. وتقدم عوامل درجات الحرارة والضوضاء لكي توفر أساساً لتقدير أداء النظام.

مصطلحات أساسية

الضوضاء الراديوية، عامل الضوضاء، درجة حرارة الضوضاء

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 تفرضه الضوضاء الخارجية الدنيا؛

د) ضرورة توفر بيانات 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 البيانات 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)»

* إن البرنامج الحاسوبي المصاحب لخصائص الضوضاء الجوية وتطبيقاتها التي تعزى إلى البرق وإلى الضوضاء الاصطناعية والمحرّة (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 لقطاع الاتصالات الراديوية.

ظاهرة كهرمغناطيسية 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.

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 تفرجات 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 كهربي 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:

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

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 = $10^{-23} \times 1,38 \text{ J/K}$

T_0 : درجة الحرارة المرجعية (K) يفترض أنها 290 K

b : عرض نطاق قدرة الضوضاء لنظام الاستقبال (Hz)

l_c : خسارة دارة 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 لخسارات دائرة الهوائي،

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

f_t : هو عامل الضوضاء المصاحب لخسارات 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) كالتالي:

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

حيث:

$10 \log p_n = P_n$: القدرة المتيسرة (W)

$10 \log b = B$ ، 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.

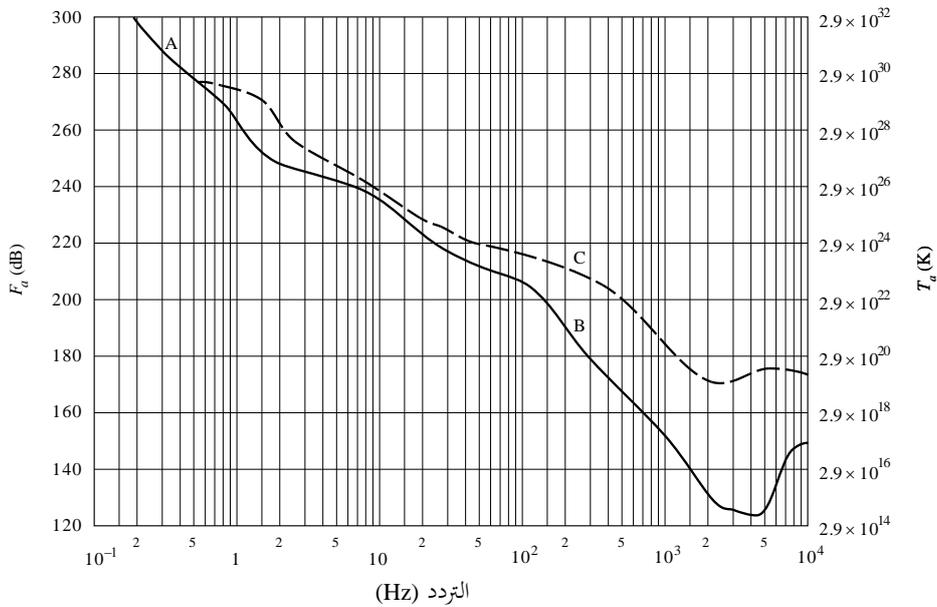
3 سويات الضوضاء بدلالة التردد

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. وتجدر الإشارة إلى أنه لا يوجد في مدى الترددات هذا سوى تغييرات فصلية قليلة جداً نمائية 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 10⁴ Hz)



A: نبضات صغيرة

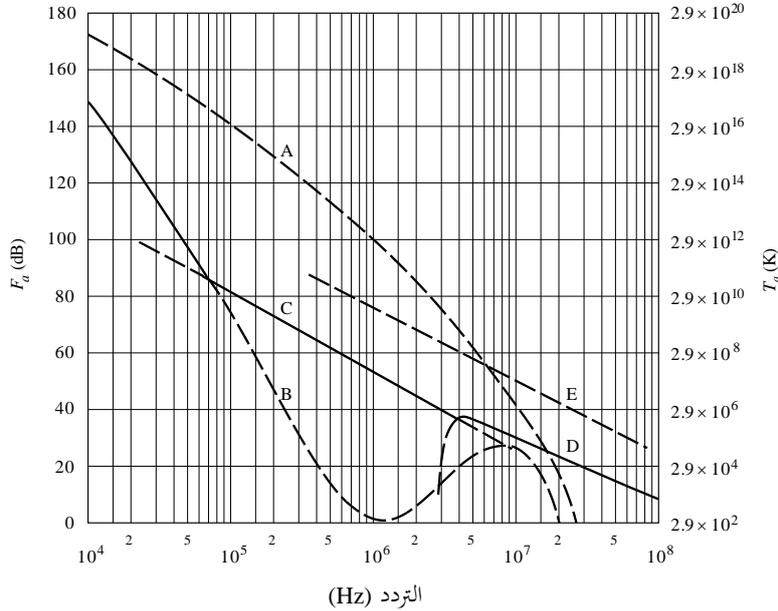
B: القيمة الدنيا المتوقعة للضوضاء الجوية

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

P.0372-02

ويوضح الشكل 3 مدى التردد التي تتراوح ما بين 10^8 و 10^{11} Hz أي بين 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 أشير 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 إلى 5 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.

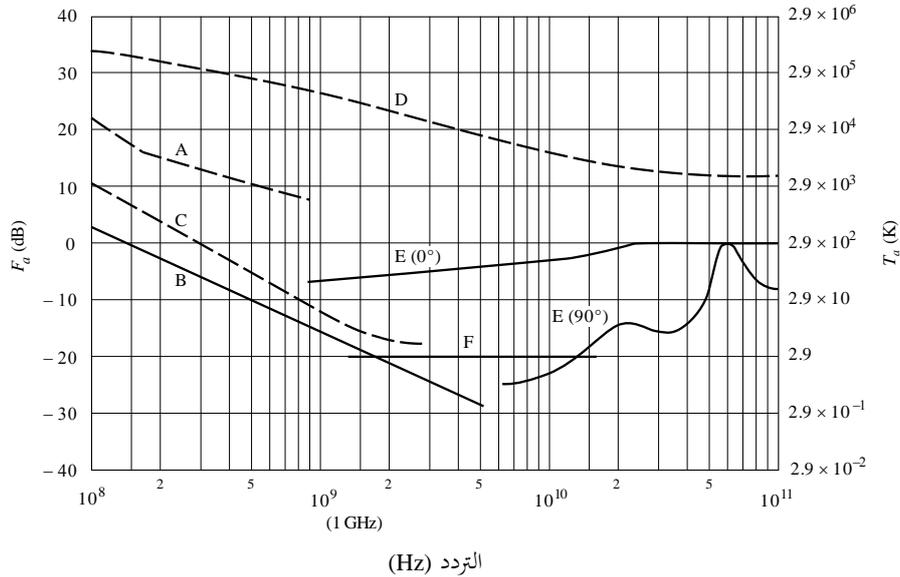
وفيما يتعلق بالضوضاء المجرية توضح القيمة المتوسطة (في السماء كلها) في منحنى الخطوط المتواصلة الذي يحمل دلالة "الضوضاء المجرية" (الشكلان 2 و 3). وتشير القياسات إلى تغير يبلغ ± 2 dB بالنسبة إلى هذا المنحنى في حالة إهمال الحجب الأيونوسفيري. وتقل السوية الدنيا للضوضاء المجرية (هوائي ذو حزمة ضيقة موجهة نحو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

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

الشكل 3

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



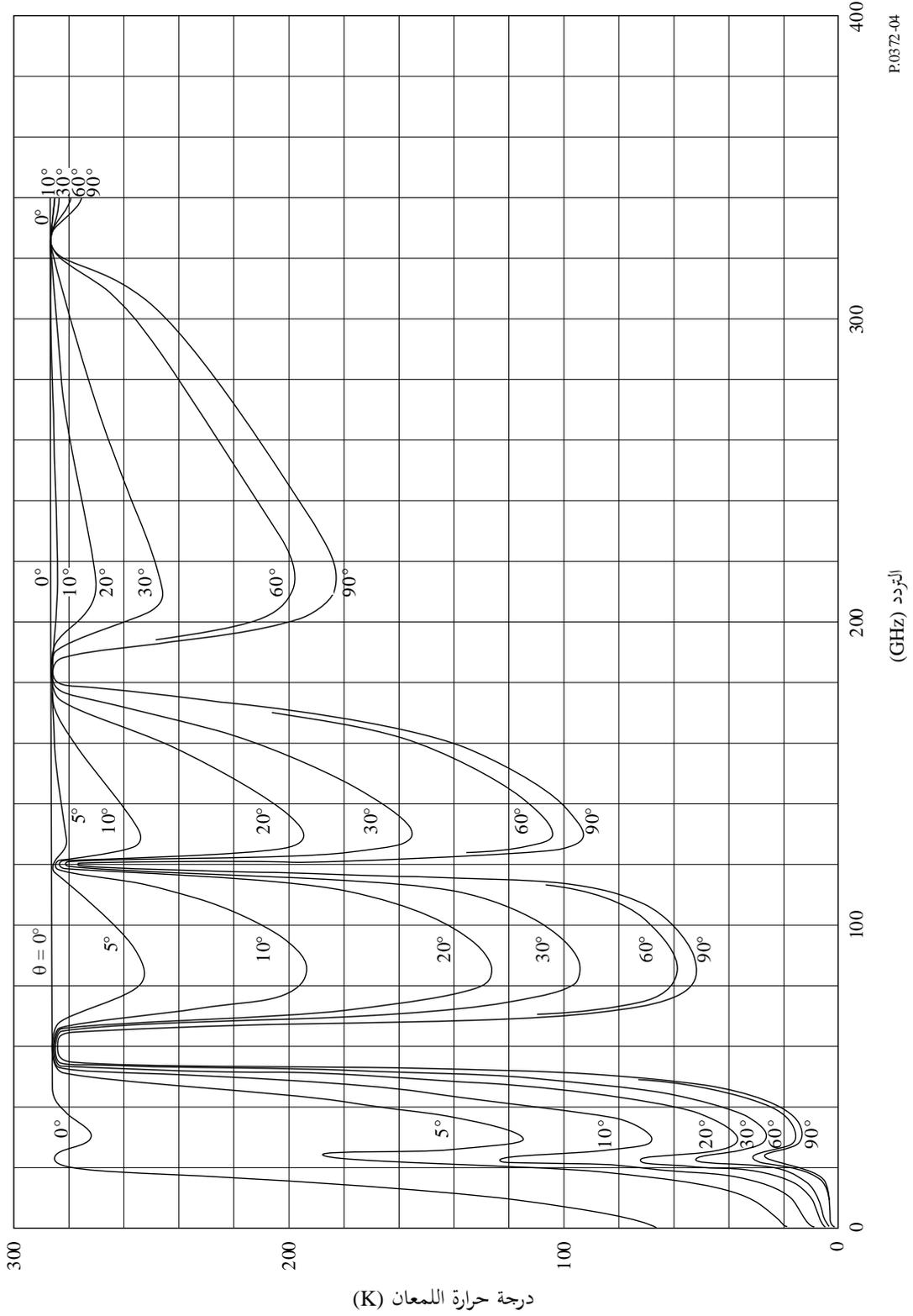
- A: قيمة متوسطة مقدرة للضوضاء الاصطناعية في منطقة للأعمال
 B: ضوضاء مجرية
 C: ضوضاء مجرية (باتجاه المركز المجري مع فتحة حزمة ضيقة للغاية)
 D: شمس هادئة (فتحة حزمة مقدارها 1/2° موجهة نحو الشمس)
 E: ضوضاء في السماء تعزى إلى الأكسجين وإلى بخار الماء (هوائي بحزمة ضيقة جداً) منحني أعلى وزاوية ارتفاع تبلغ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

P0372-03

ويوضح الشكلان 4 و 5 درجة حرارة اللمعان 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 g 7,5 ودرجة الحرارة على السطح K 288 وارتفاع السلم البالغ 2 km لبخار الماء). وقد استعمل للجو الجفاف الجو المعياري للولايات المتحدة لعام 1976. وتضاف المساهمة النموذجية لبخار الماء فوق طبقة التروبوبوز البينية.

الشكل 4

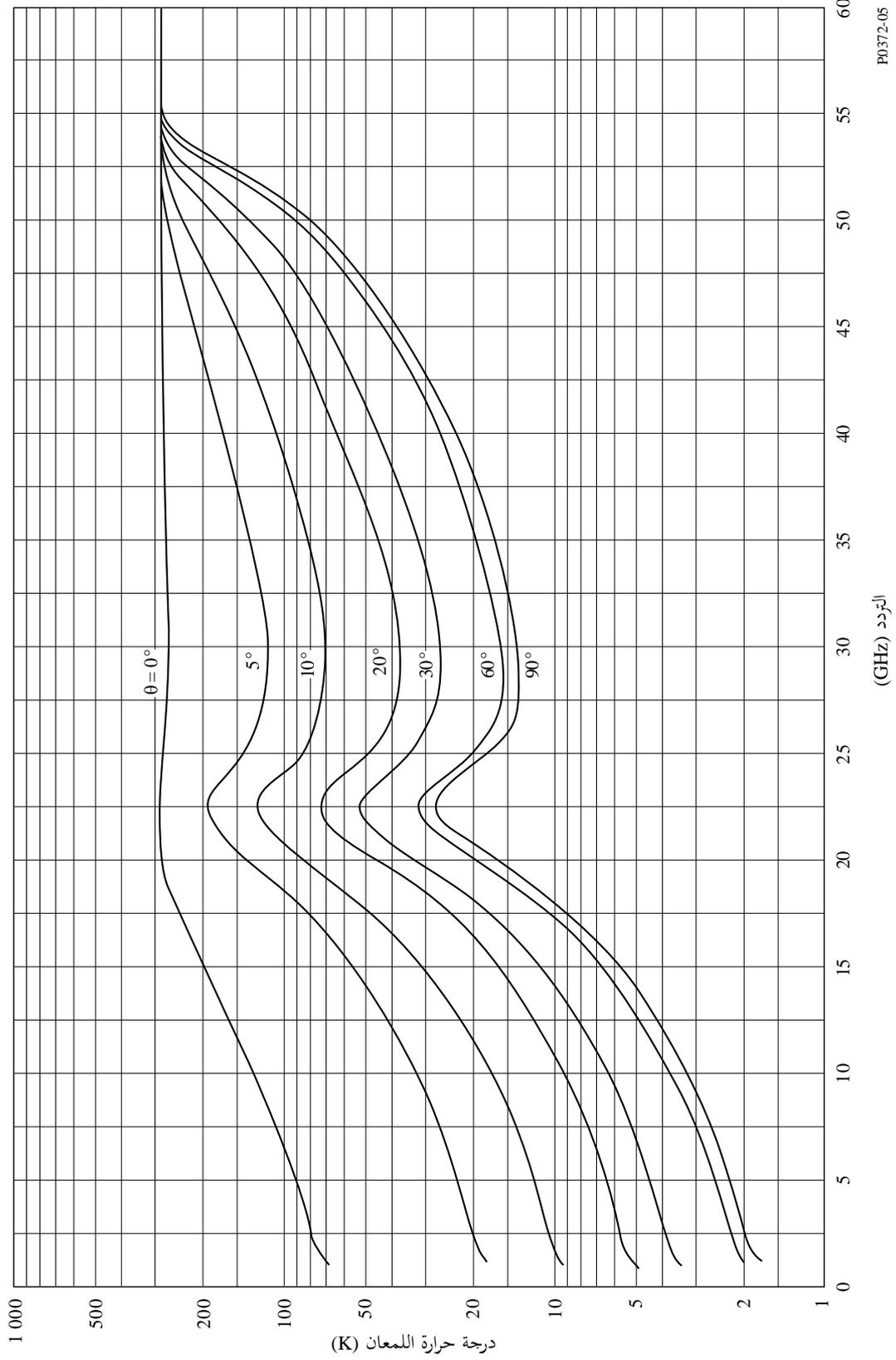
درجة حرارة اللمعان (الجو الصافي) لكثافة بخار الماء البالغة $7,5 \text{ g/m}^3$
 (درجة الحرارة والضغط على الأرض 15°C و 1023 mb)، θ هي زاوية الارتفاع



درجة حرارة اللمعان (K)

الشكل 5

درجة حرارة المعدن (الجو الصافي) لكثافة بخار الماء البالغة $7,5 \text{ g/m}^3$
 (توسع سلم الإحداثيات السينية في الشكل 4)، θ هي زاوية الارتفاع



P0372-05

التردد (GHz)

درجة حرارة المعدن (K)

1.4 الضوضاء الراديوية التي تتعرض لها المحطات الأرضية جراء الغلاف الجوي الأرضي

يمكن في حالة الاتصالات أرض-فضاء إذا عرف توهين الإشارة الصادرة عن مرسل مركبة فضائية إلى مستقبل قرب سطح الأرض، الحصول على تقدير جيد لدرجة حرارة المعدان (أي ضوضاء السماء) لترددات تتراوح ما بين 2 و 30 GHz في اتجاه مسير الانتشار من المستقبل إلى مرسل المركبة الفضائية، من الصيغة التالية:

$$(10) \quad T_b = T_{mr} (1 - 10^{-A/10}) + 2.7 \times 10^{-A/10} \quad K$$

حيث:

T_b : حرارة المعدان (K) عند هوائي المحطة الأرضية

A: التوهين الجوي الكلي باستثناء خبو التلاؤ (dB)

T_{mr} : متوسط حرارة المشعة الجوية (K).

وعندما تُعرف حرارة السطح T_s (K)، يمكن تقدير متوسط حرارة المشعة الجوية، T_{mr} ، في الطقس الصحو والغائم على النحو التالي:

$$(11) \quad T_{mr} = 37.34 + 0.81 \times T_s \quad K$$

وفي غياب البيانات المحلية، يمكن استخدام متوسط حرارة المشعة الجوية، T_{mr} ، 275 K للطقس الصحو والماطر.

وقد أجريت في الولايات المتحدة الأمريكية دراسات للنقل الإشعاعي بما في ذلك آثار الغيوم. وتم حساب درجات حرارة المعدان في السمات من بيانات الأرصاد الجوية عن سنة نموذجية اختيرت من قاعدة بيانات 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) و ب) لخمسة 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 المعدان في السمات المنخفضة جداً مما يعني أن كثافة بخار الماء هي ضعيفة جداً (أقل من 3 g/m³ تقريباً) ومع ذلك يوضح الشكل 4 (7,5 g/m² لكثافة بخار الماء) تطابق درجات حرارة المعدان عند 90 GHz و 44 GHz تقريباً.

2.4 الضوضاء الراديوية التي تتعرض لها المحطات الفضائية جراء الغلاف الجوي الأرضي و سطح الأرض

يمكن حساب درجة حرارة المعدان 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:

$$(12) \quad T = \epsilon T_{surf} + \rho T_{am}$$

حيث:

ϵ : قدرة البث الفعالة للسطح

ρ : معامل الانعكاس الفعال

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

T_{am} : المتوسط المرجح لدرجة حرارة المعدان للسماء.

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

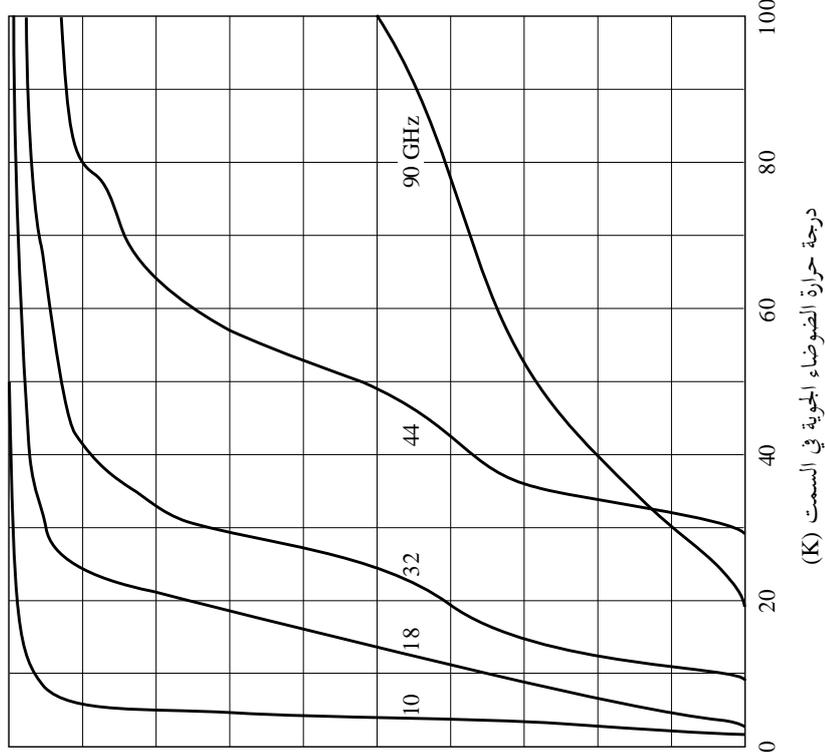
ويعمل الشكل 7 أ) قدرة البث ودرجة حرارة المعدن على سطح الماء الهادئ للاستقطاب الرأسي والأفقي وتبعاً لزاويتي الورد. وتحدد الإشارة إلى أنه لا يوجد فرق بين مياه البحر والمياه العذبة في الترددات الأعلى من 5 GHz.

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

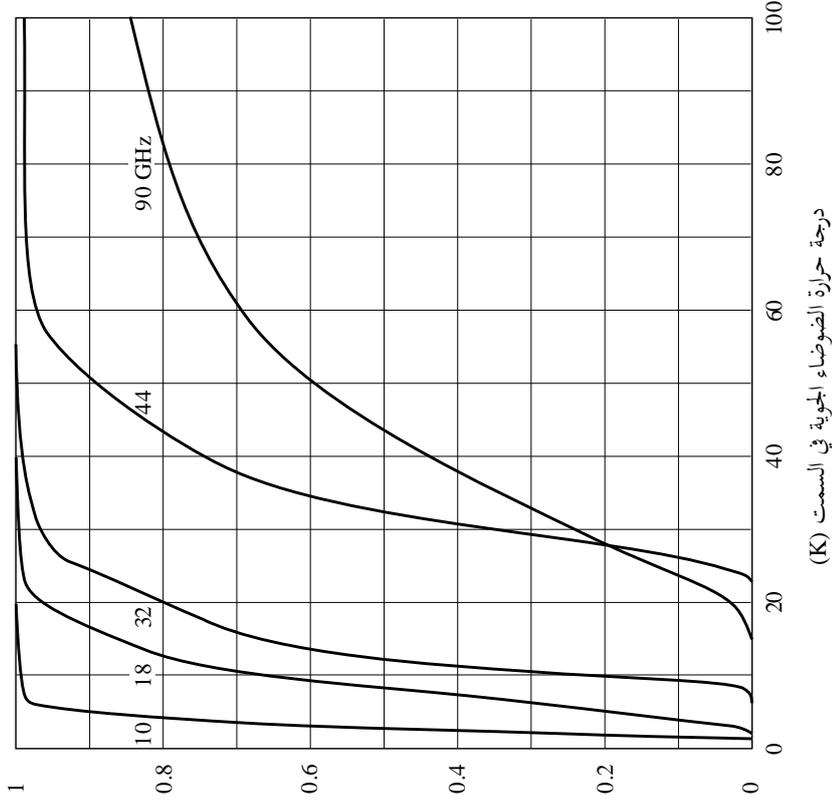
ويعمل الشكلان 7 ج) و 7 د) الزيادة في درجة حرارة المعدن على سطح البحر مع سرعة الرياح وتفيد هذه المنحنيات في كشف العاصفة.

الشكل 6

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



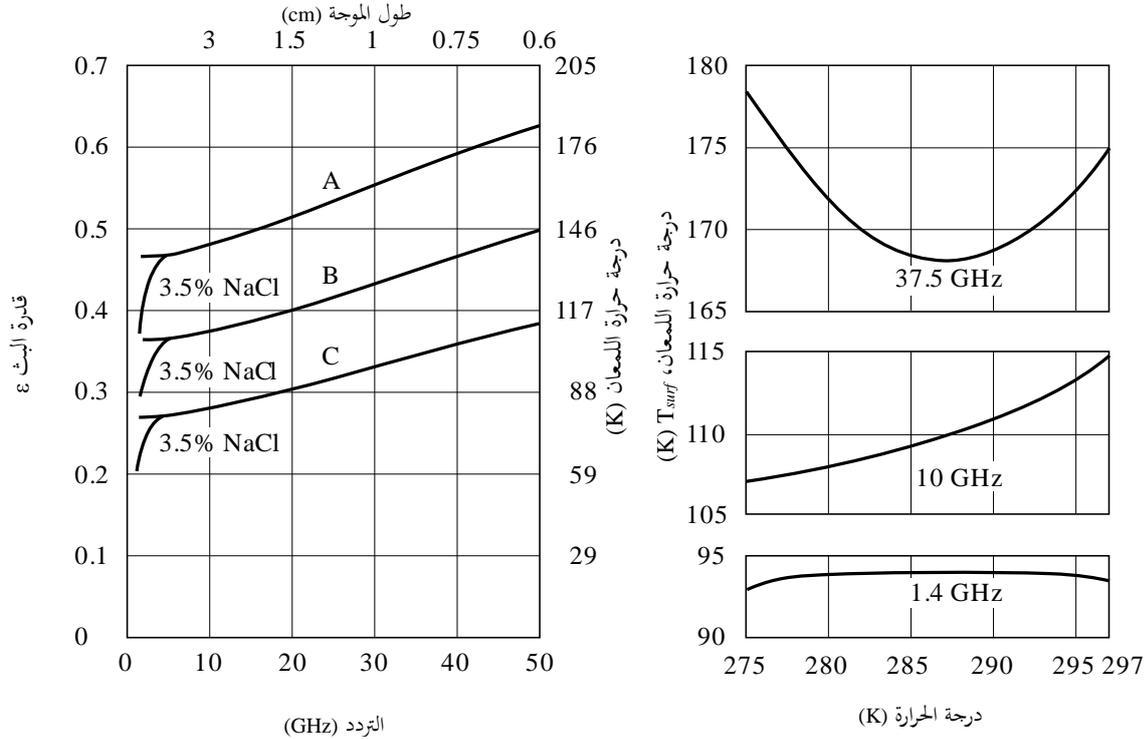
P.0372-06



الكسر السنوي

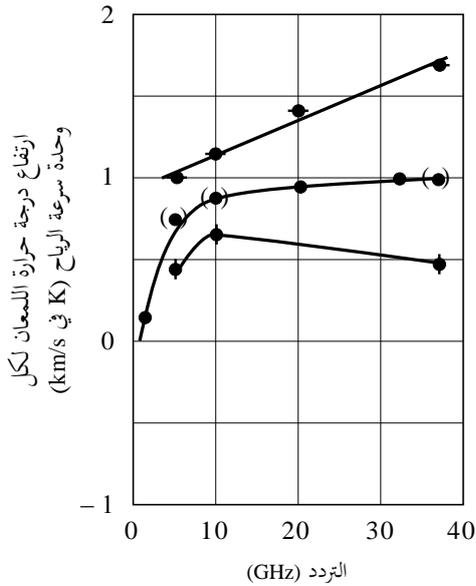
الشكل 7

تغيرات قدرة البث ودرجة حرارة اللمعان لسطح البحر



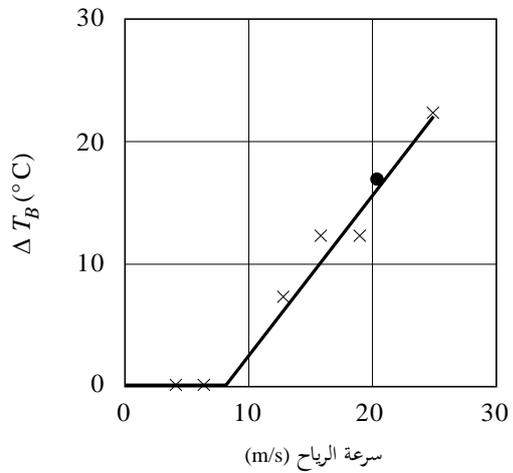
أ) قدرة البث لسطح الماء الساكن
 A: الاستقطاب الرأسي
 B: زاويتا الورد 0° و 45°
 C: الاستقطاب الأفقي

ب) درجة حرارة اللمعان لسطح البحر بدلالة
 درجة حرارة سطح البحر (زاوية النظر)
 لملوحة تبلغ 36×10^{-3}



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

● زاوية النظر
 ◆ الاستقطاب الرأسي (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 ساتل يستعمل حزمة تغطي الأرض (بجيث 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 g/m³ وتغطية غيوم حجمها 50%. ويعطى مخطط الإشعاع للهوائي الذي يؤمن تغطية الأرض بالمعادلة $G(\varphi) = -3(\varphi/8,715)^2$ 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 منحنى الضوضاء المجرية (انظر الفقرة 6).

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

$$F_{am} = c - d \log f \quad (13)$$

ويعبر عن f بالوحدة MHz وتأخذ c و d القيم المشار إليها في الجدول 1. وتجدر 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

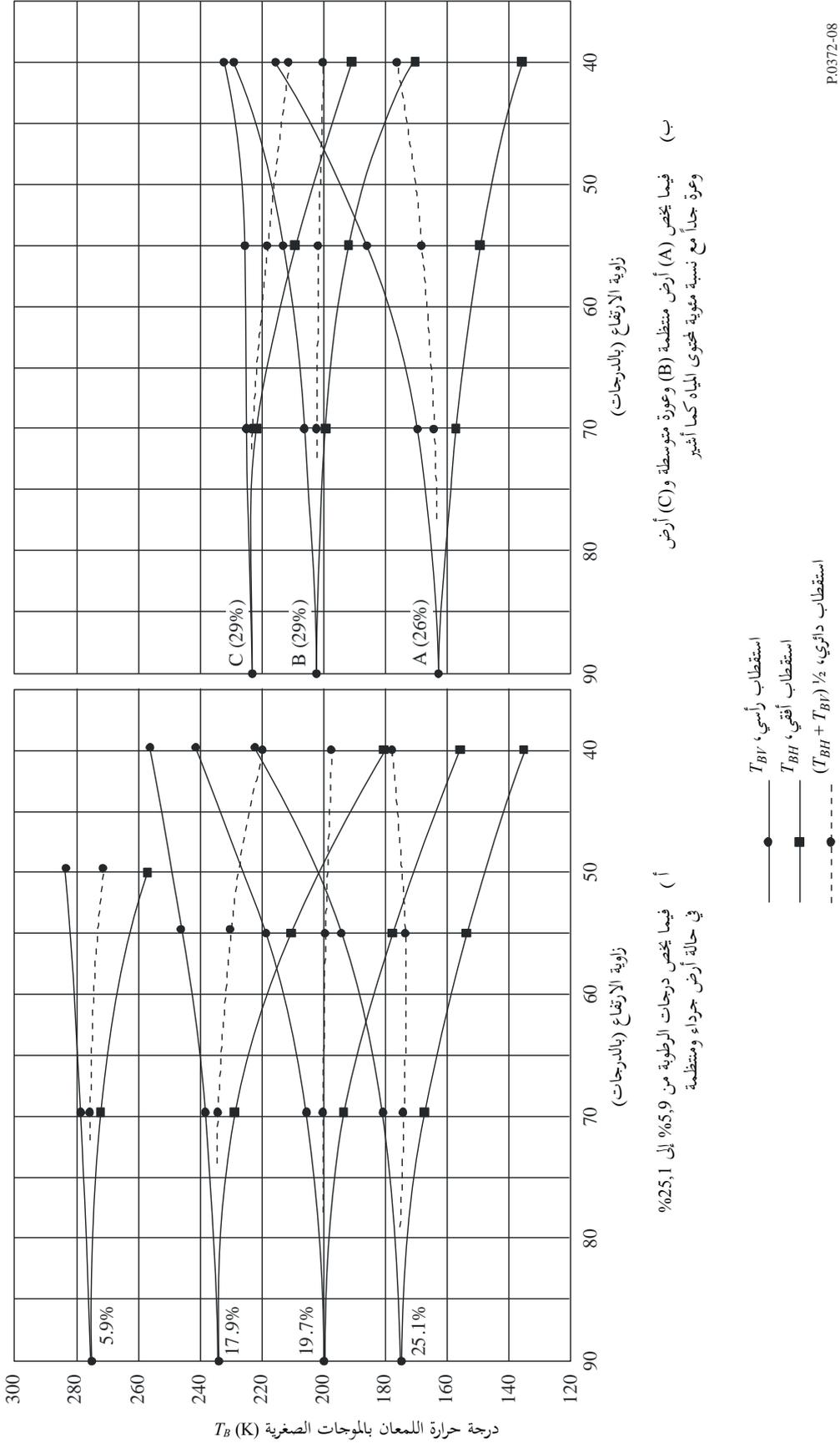
د	c	فئة البيئة
27,7	76,8	مدينة (المنحنى A)
27,7	72,5	سكنية (المنحنى B)
27,7	67,2	ريفية (المنحنى C)
28,6	53,6	ريفية تماماً (المنحنى D)
23,0	52,0	ضوضاء مجرية (المنحنى E)

وفيما يخص الفئات "منطقة أعمال" و "منطقة سكنية" و "منطقة ريفية"، يعطى مدى الترددات كله أعلاه متوسط الانحرافين العشريين الأعلى والأدنى D_u و D_l ، 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 تغير 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.

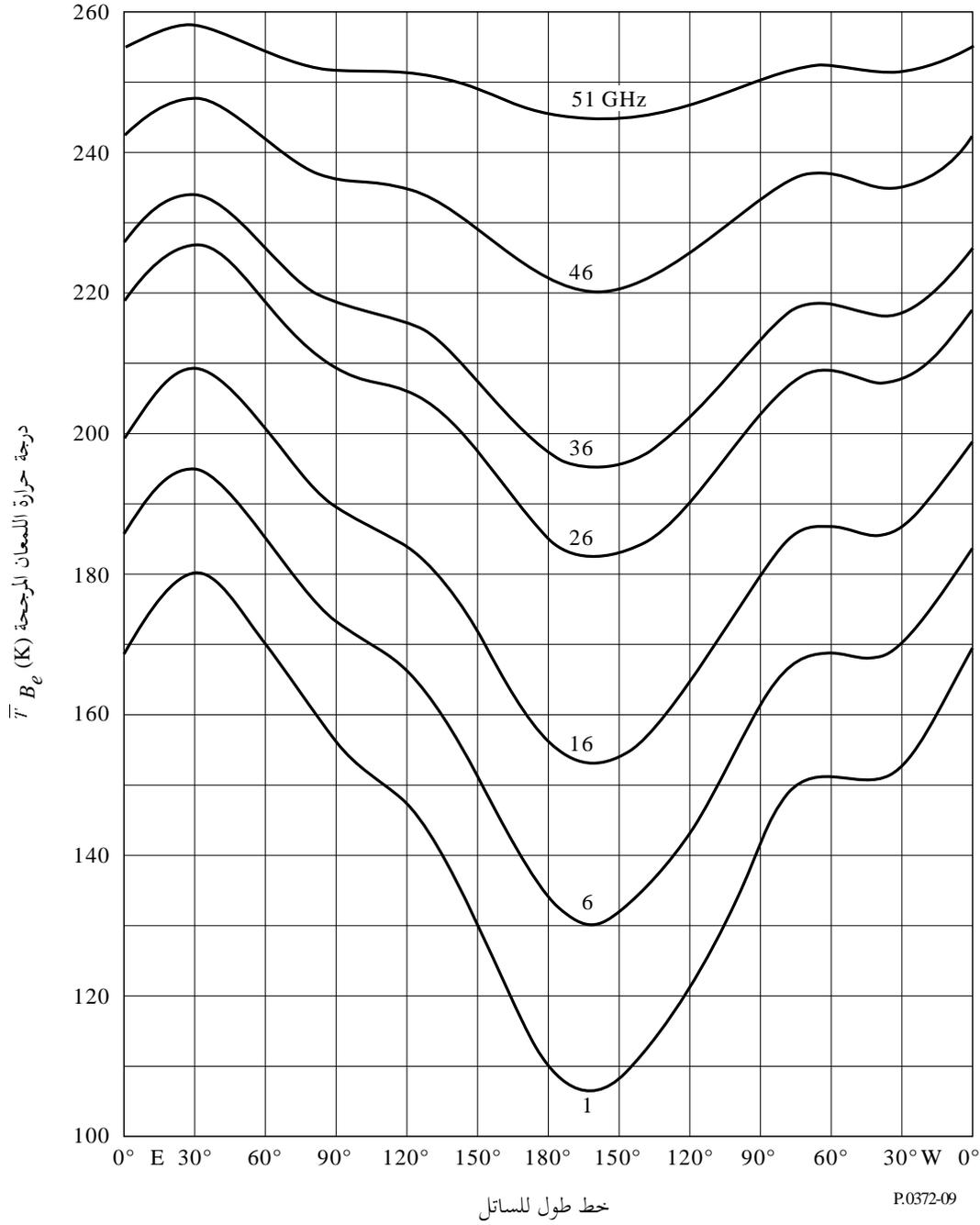
الشكل 8

درجة حرارة المعدن للأرض عند 1 430 MHz بدلالة زاوية الارتفاع



الشكل 9

درجة حرارة المعان المرجحة للأرض بدلالة خط الطول اعتباراً من ساتل مستقر
بالنسبة إلى الأرض في ترددات تتراوح ما بين 1 و51 GHz

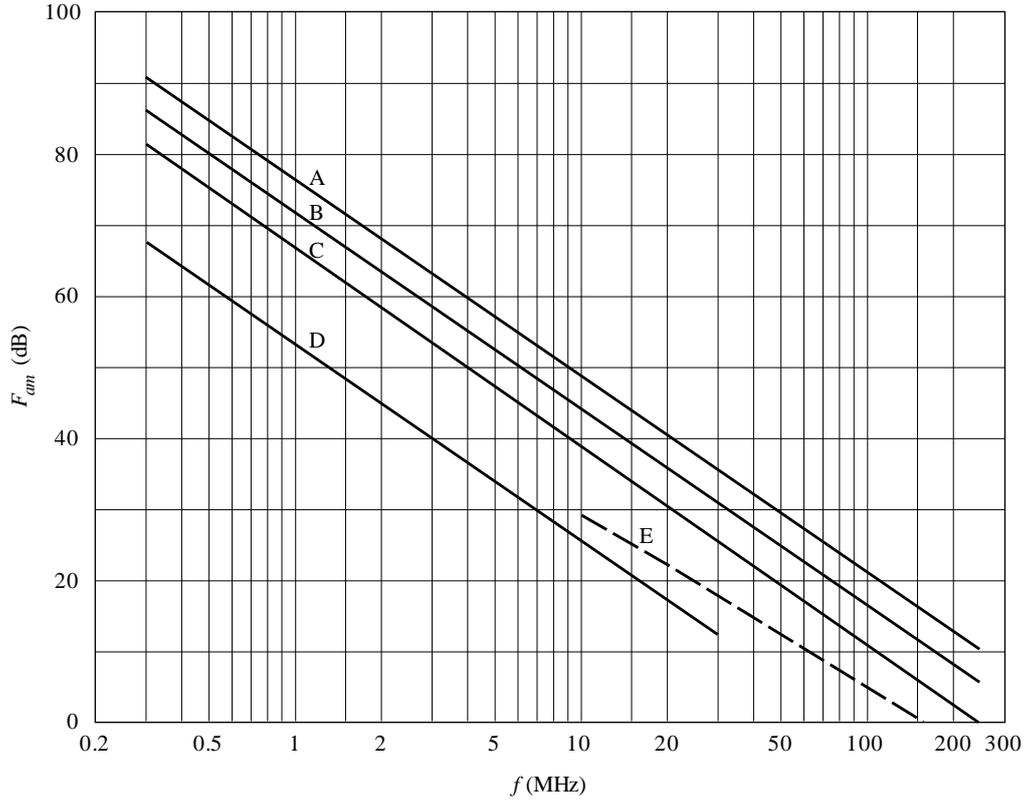


P.0372-09

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 المقيسة مع هوائي وحيد الاستقطاب رأسي قصير دون خسارة



فئات البيئة:

المنحنيات A: مدينة

B: سكنية

C: ريفية

D: ريفية هادئة

E: ضوضاء مجرية (انظر الفقرة 6)

P.0372-10

الجدول 2

قيم الانحرافات العشرية للضوضاء الاصطناعية

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

الجدول 3

قياسات للضوضاء الاصطناعية خارج المباني أجريت في أوروبا

الانحراف العشري الأدنى			الانحراف العشري الأعلى			عامل الضوضاء المتوسط (kT_0b فوق dB) F_n			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 (kT_0b فوق dB) F_n		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_n (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:

$$(14) \quad F_{am} = 52 - 23 \log f$$

حيث:

f : التردد (MHz).

وتبلغ التغيرات العشرية لقدرة الضوضاء المجرية المتوسطة ± 2 dB.

بالنسبة لهذه الظروف، فإن التغيرات 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 (14) 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 وسدم 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) والطالع المستقيم α (ساعات في الشرق حول خط الاستواء اعتباراً من خط الاعتدال الربيعي). وتدرج الأكفة مباشرة بانحراف (K) نسبة إلى 2,7 K حيث تبلغ الدقة 1 K. وتكون الفواصل بين الأكفة كالتالي:

- K 2 تحت K 60،

- K 4 من 60 إلى K 100،

- K 10 من K 100 إلى K 200،

- K 20 فوق K 200.

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:

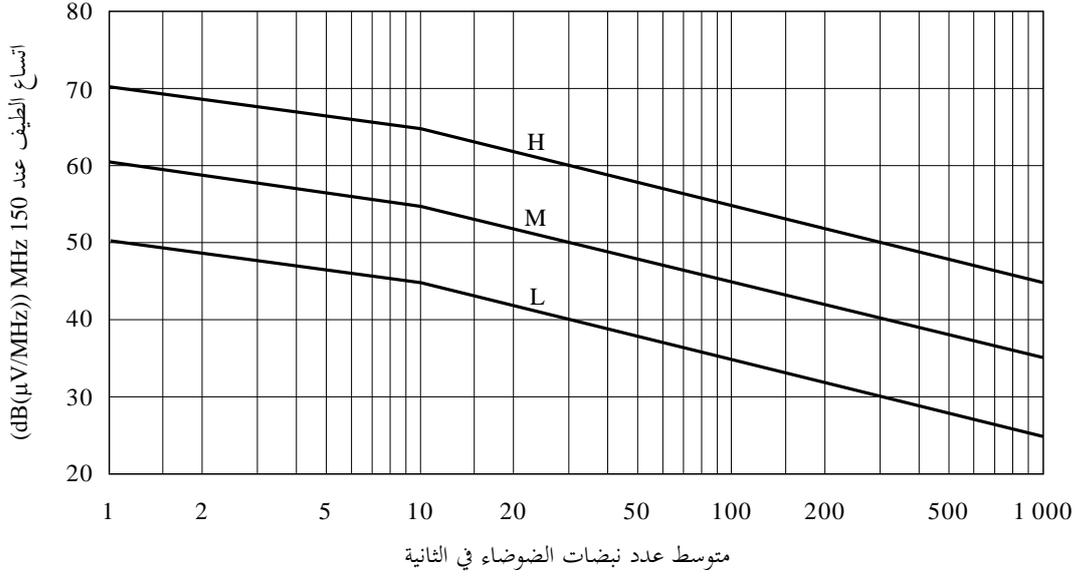
$$(15) \quad T_b(f_i) = T_b(f_0) (f_i/f_0)^{-2.75} + 2.7 \quad K$$

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)



فيما يخص ترددات غير الترددات 150 MHz ترفع
أو تخفّض المنحنيات H و M و L طبقاً للصيغة التالية:

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

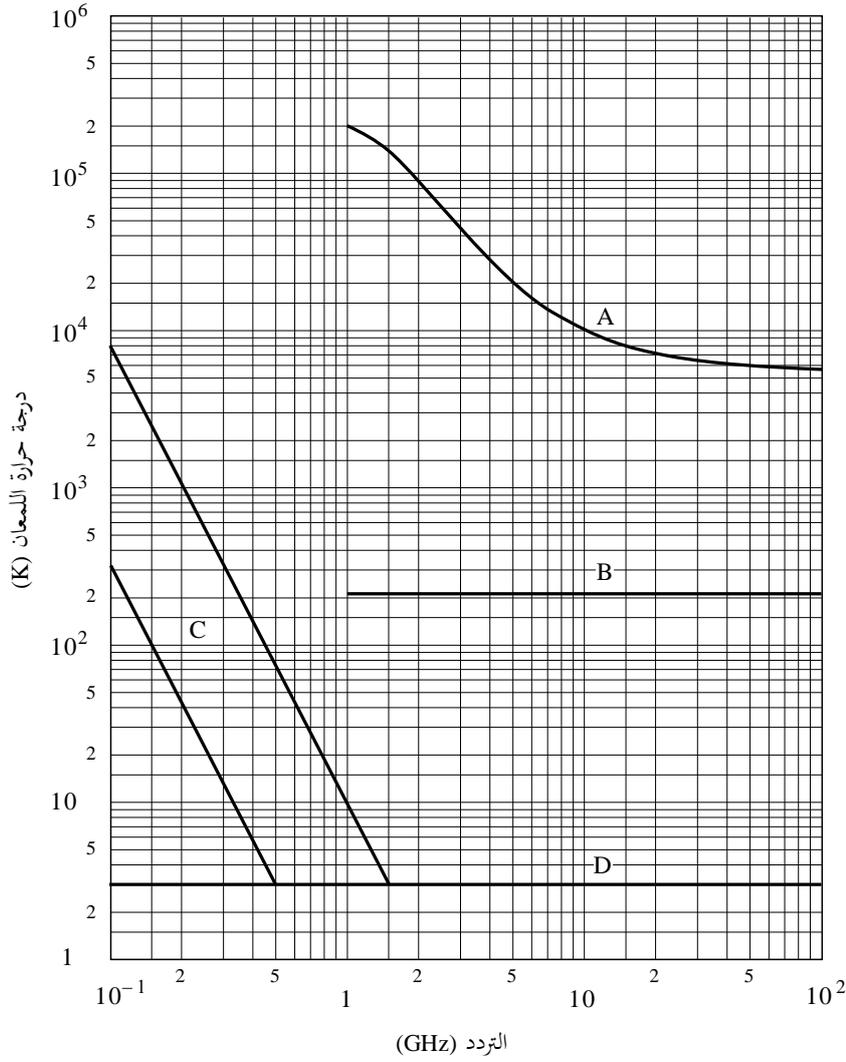
حيث يعبر عن A بوحدات dB (μV/MHz) لكل 10 نبضات في الثانية.

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)

الشكل 12
مصادر الضوضاء من خارج الأرض



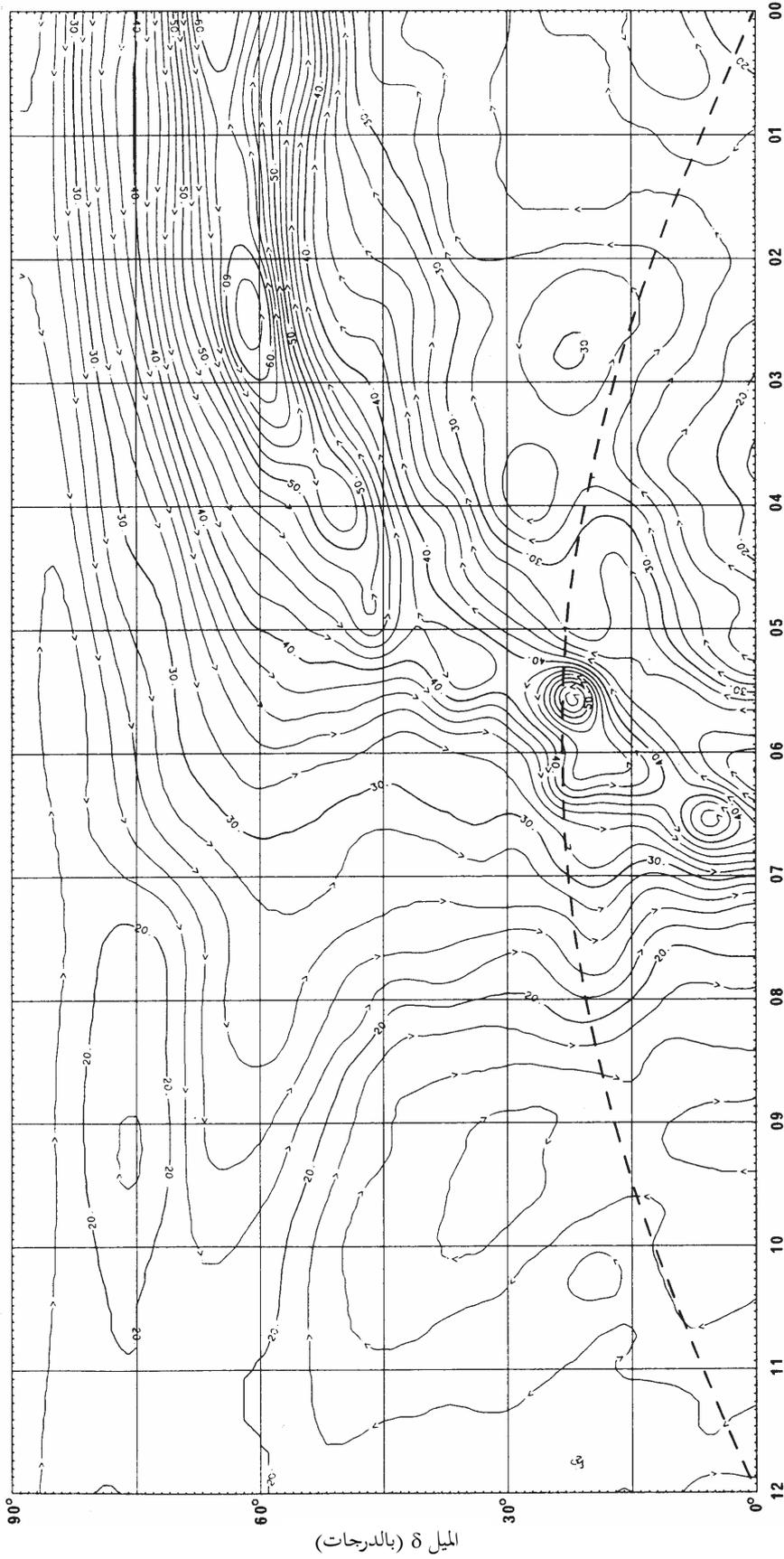
- التردد (GHz)
- A: شمس هادئة
 - B: قمر
 - C: مدى الضوضاء المجرية
 - D: خلفية كونية

P.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 $(\pm 8,7^\circ)$ ويشير إلى المصادر الراديوية الأكثر كثافة.

الشكل 13 أ)

درجة حرارة السماء الراديوية عند 408 MHz

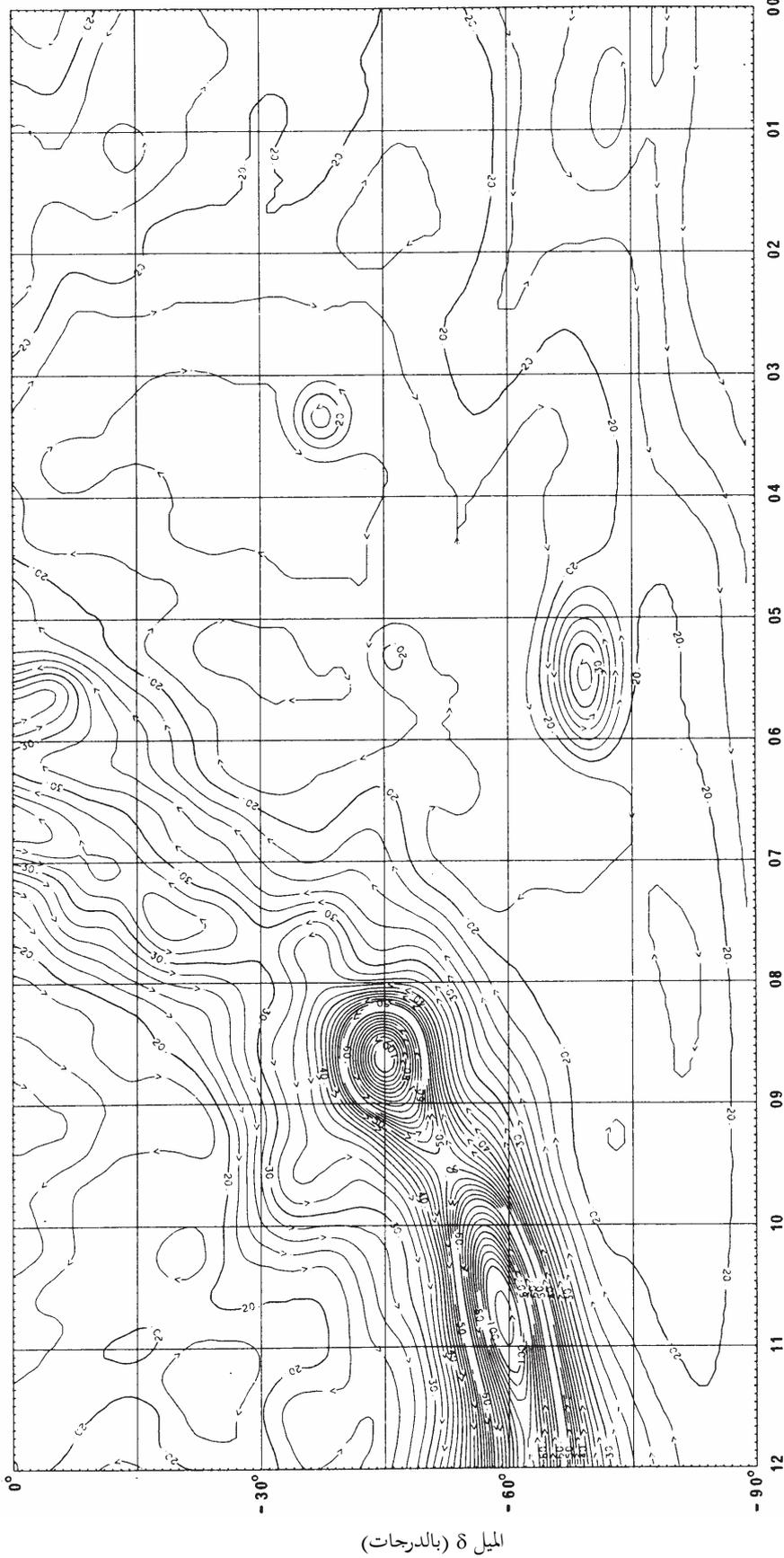
الطالع المستقيم، α (h)

P.0372-13a

الطالع المستقيم: 1200-h 0000 h، الميل: 0° إلى 90° ولنحنى المشروط إهليلجي

الشكل 13 ب)

درجة حرارة السماء الراديوية عند 408 MHz



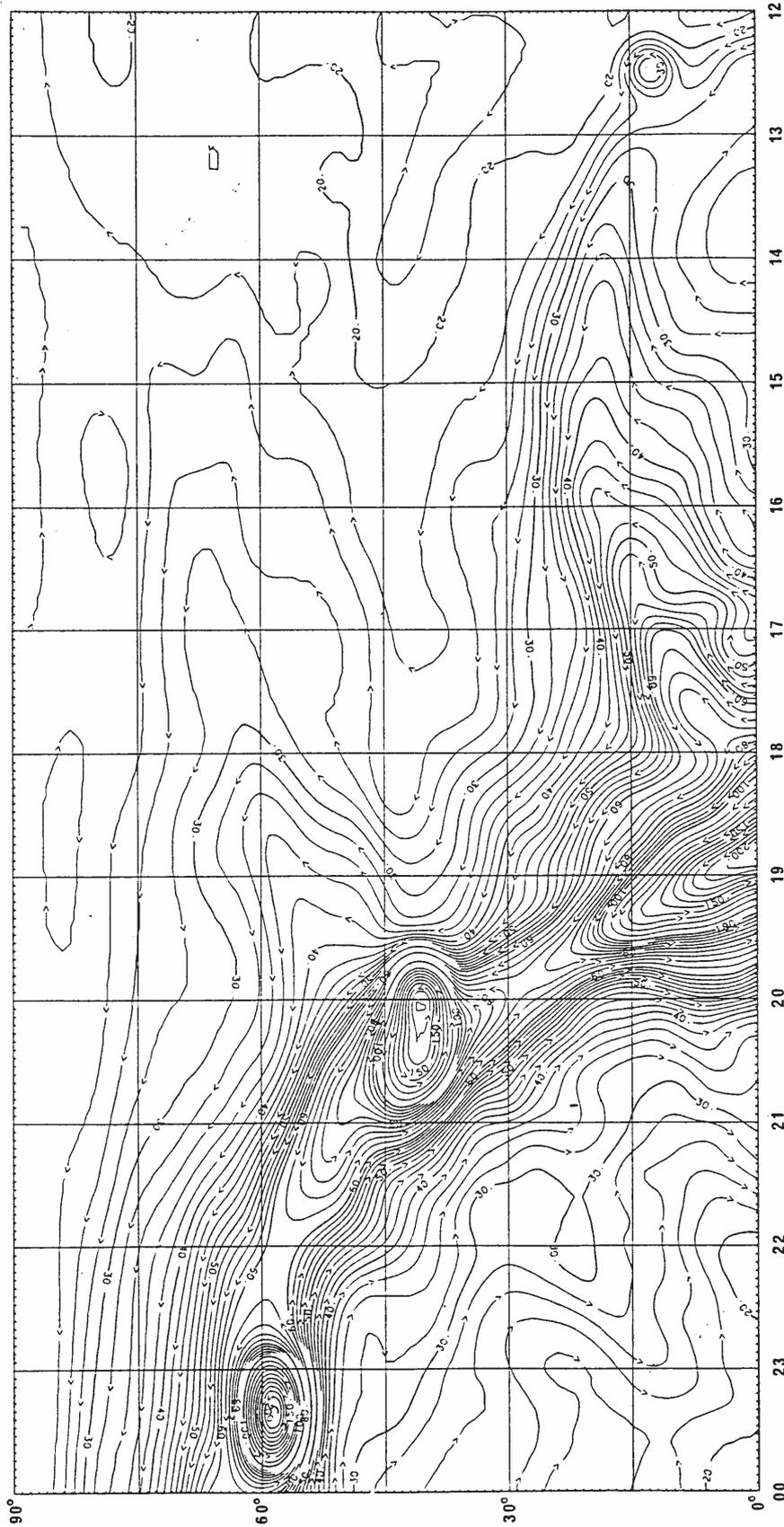
الطالع المستقيم، α (h) الطالع المستقيم: 1200-h 0000، الميل: 0° إلى 90°

P.0372-13b

الميل δ (بالدرجات)

الشكل 13 ج)

درجة حرارة السماء الراديوية عند 408 MHz



P.0372-13c

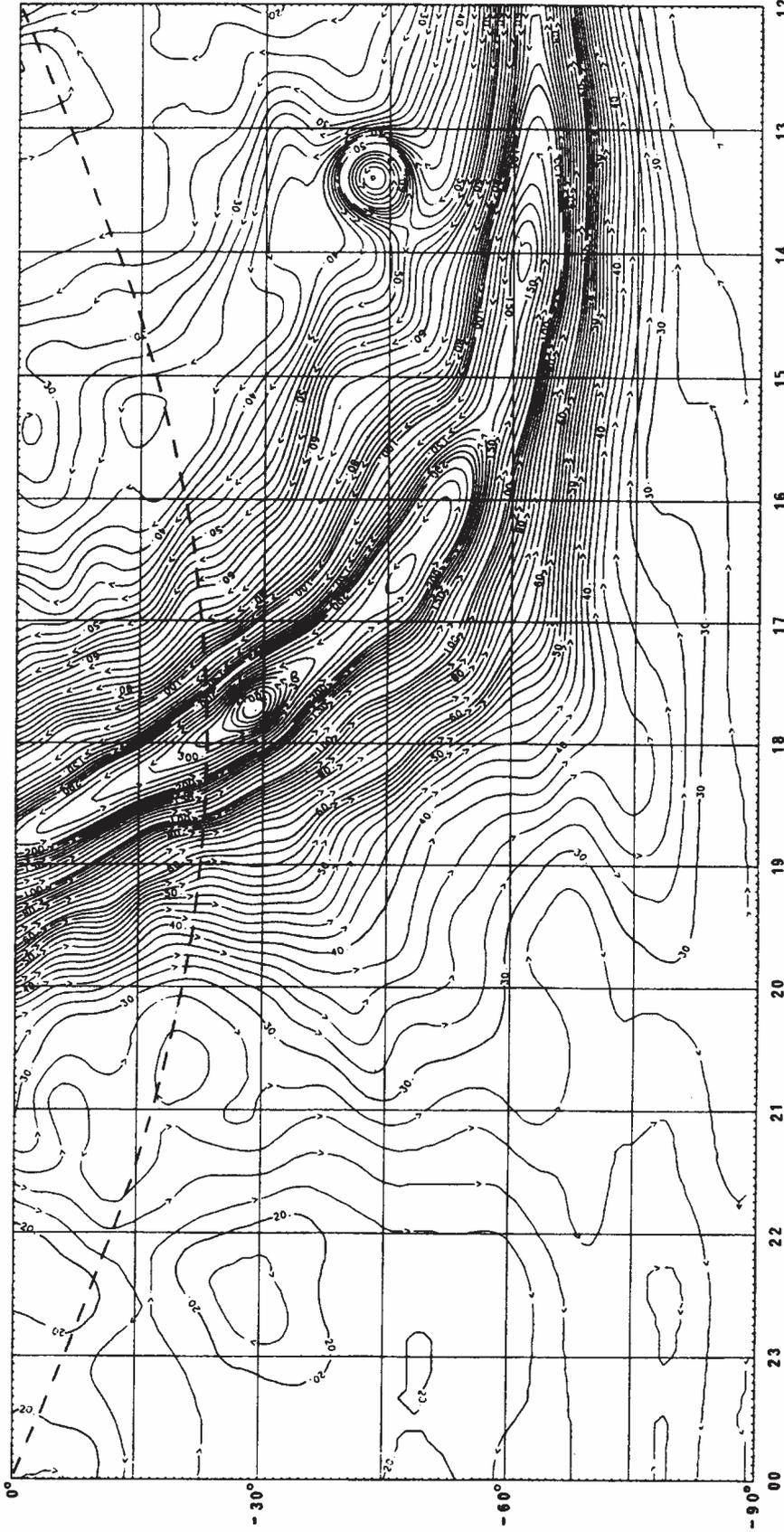
الطلع المستقيم، α (h)

الطلع المستقيم: 1200-h 2400-h، الميل: 0° إلى +90°

الميل δ (بالدرجات)

الشكل 13 د)

درجة حرارة السماء الراديوية عند 408 MHz



الميل δ (بالدرجات)

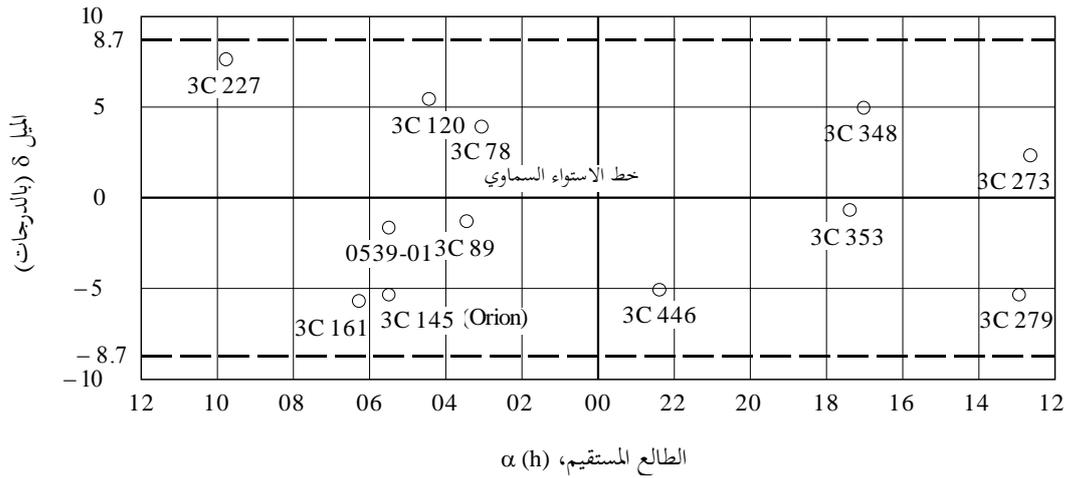
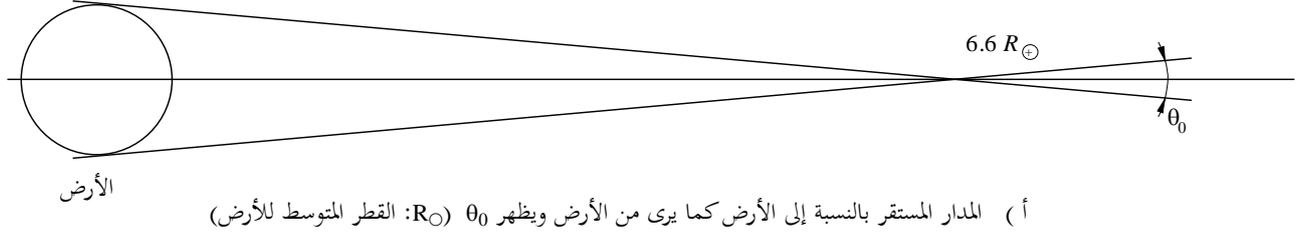
الطالع المستقيم، α (h)

P.0372-13d

الطالع المستقيم: 1200 h 2400-h الميل: 0° إلى 90° والمنحنى المشروط إهليلجي

الشكل 14

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



P.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 المعدن 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 بحذر لأنها لا تمثل سوى تقديرات لسويات الضوضاء الجوية التي تسجل في حال غياب الأنماط الأخرى من الضوضاء. ومع ذلك يبين فحص البيانات 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 والجوية (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} . وللجانب الأدنى من التوزيع الشبه عادي انحراف معياري $\sigma_l (= D_l/1,282)$ تحت القيمة المتوسطة والانحراف المعياري للجانب 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:

$$(16) \quad F_{amT} = c \left[\ln(\alpha_T) - \frac{\sigma_T^2}{2c^2} \right] \quad \text{dB}$$

$$(17) \quad \sigma_T = c \sqrt{\ln \left(1 + \frac{\beta_T}{\alpha_T^2} \right)} \quad \text{dB}$$

حيث:

$$(18) \quad c = 10/\ln(10) = 4,343$$

$$(19) \quad \alpha_T = \sum_{i=1}^n \alpha_i = \sum_{i=1}^n \exp \left[\frac{F_{ami}}{c} + \frac{\sigma_i^2}{2c^2} \right] \quad W$$

$$(20) \quad \beta_T = \sum_{i=1}^n \alpha_i^2 \left[\exp \left(\frac{\sigma_i^2}{c^2} \right) - 1 \right] \quad W^2$$

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_{ami} للضوضاء المجرية من المعادلة (14) 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:

$$(21) \quad D_{uT} = 1.282 \sigma_T \quad \text{dB}$$

حيث يحسب σ_T باستعمال الانحرافات العشرية الأعلى لمكونات الضوضاء الخاصة بحساب σ_i (= $D_u/1,282$) في المعادلتين (19) و (20).

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

$$(22) \quad D_{IT} = 1.282 \sigma_T \quad \text{dB}$$

حيث تحسب σ_T ، باستعمال الانحرافات العشرية الدنيا لمكونات الضوضاء الخاصة بحساب σ_i (= $D_I/1,282$) في المعادلتين (19) و (20).

وعندما يتجاوز الانحراف العشري الأعلى لعامل الضوضاء لمكونة ضوضاء واحدة على الأقل 12 dB، فإن σ_T المحسوبة بالمعادلات (17) إلى (20) باستعمال الانحرافات العشرية الأعلى لمكونات الضوضاء، ينبغي لها أن تتقيد بقيمة قصوى قدرها:

$$(23) \quad \sigma_T = c \sqrt{2 \ln \left(\frac{\alpha_T}{\gamma_T} \right)} \quad \text{dB}$$

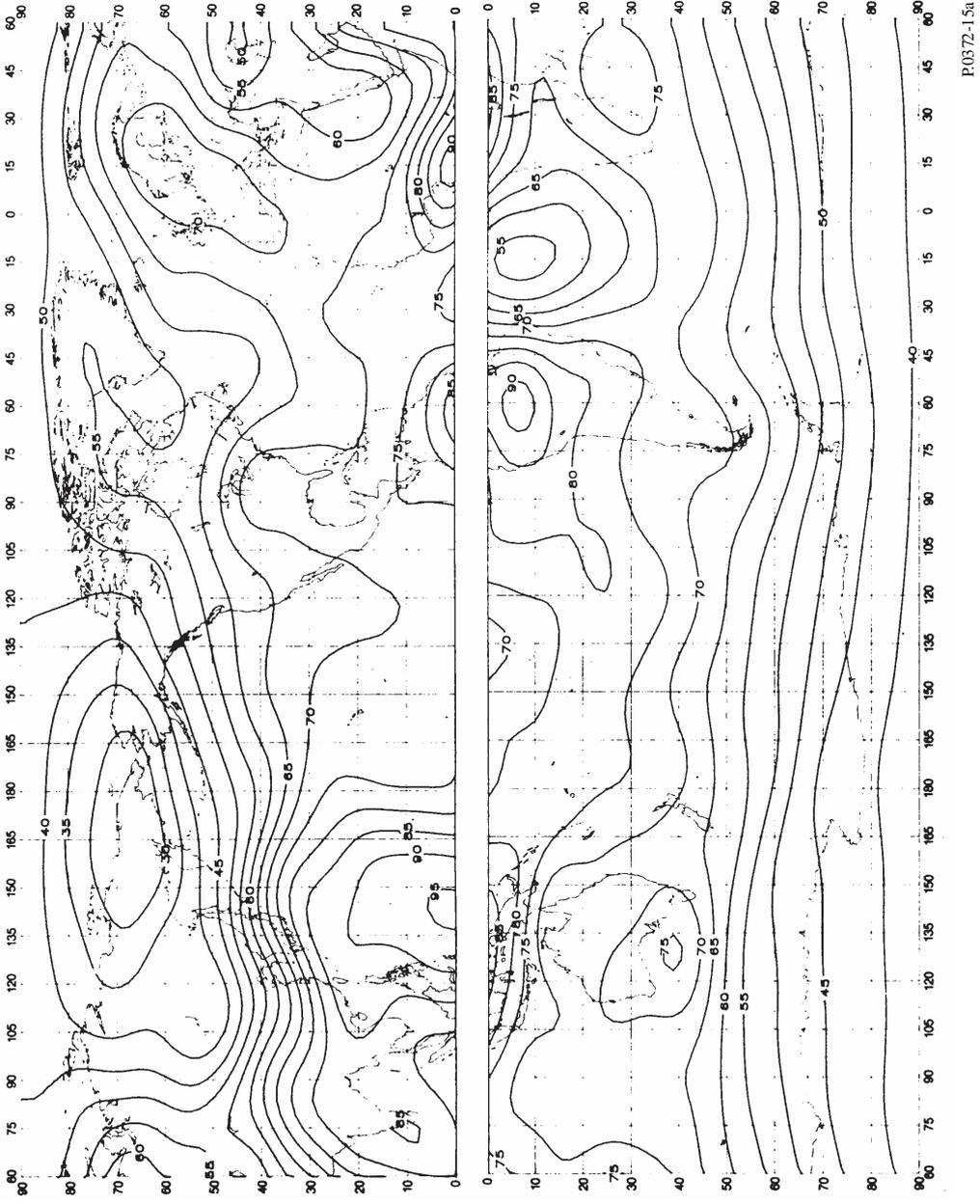
حيث γ_T هو عامل الضوضاء لمجموع أسّي بسيط للقيم المتوسطة الإفرادية لعامل الضوضاء:

$$(24) \quad \gamma_T = \sum_{i=1}^n \exp \left(\frac{F_{ami}}{c} \right) \quad W$$

وبالمثل، عندما يتجاوز الانحراف العشري الأدنى لعامل الضوضاء لمكونة ضوضاء واحدة على الأقل 12 dB، فإن σ_T المحسوبة بالمعادلات (17) إلى (20) باستعمال الانحرافات العشرية الدنيا لمكونات الضوضاء، ينبغي لها أن تتقيد بالقيمة القصوى المعطاة في المعادلة (23).

الشكل 15 أ

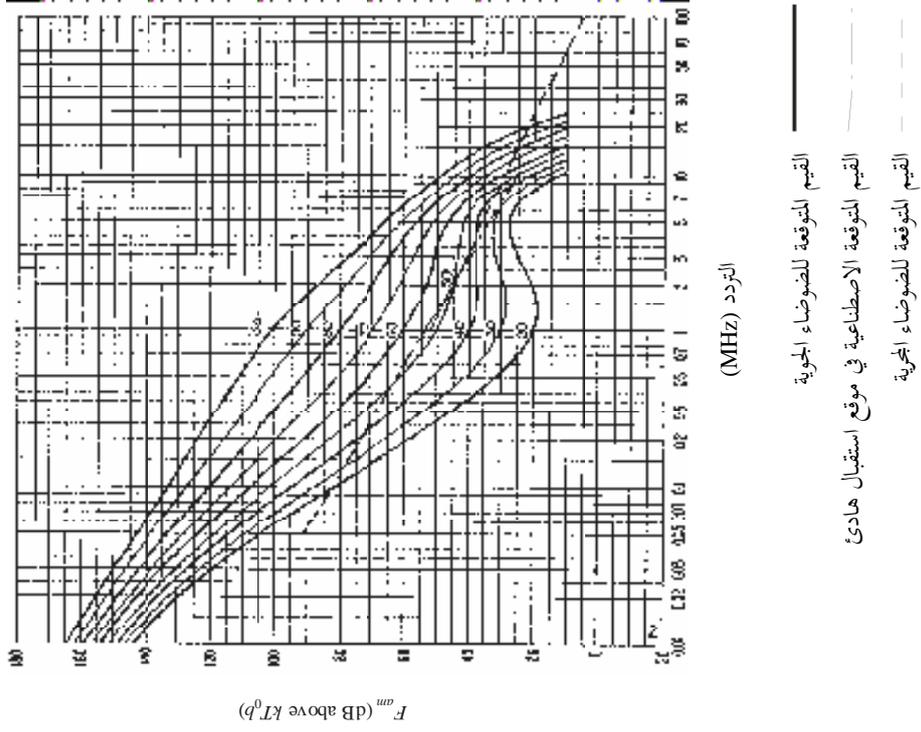
القيم المتوقعة للضوضاء الجوية الراديوية، F_{am} (بوحدة dB أعلى من kT_0b عند 1 MHz)
(الشتاء: 0400-0000 بالتوقيت المحلي)



P.0372-15a

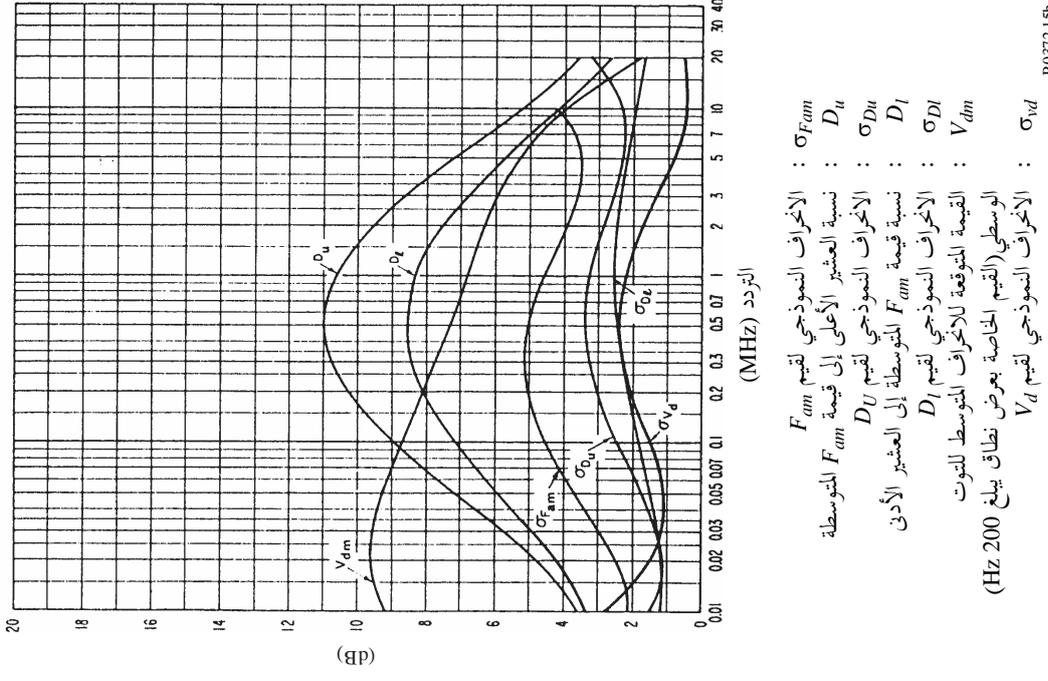
الشكل 15 ب)

تغير الضوضاء الراديوية بدلالة التردد
(الضضاء : 0400-0000 بالتوقيت المحلي)



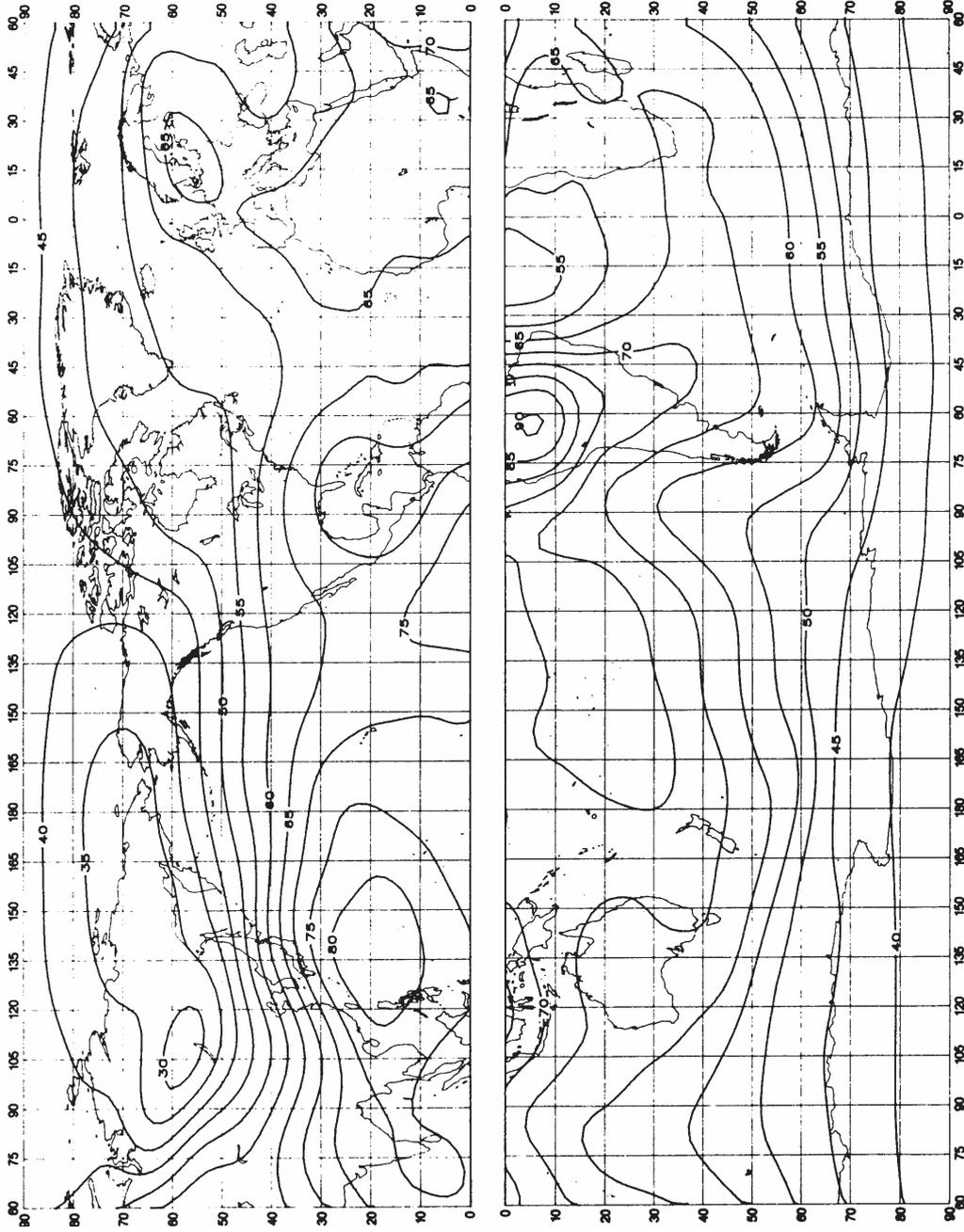
الشكل 15 ج)

بيانات بشأن متغيرات الضوضاء وسماتها
(الضضاء : 0400-0000 بالتوقيت المحلي)



(الشكل 16 أ)

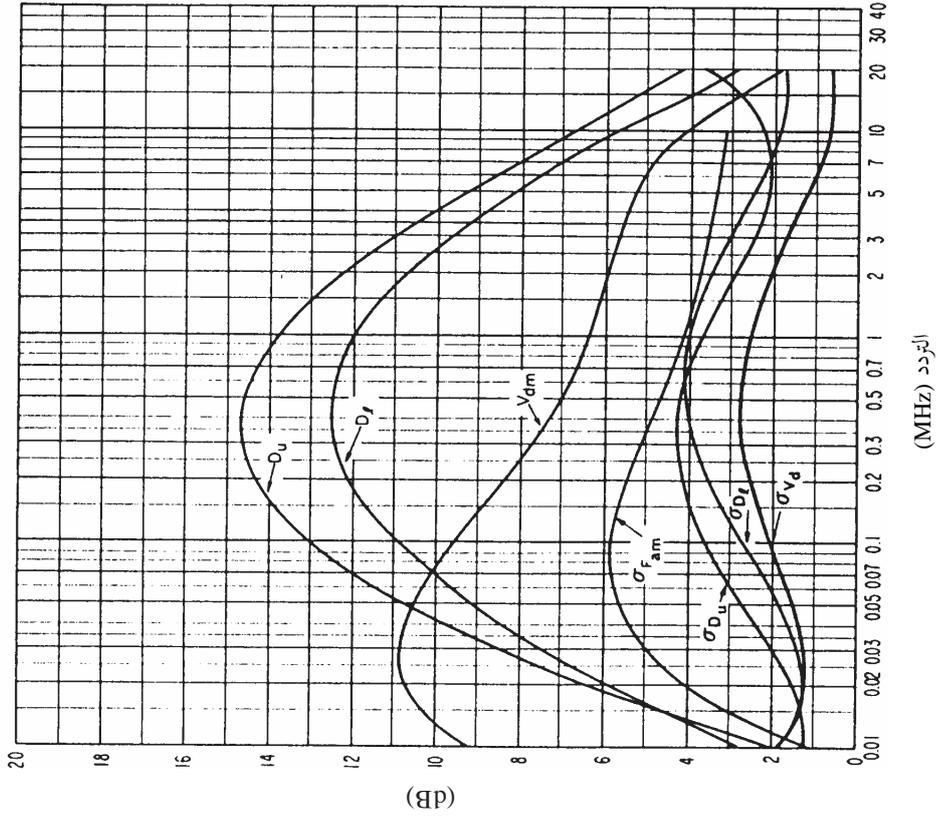
القيم المتوقعة للضوضاء الجوية الراديوية، F_{am} (بوحدة dB أعلى من kT_0b عند 1 MHz)
(الشتاء: 0800-0400 بالتوقيت المحلي)



P0372-16a

الشكل 16 ج

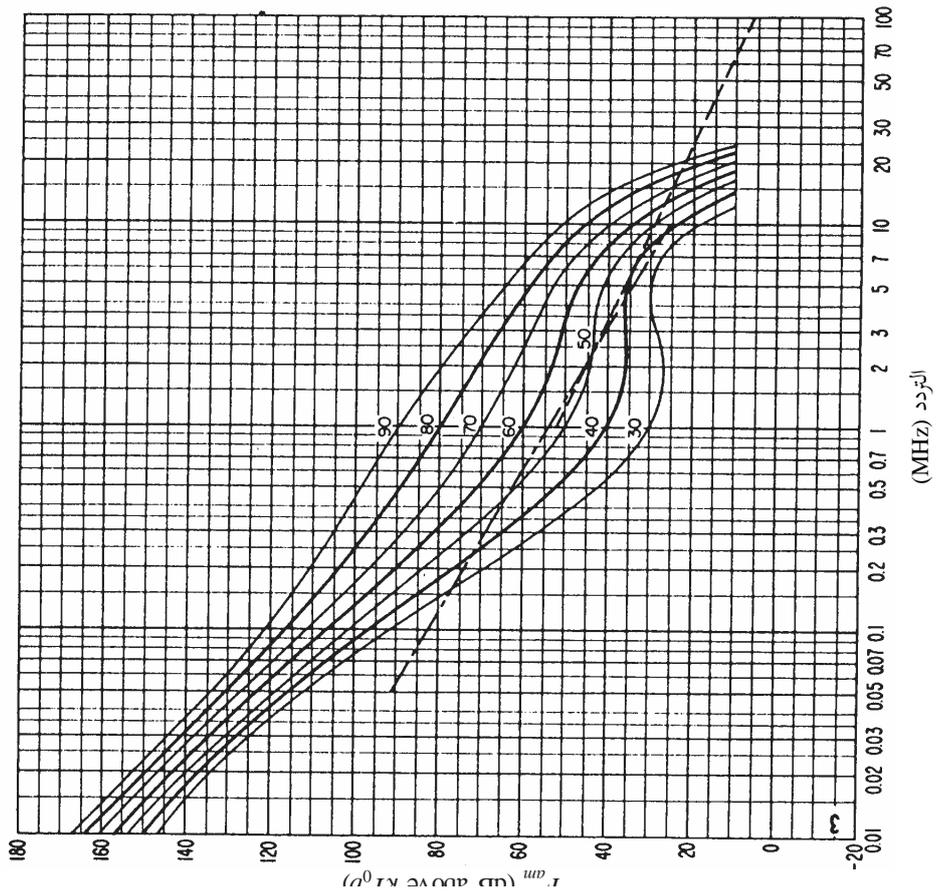
بيانات بشأن متغيرات الضوضاء وسماتها
(المنشاء: 0800-0400 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ج

الشكل 16 ب

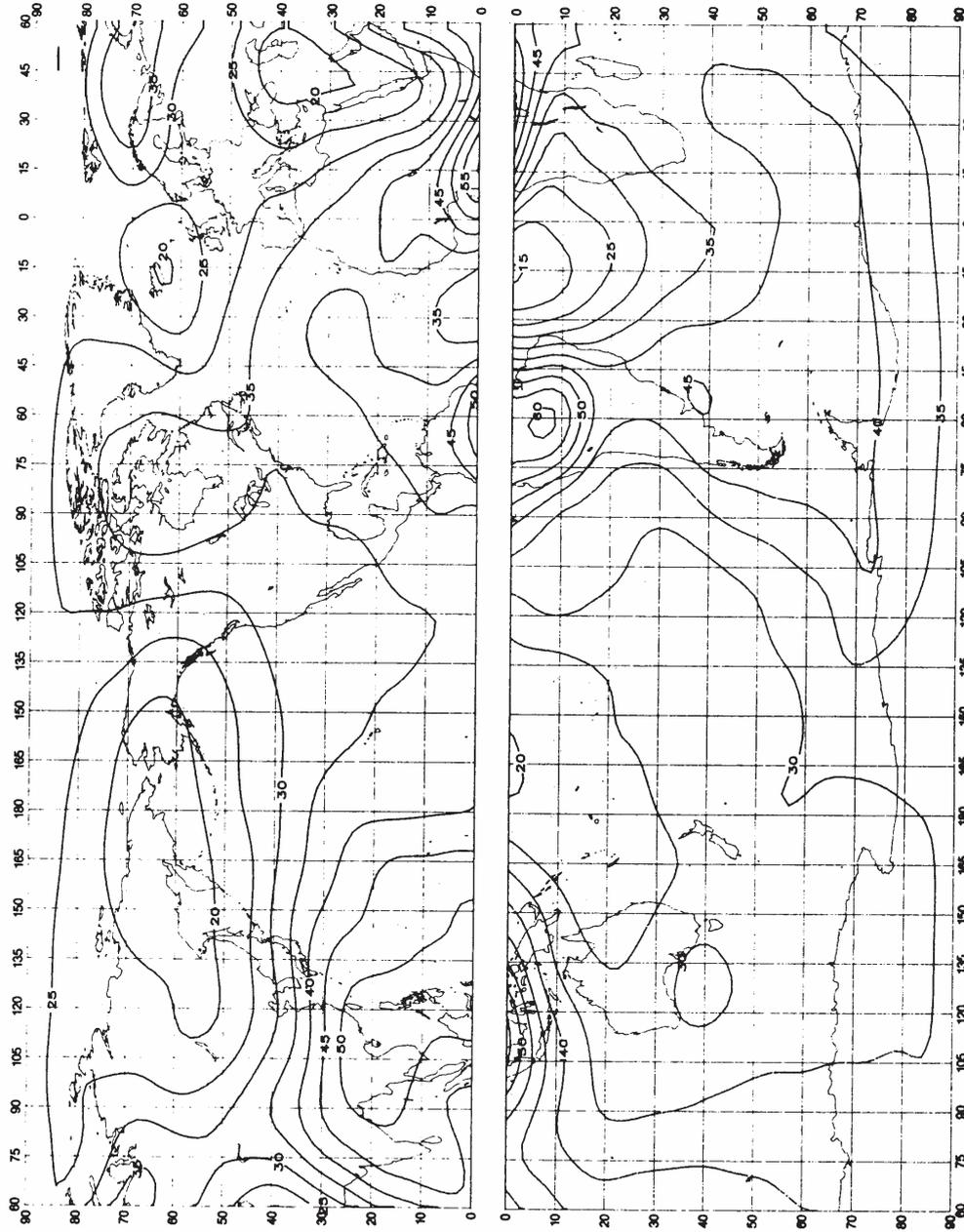
تغير الضوضاء الجوية بدلالة التردد
(المنشاء: 0800-0400 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ب

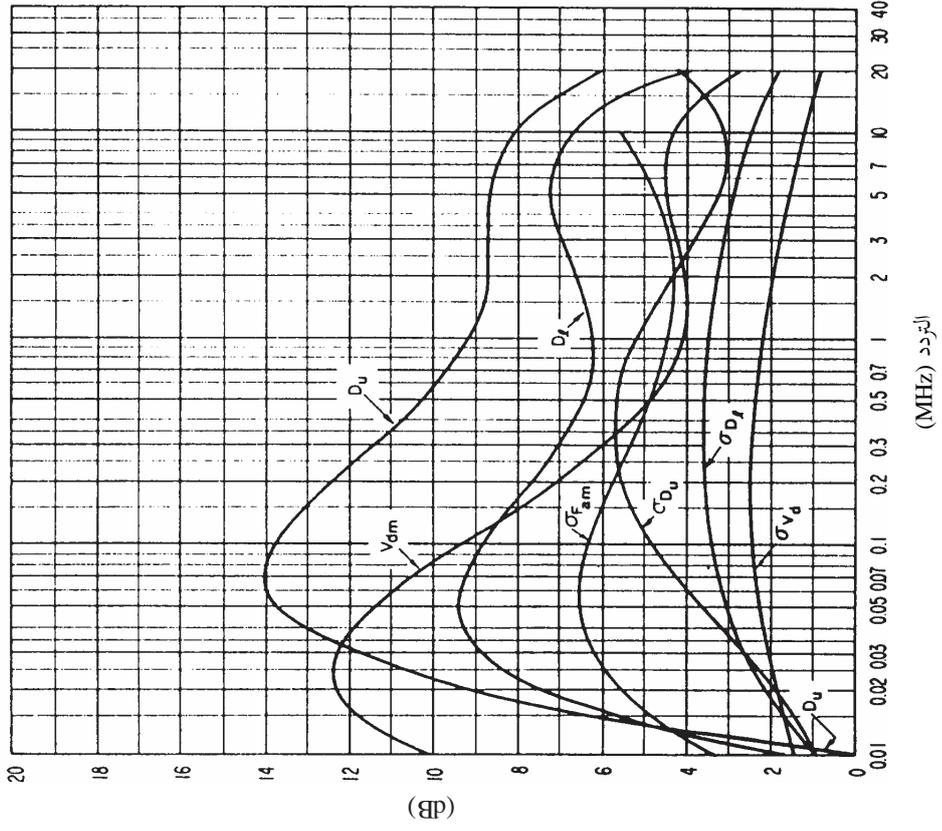
(الشكل 17 أ)

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



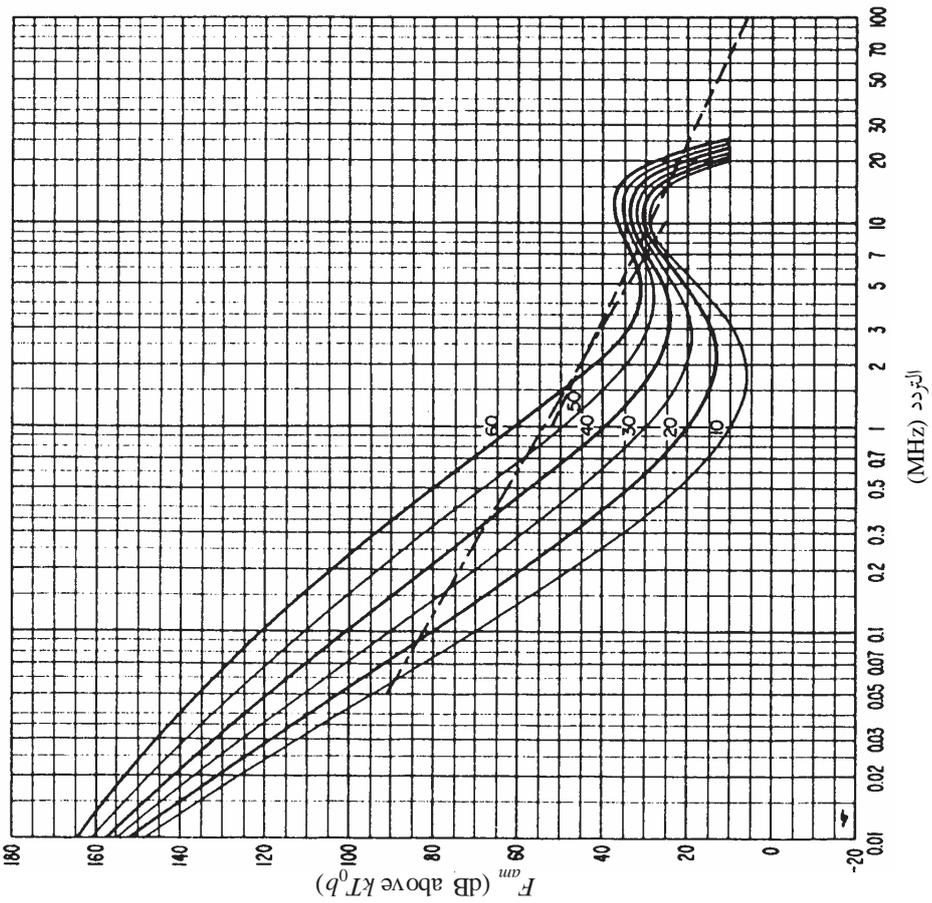
P.0372-17a

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



انظر شرح الشكل 15 ج)

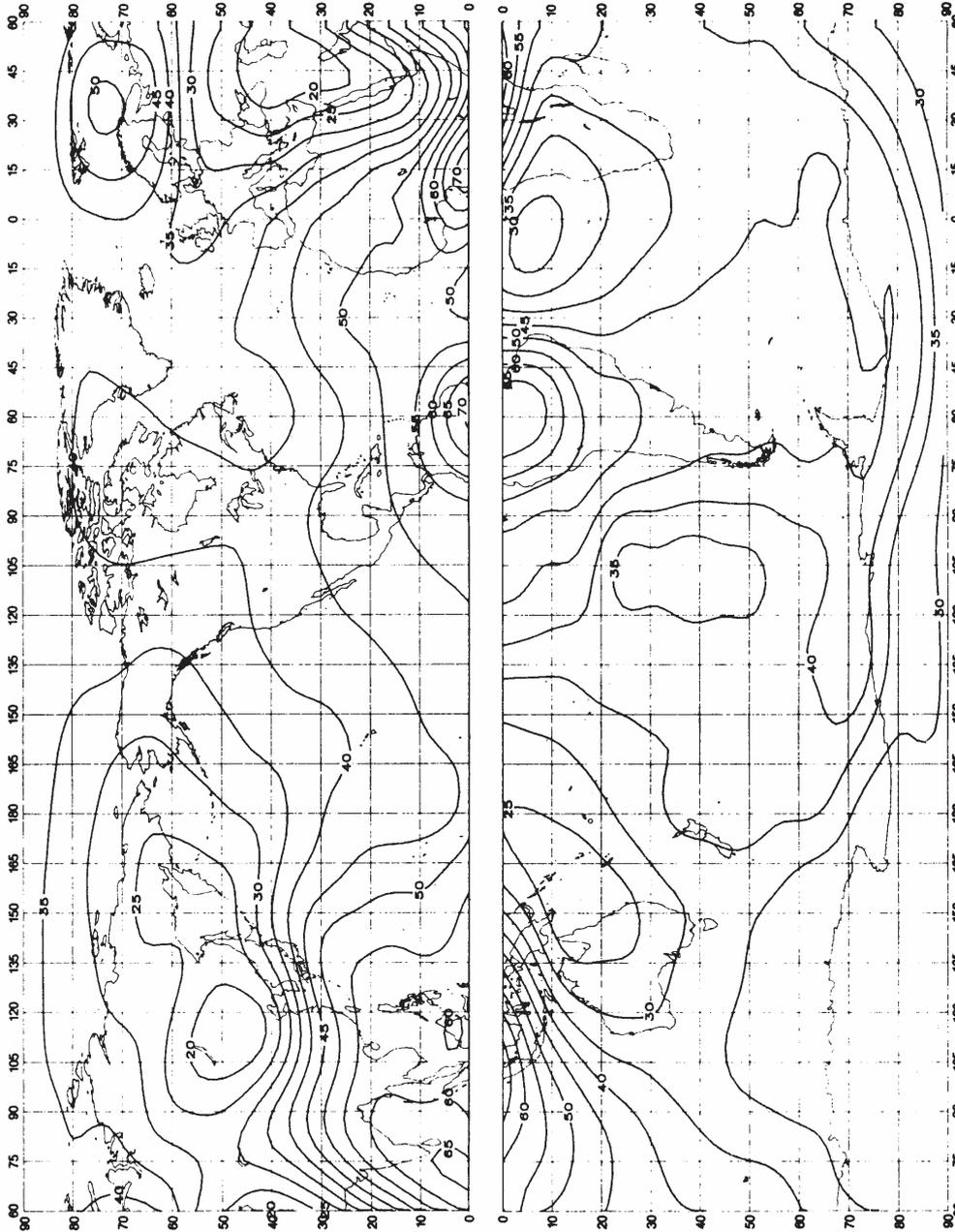
الشكل 17 ب)
تغير الضوضاء الجوية بدلالة التردد
(الشتاء: 1200-0800 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ب)

الشكل 18 أ)

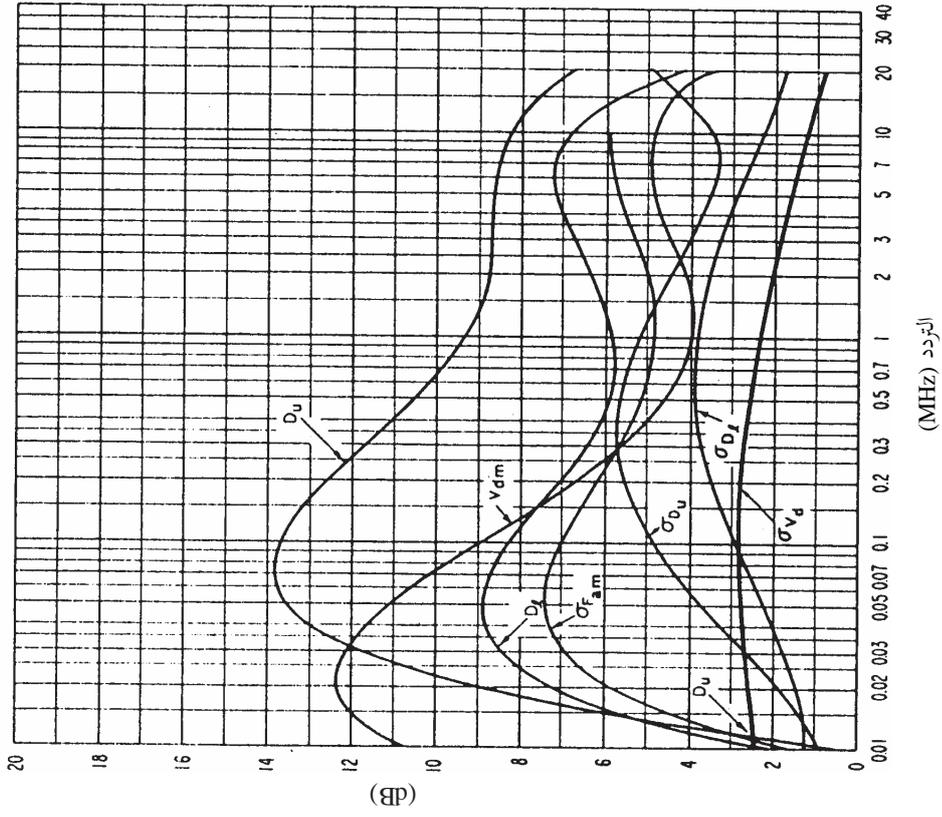
القيم المتوقعة للضوضاء الجوية الراديوية، F_{am} (بوحدة dB أعلى من kT_0b عند 1 MHz)
(الشتاء: 1600-1200 بالتوقيت المحلي)



P0372-18a

الشكل 18 ج

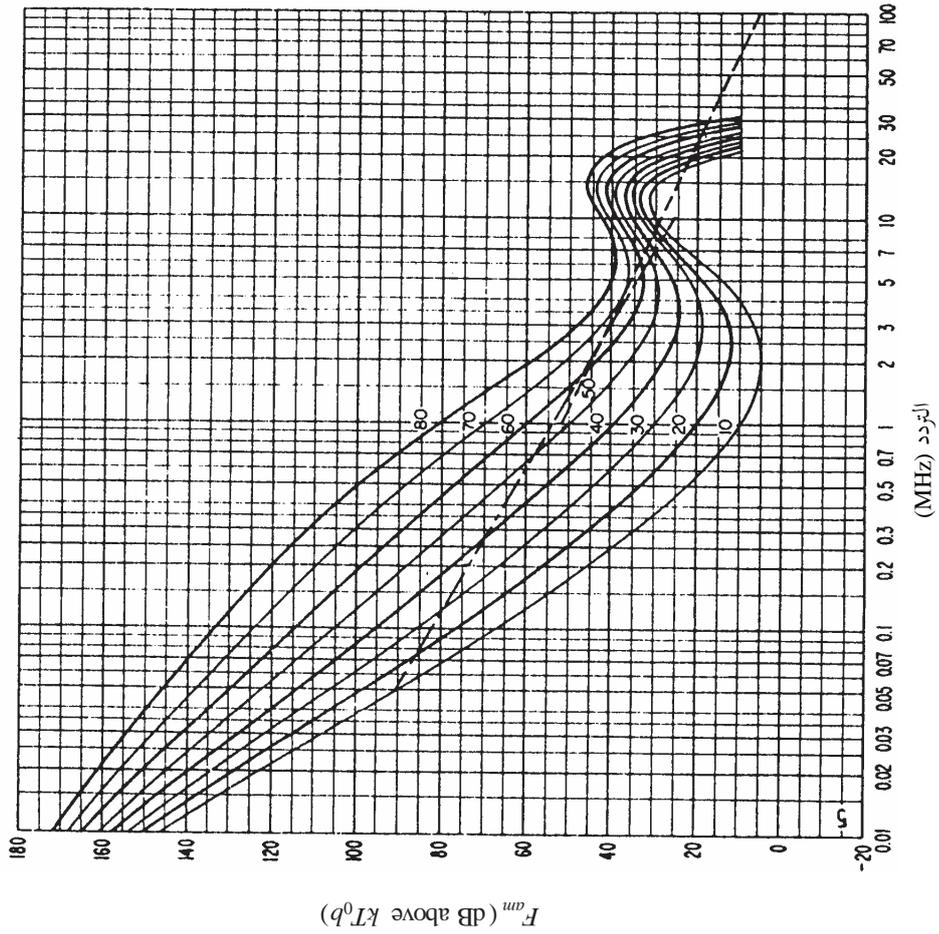
بيانات بشأن متغيرات الضوضاء وسماتها
(السناء: 1600-1200 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ج

الشكل 18 ب

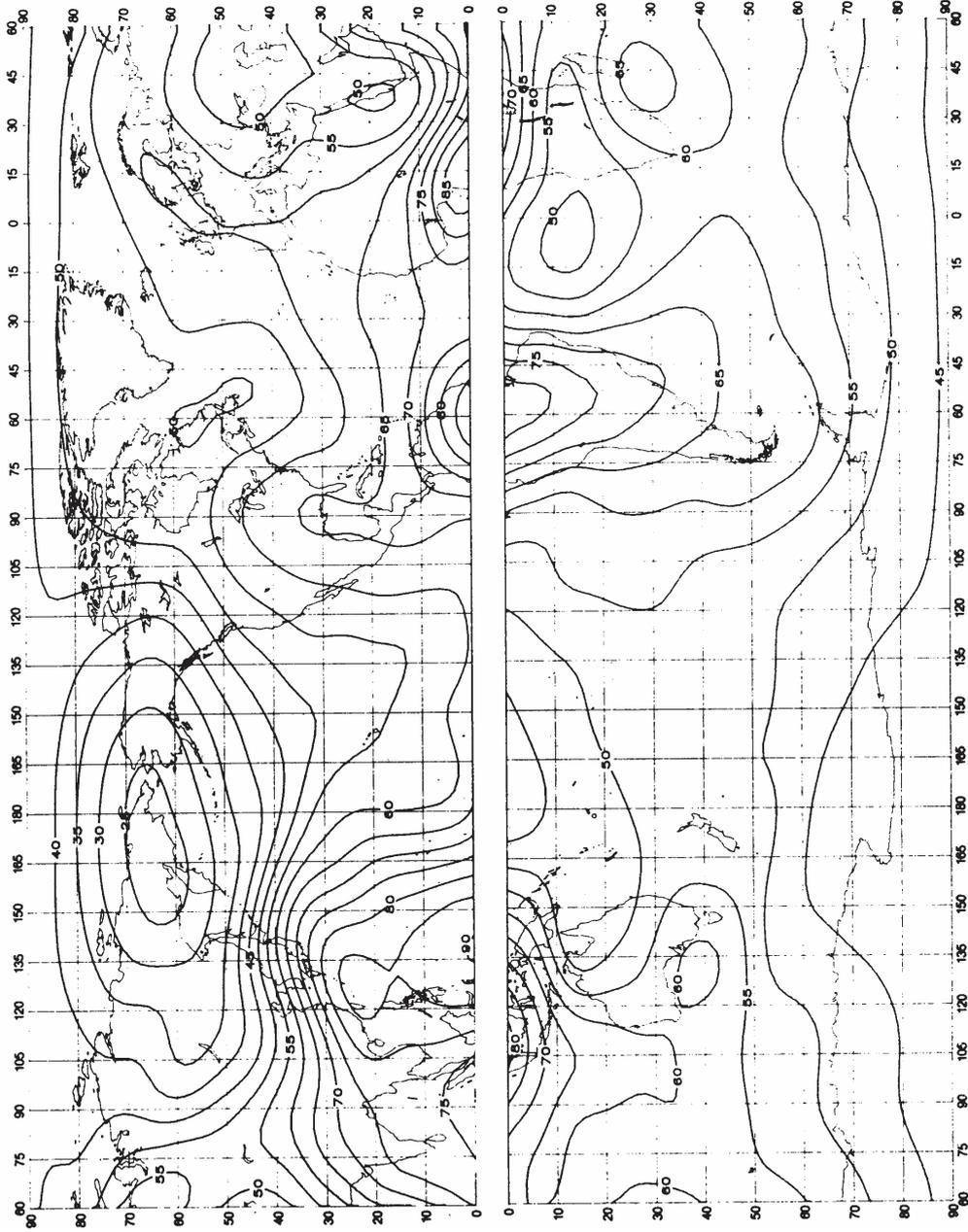
تغير الضوضاء الجوية بدلالة التردد
(السناء: 1600-1200 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ب

(الشكل 19 أ)

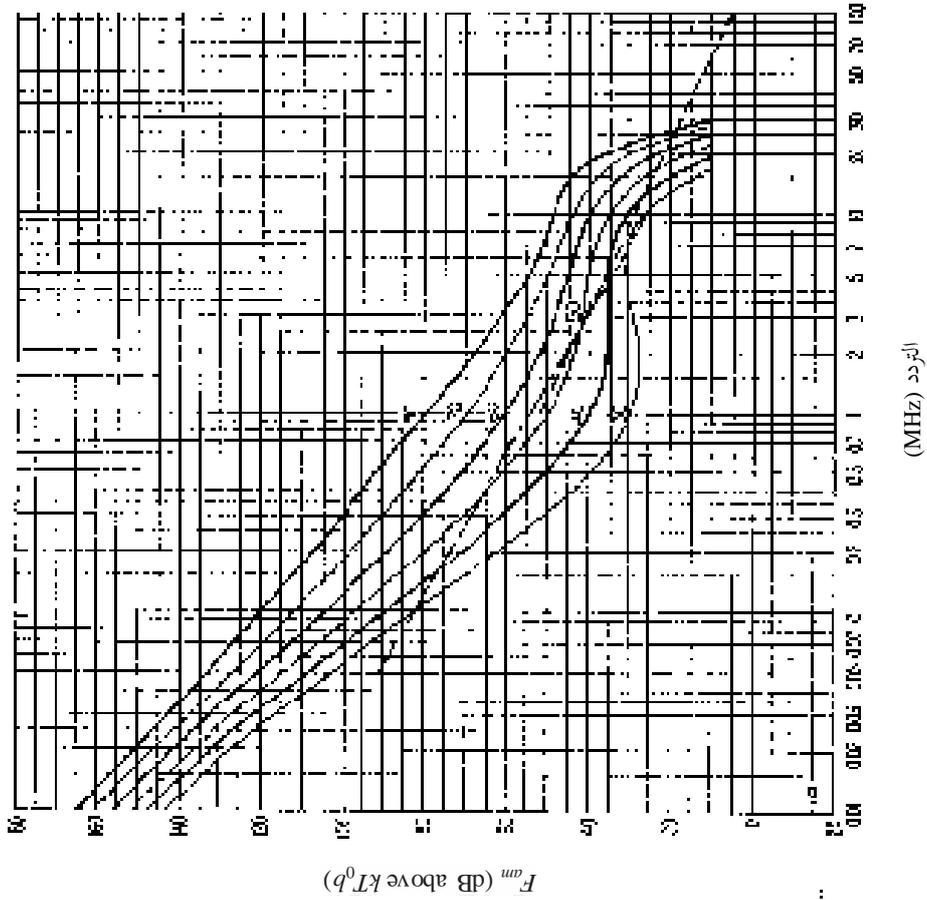
القيم المتوقعة للضوضاء الجوية الراديوية، F_{am} (بوحدة dB أعلى من kT_0b عند 1 MHz)
(الشتاء: 2000-1600 بالتوقيت المحلي)



P.0872-1 9a

الشكل 19 ب)

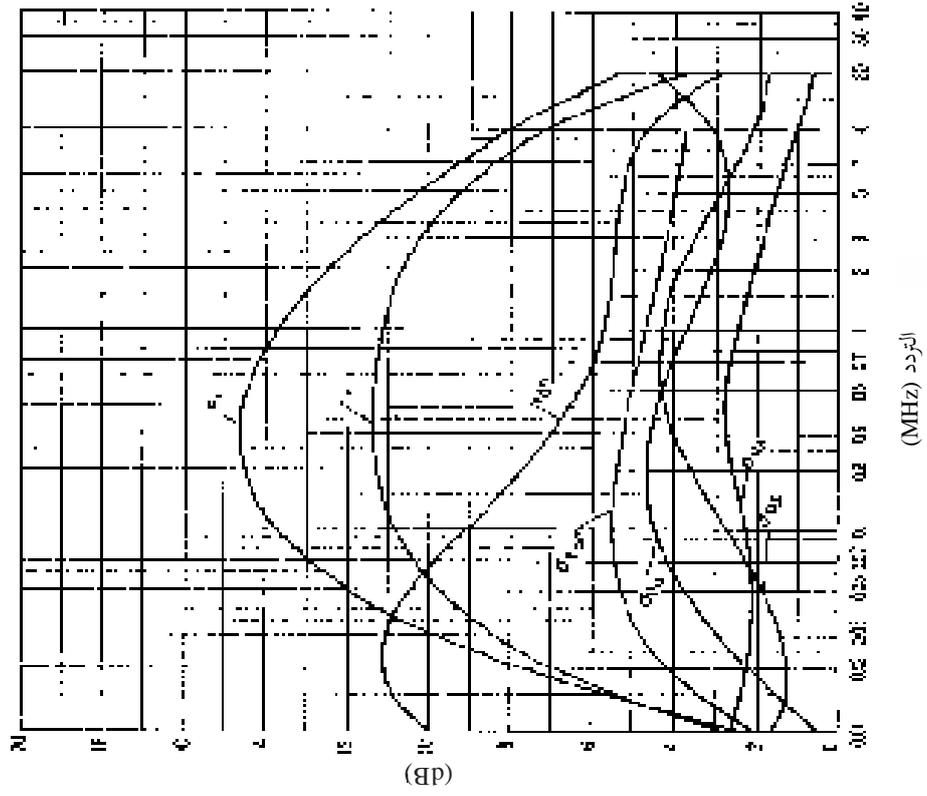
تغير الضوضاء الجوية بدلالة التردد
(الشيءاء: 2000-1600 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ب)

الشكل 19 ج)

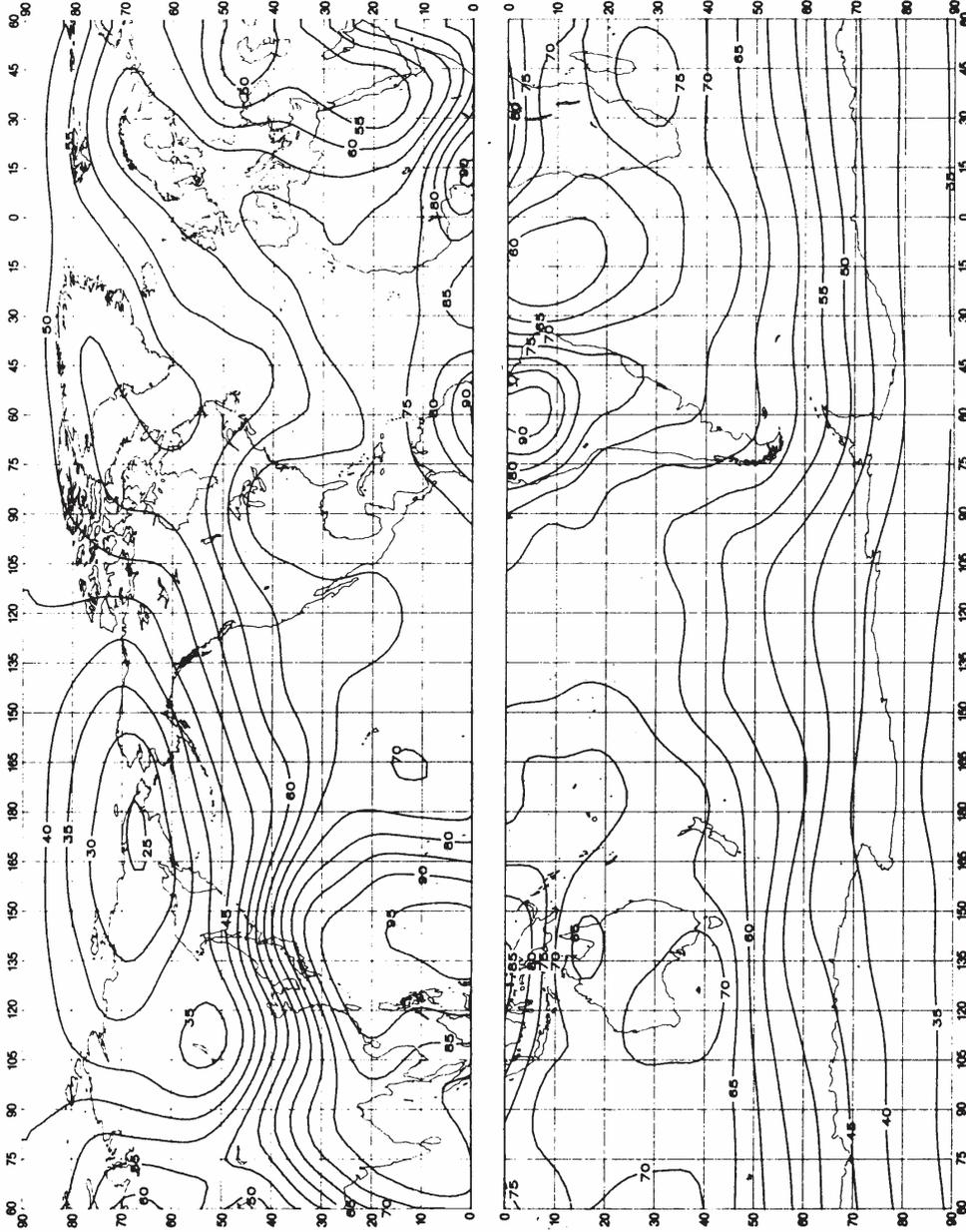
بيانات بشأن متغيرات الضوضاء وسماتها
(الشيءاء: 2000-1600 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ج)

(الشكل 20 أ)

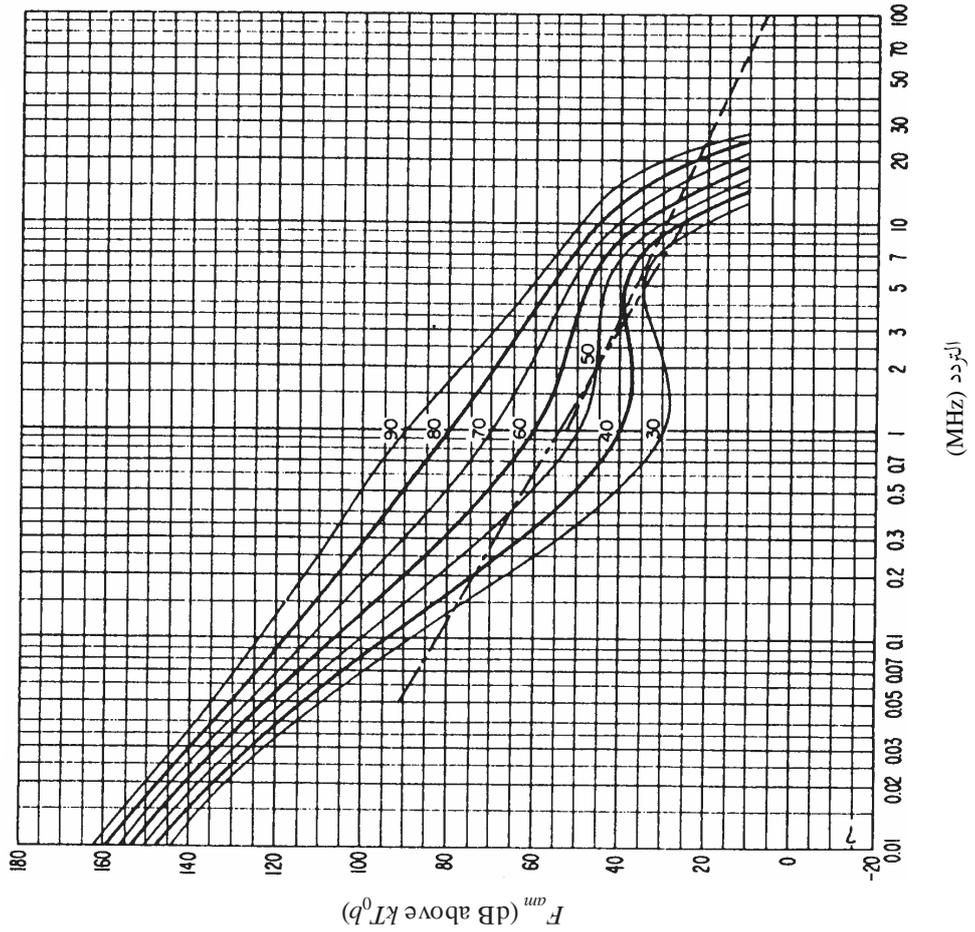
القيم المتوقعة للضوضاء الجوية الراديوية، F_{am} (بوحدة dB أعلى من kT_0b عند 1 MHz)
(الشتاء: 2000-2400 بالتوقيت المحلي)



P.0372-20a

الشكل 20 ب)

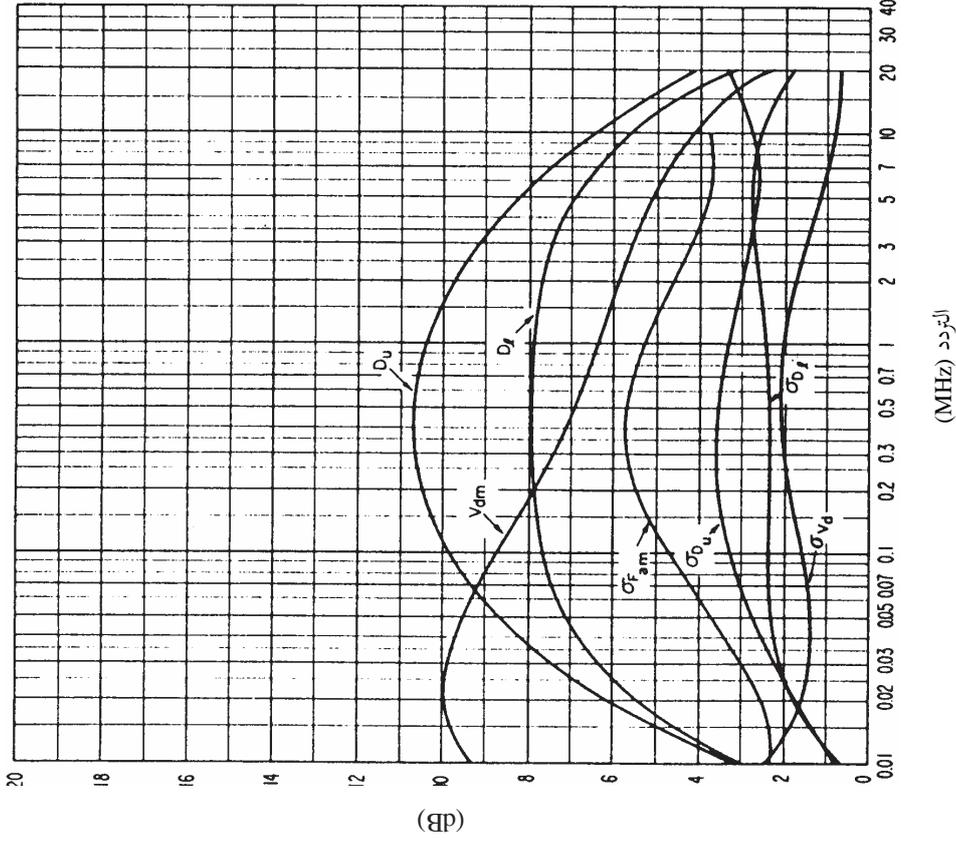
تغير الضوضاء الجوية بدلالة التردد
(الشتاء: 2400-2000 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ب)

الشكل 20 ج)

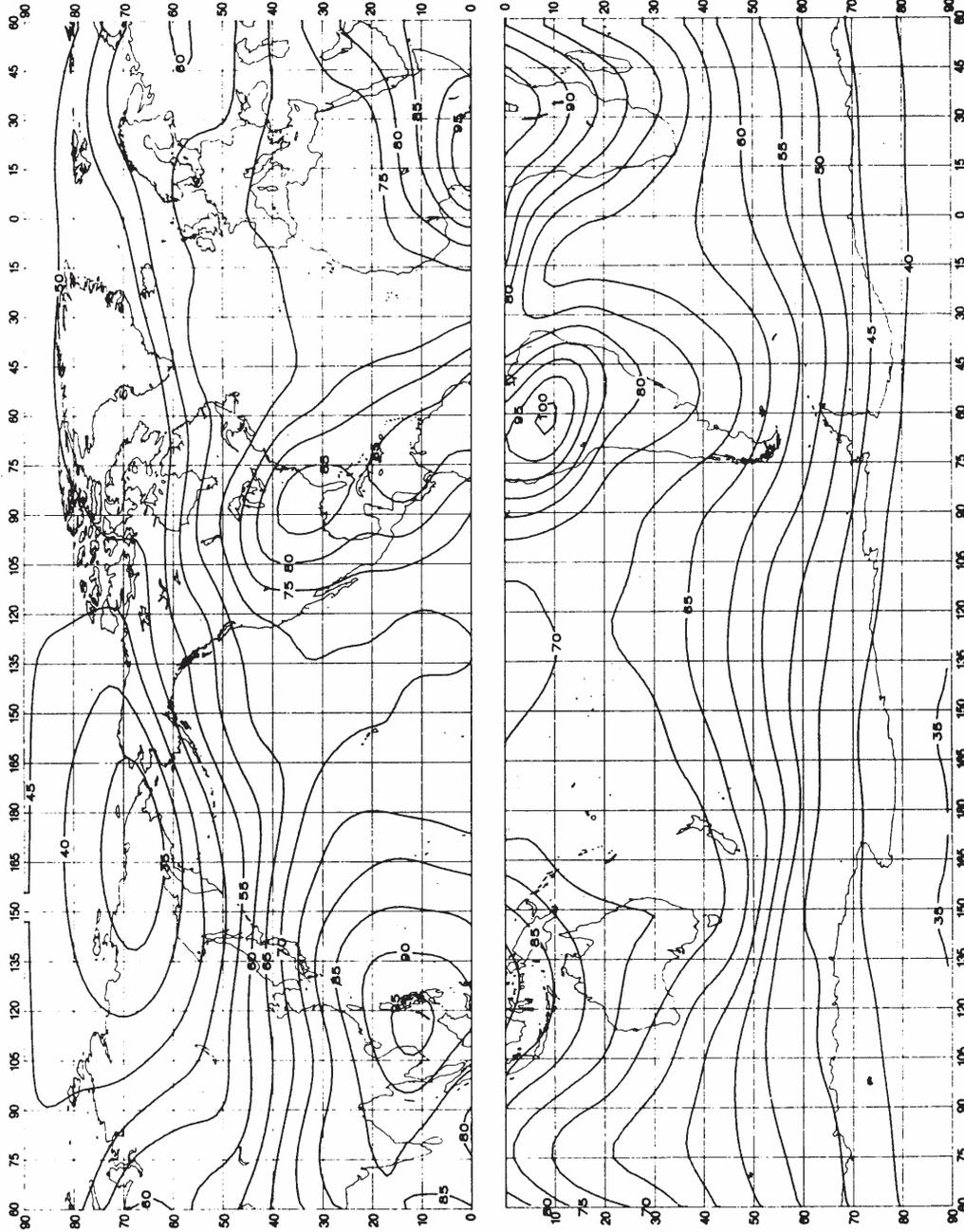
بيانات بشأن متغيرات الضوضاء وسماتها
(الشتاء: 2400-2000 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ج)

الشكل 21 أ)

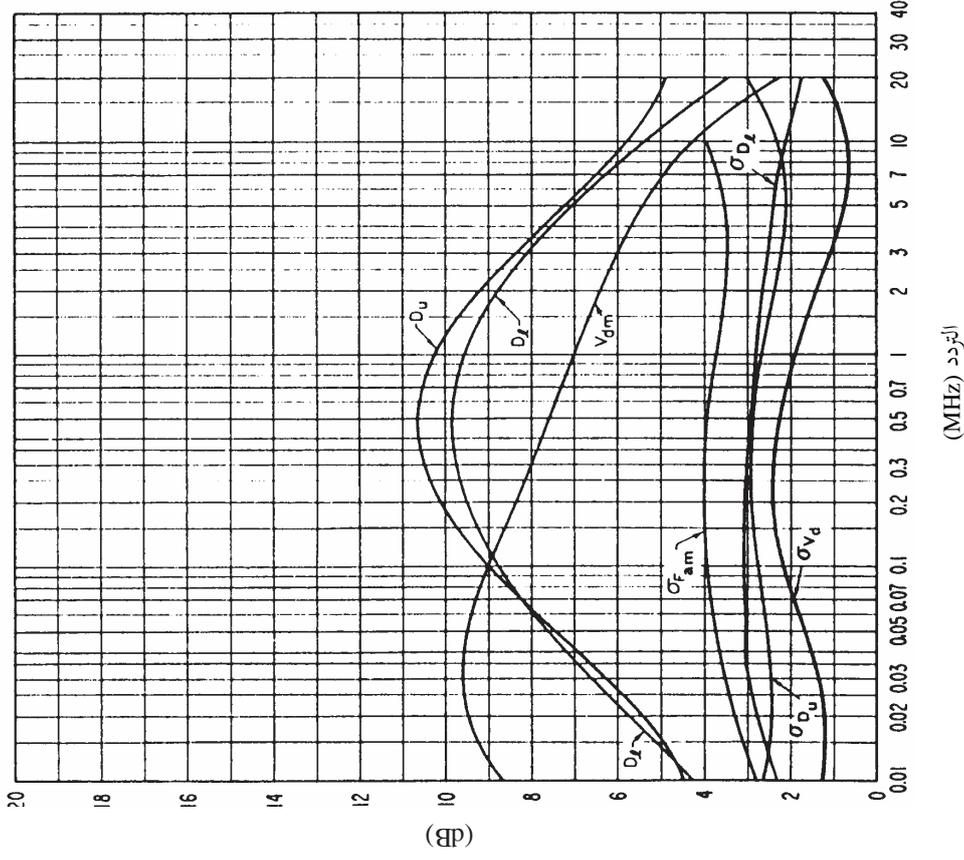
القيم المتوقعة للضوضاء الجوية الراديوية، F_{am} (بوحدة dB أعلى من kT_0b عند 1 MHz)
(الربيع: 0400-0000 بالتوقيت المحلي)



P.0372-2.1a

الشكل 21 ج)

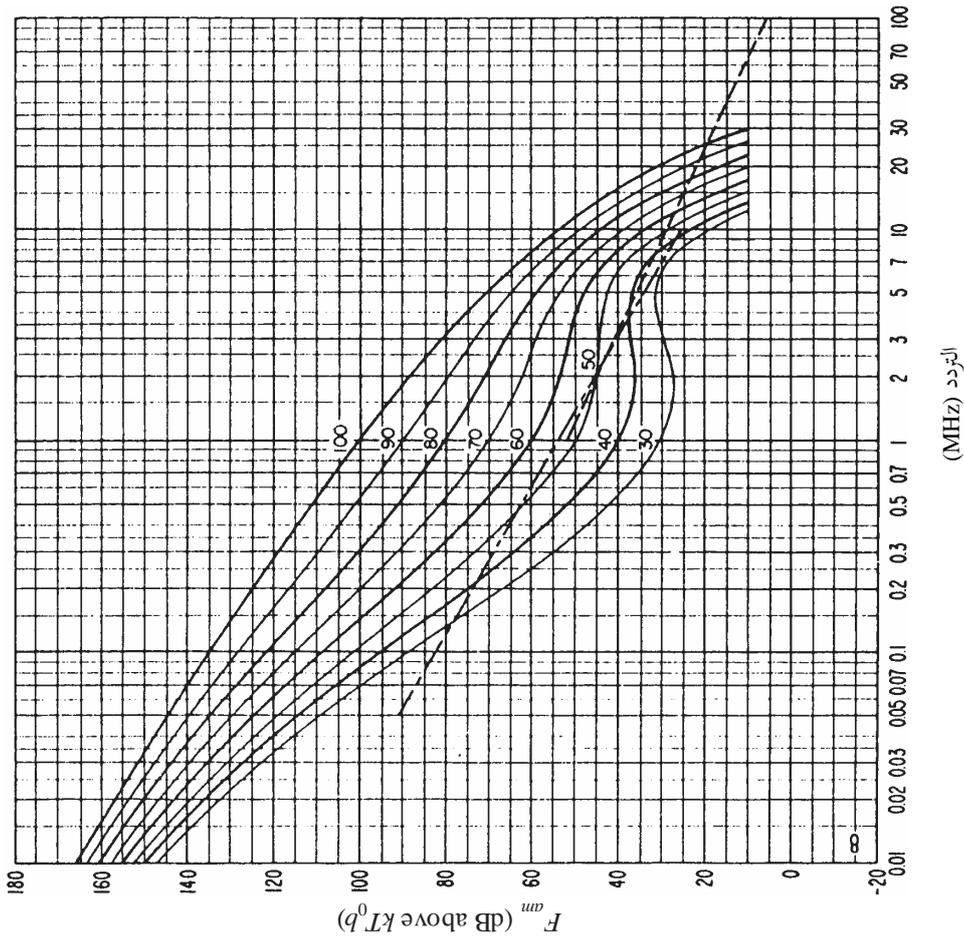
بيانات بشأن متغيرات الضوضاء وسماتها
(الربيع: 0400-0000 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ج)

الشكل 21 ب)

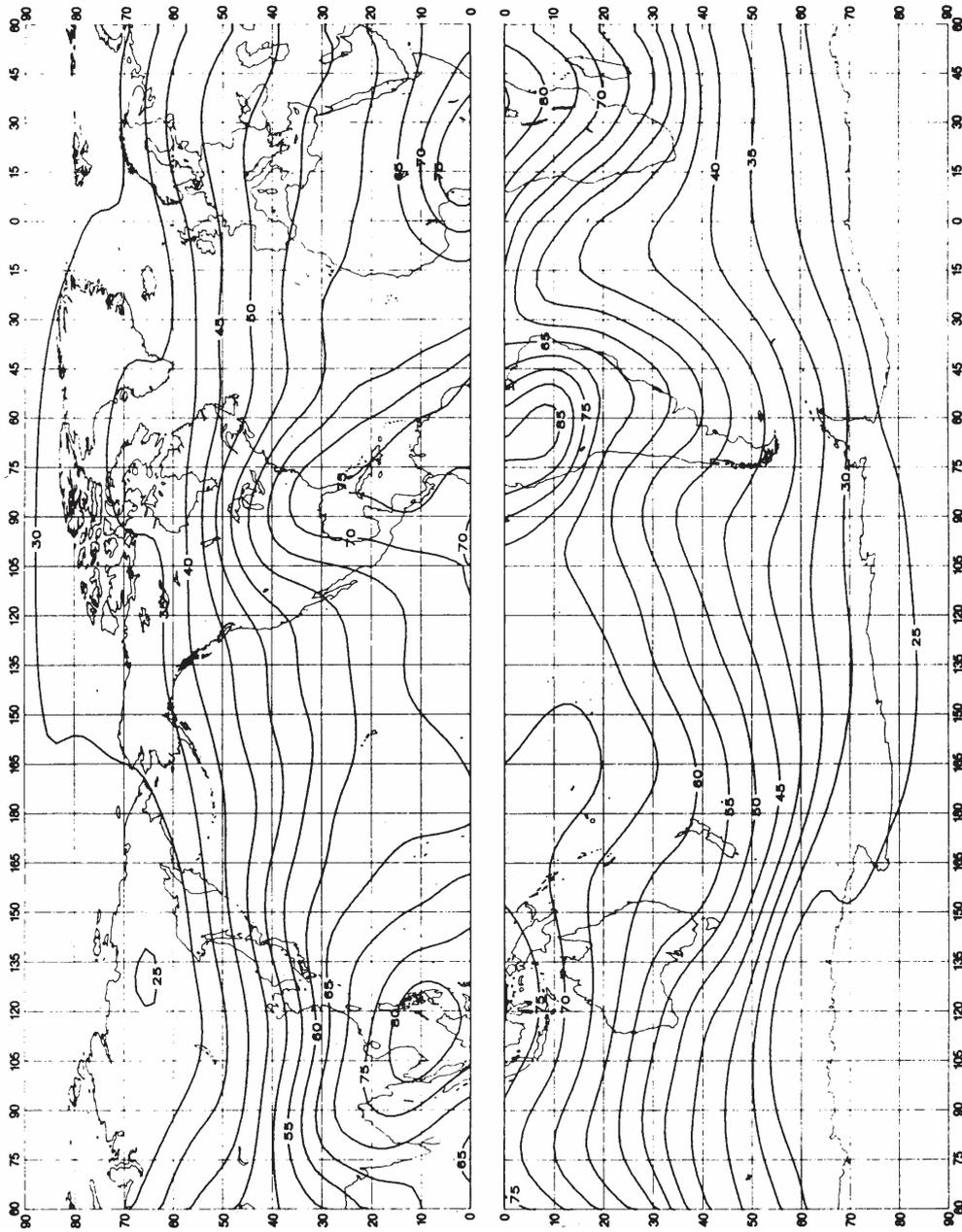
تغير الضوضاء الجوية بدلالة التردد
(الربيع: 0400-0000 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ب)

(الشكل 22 أ)

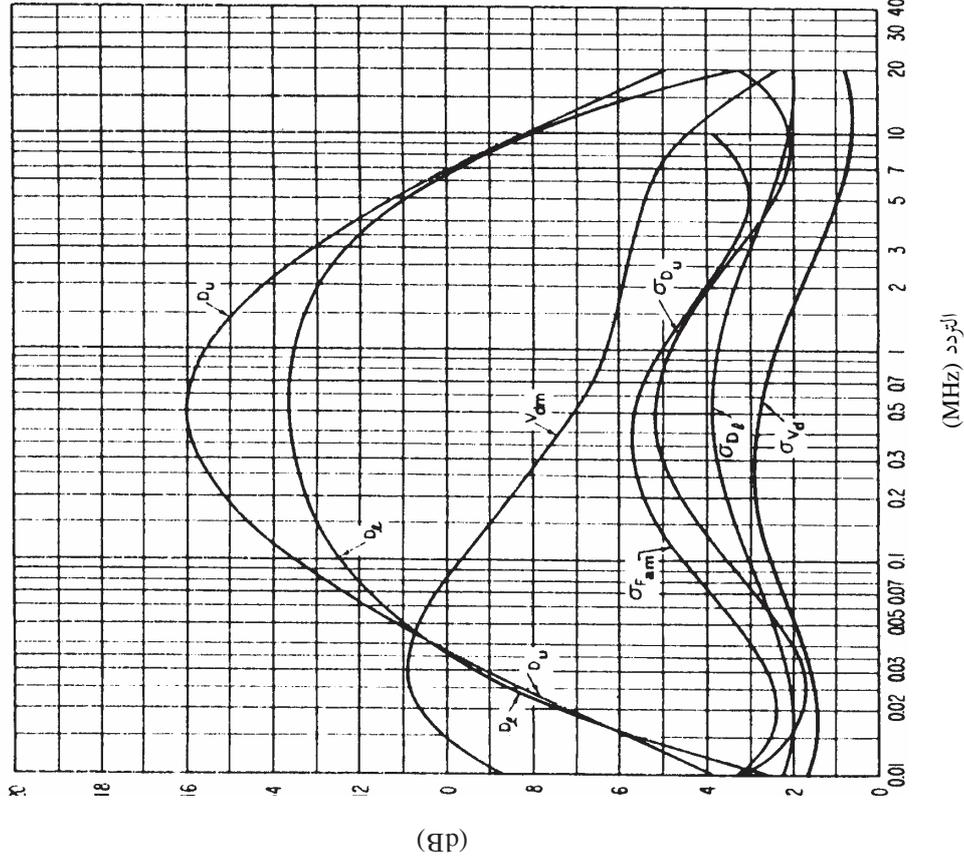
القيم المتوقعة للضوضاء الجوية الراديوية، F_{am} (بوحدة dB أعلى من kT_0b عند 1 MHz)
(الربيع: 0800-0400 بالتوقيت المحلي)



P.0.372-22a

الشكل 22 ج)

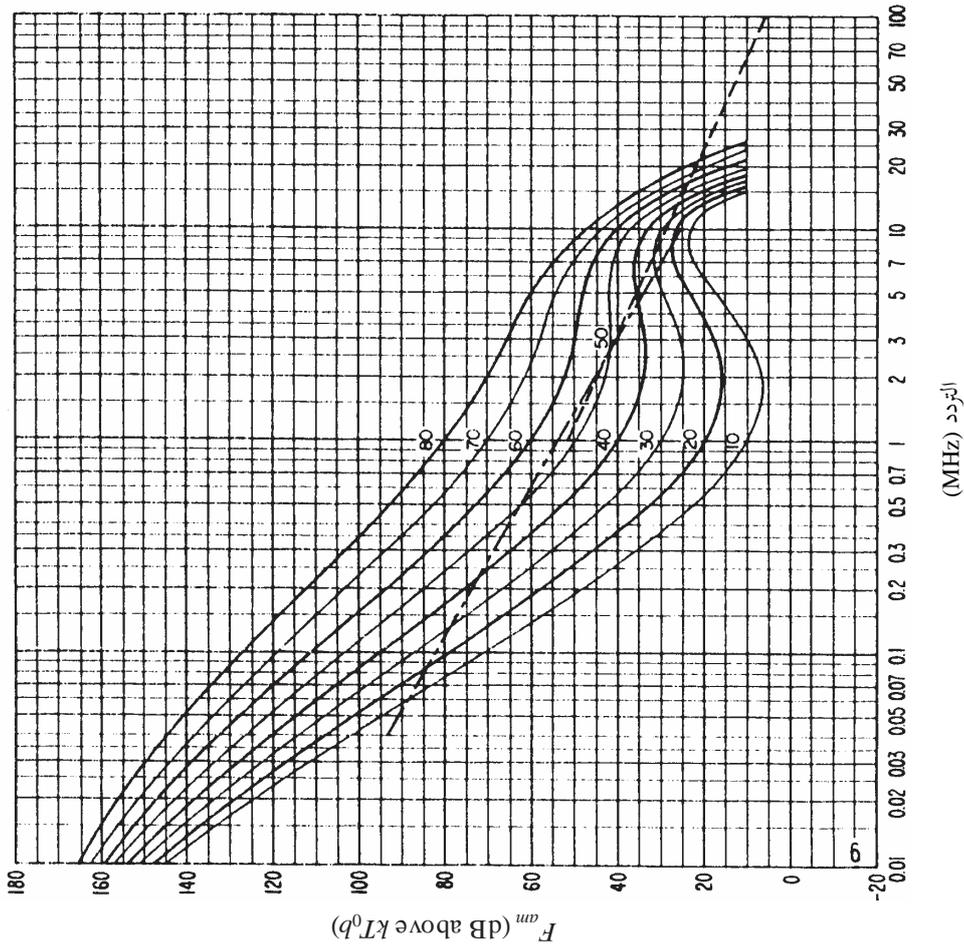
بيانات بشأن متغيرات الضوضاء وسماتها
(الربيع: 0800-0400 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ج)

الشكل 22 ب)

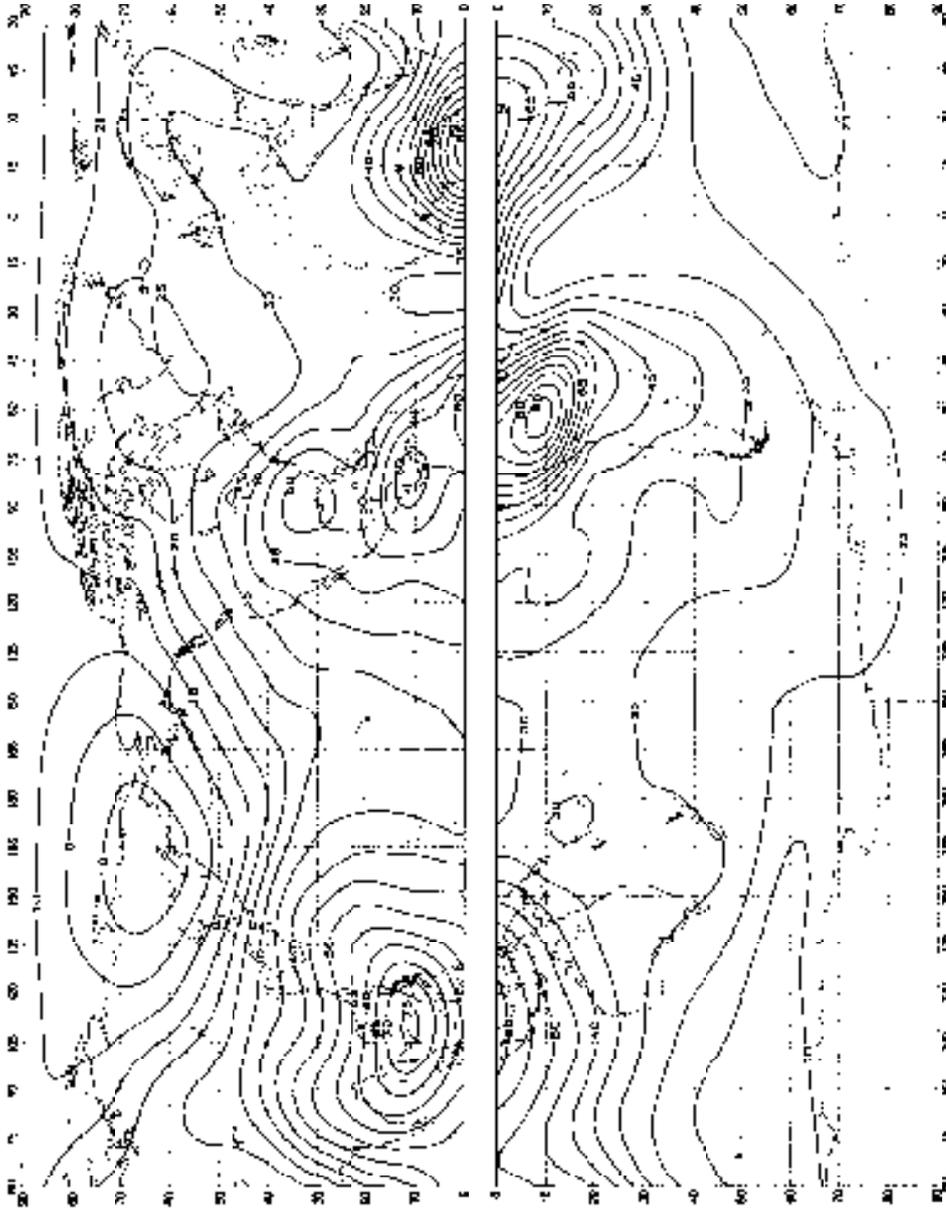
تغير الضوضاء الجوية بدلالة التردد
(الربيع: 0800-0400 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ب)

الشكل 23 أ)

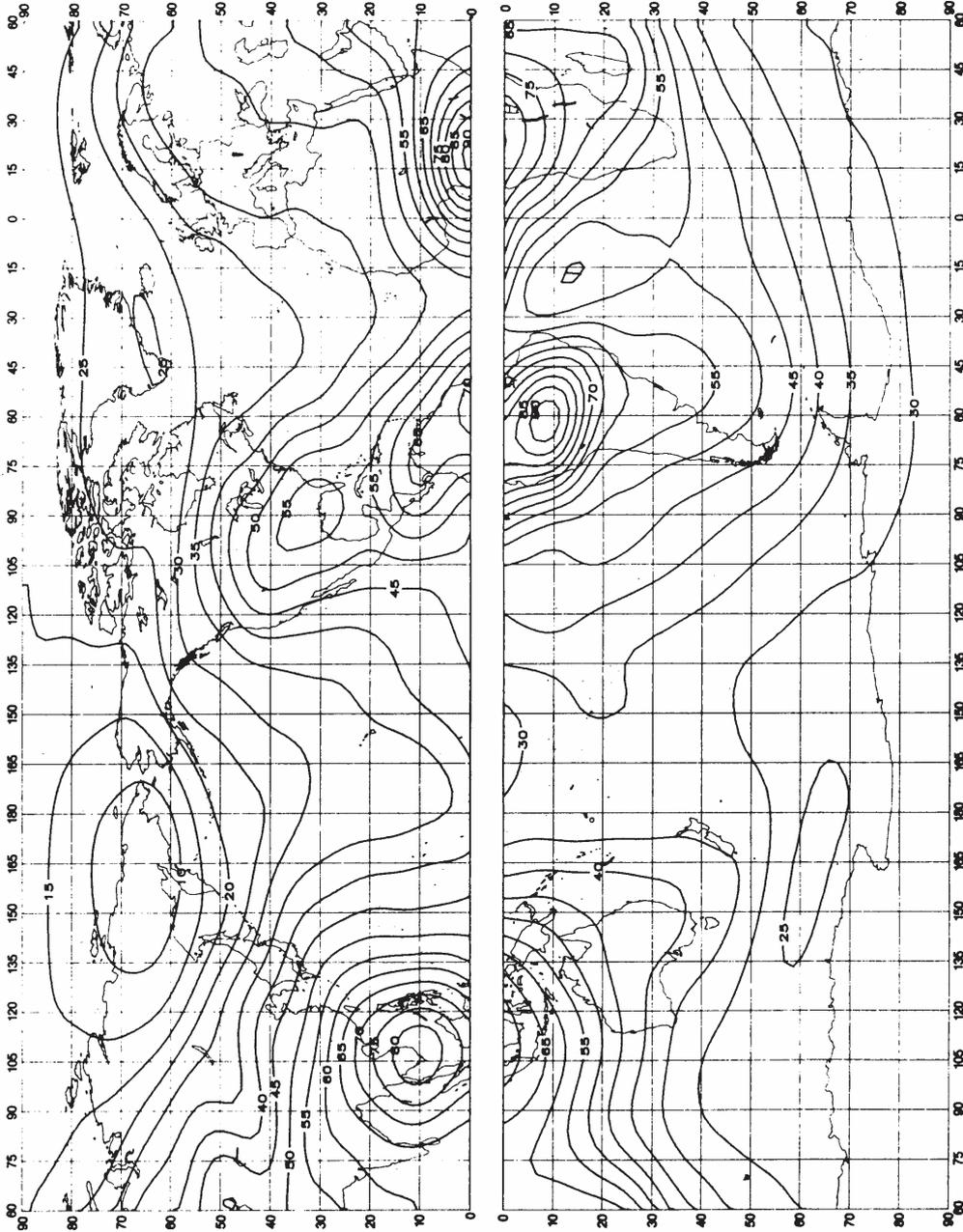
القيم المتوقعة للضوضاء الجوية الراديوية، F_{am} (بوحدة dB أعلى من kT_0b عند 1 MHz)
(الربيع: 1200-0800 بالتوقيت المحلي)



P.03722.3a

(الشكل 24 أ)

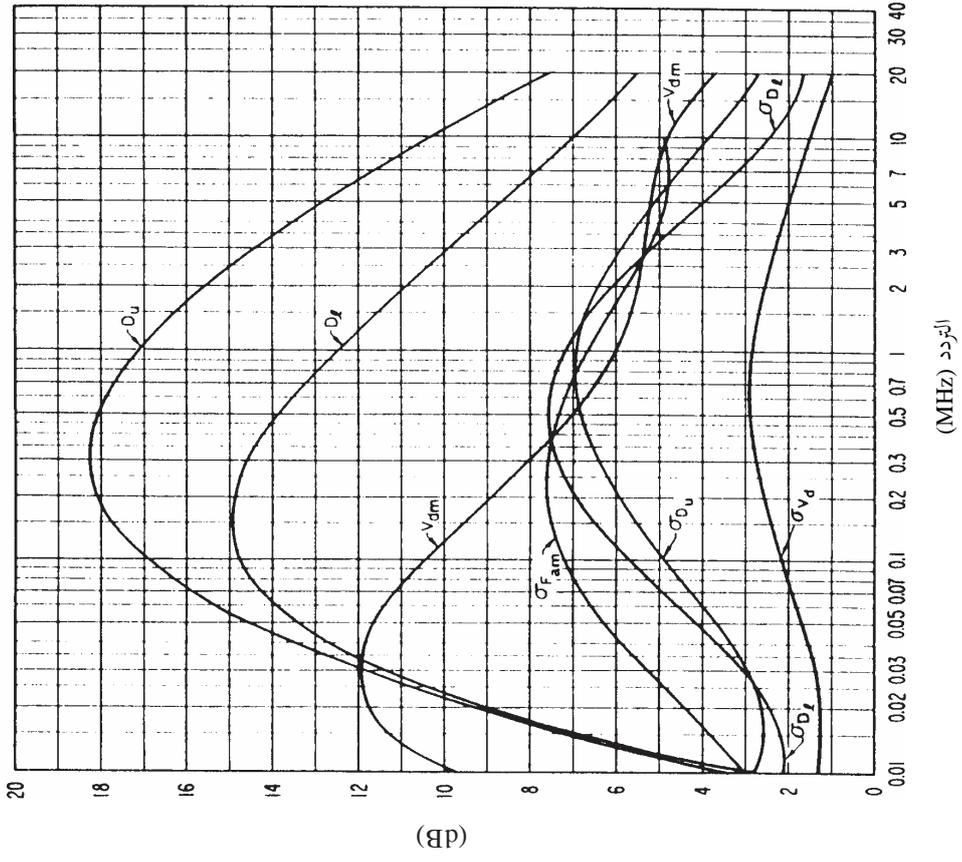
القيم المتوقعة للضوضاء الجوية الراديوية، F_{am} (بوحدة dB أعلى من kT_0b عند 1 MHz)
(الربيع: 1200-1600 بالتوقيت المحلي)



P.0372-24a

الشكل 24 ج)

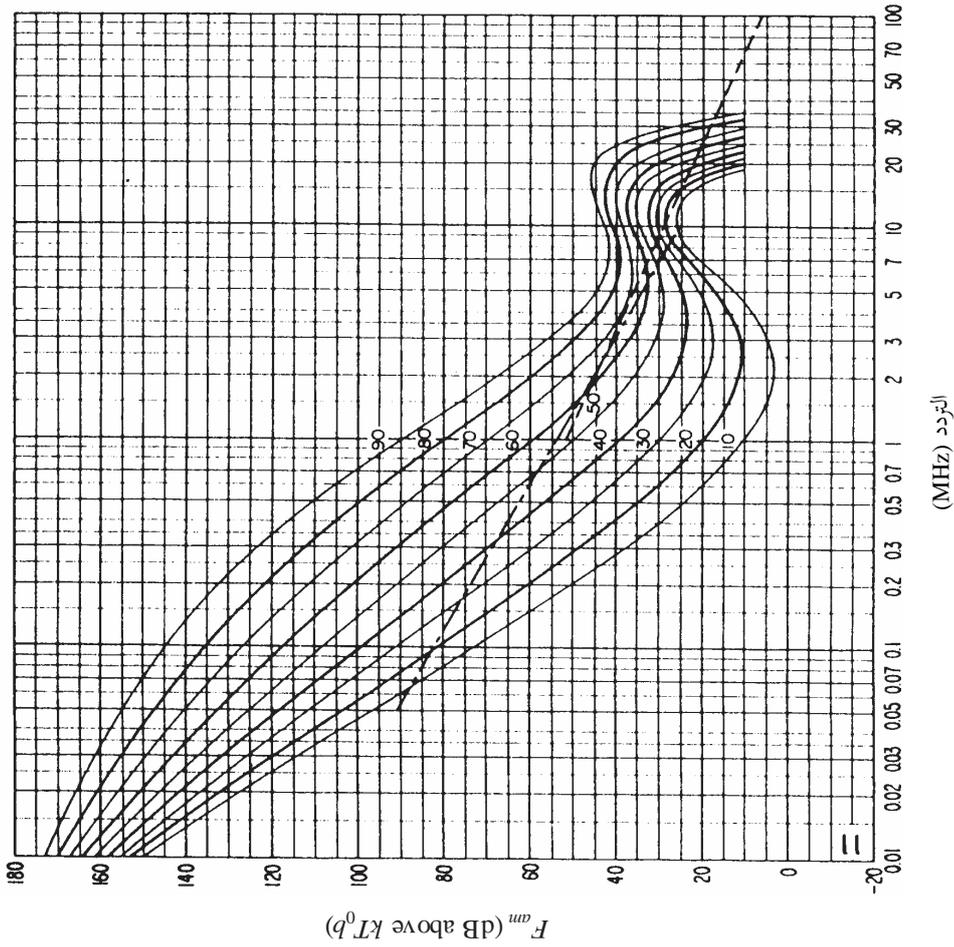
بيانات بشأن متغيرات الضوضاء وسماتها
(الربيع: 1600-1200 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ج)

الشكل 24 ب)

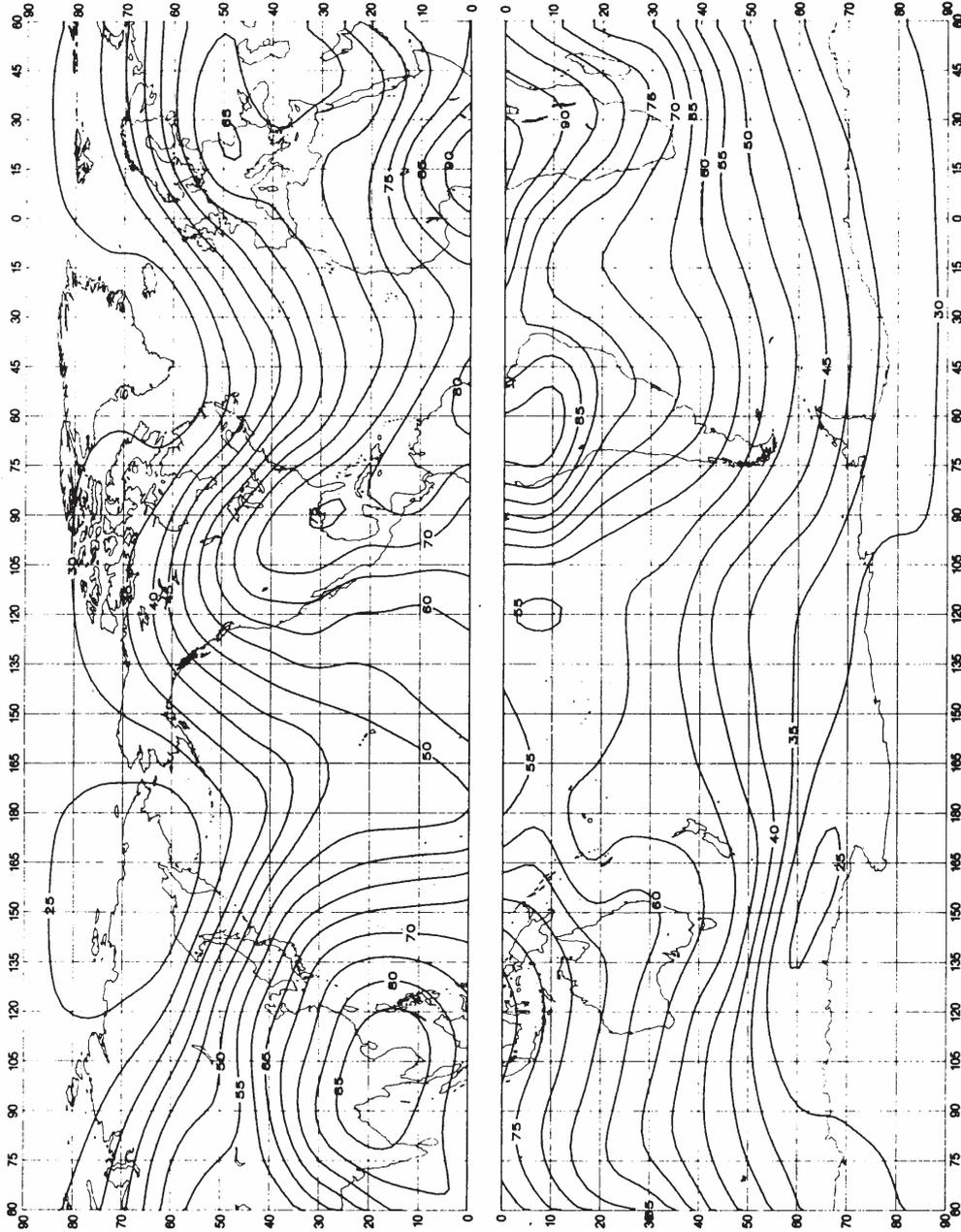
تغير الضوضاء الجوية بدلالة التردد
(الربيع: 1600-1200 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ب)

(الشكل 25 أ)

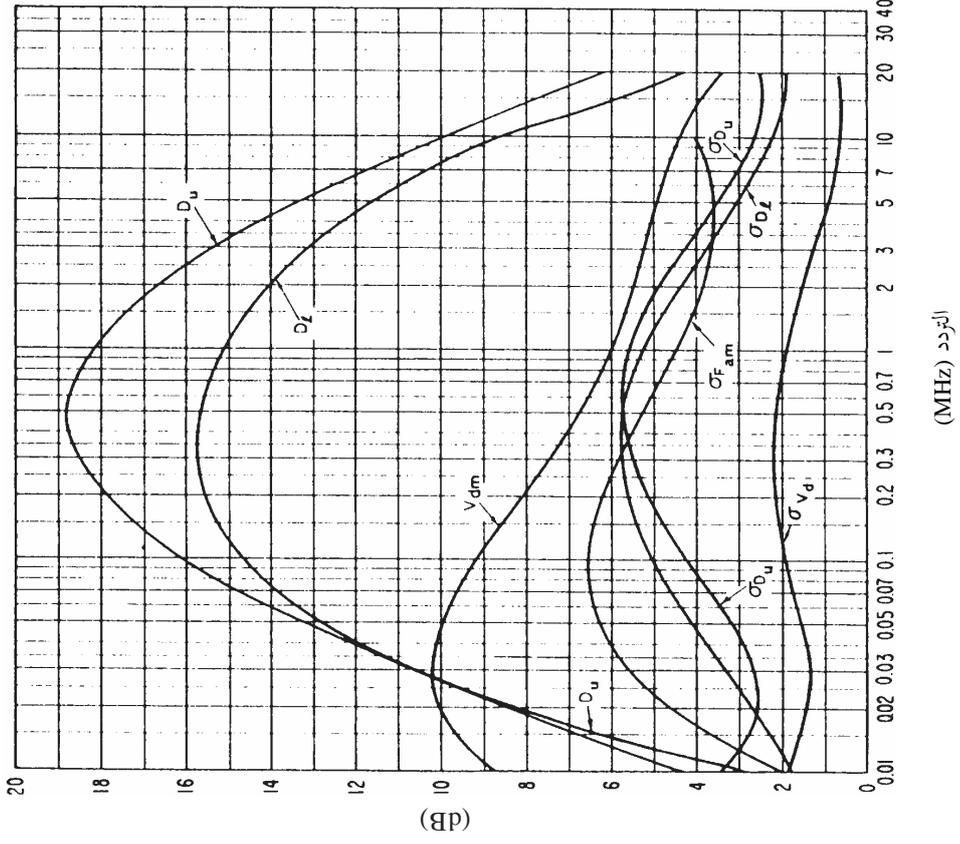
القيم المتوقعة للضوضاء الجوية الراديوية، F_{am} (بوحدة dB أعلى من kT_0b عند 1 MHz)
(الربيع: 2000-1600 بالتوقيت المحلي)



P0372-25a

الشكل 25 ج)

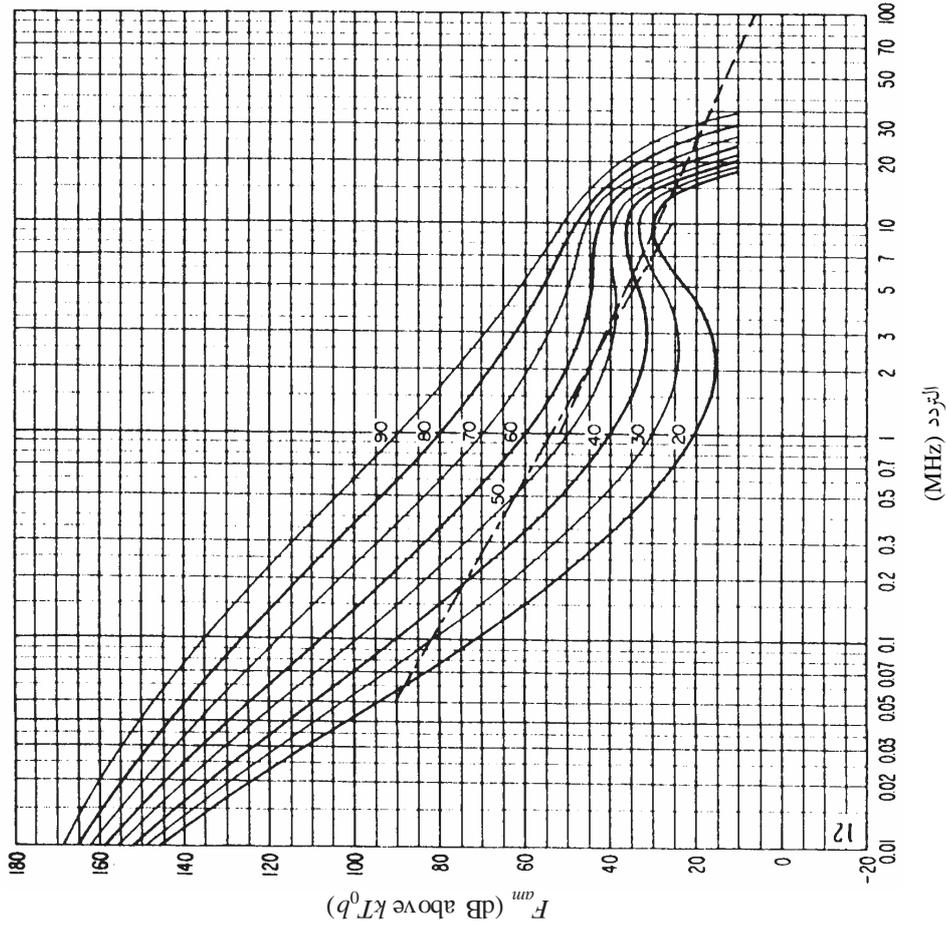
بيانات بشأن متغيرات الضوضاء وسماتها
(الربيع: 2000-1600 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ج)

الشكل 25 ب)

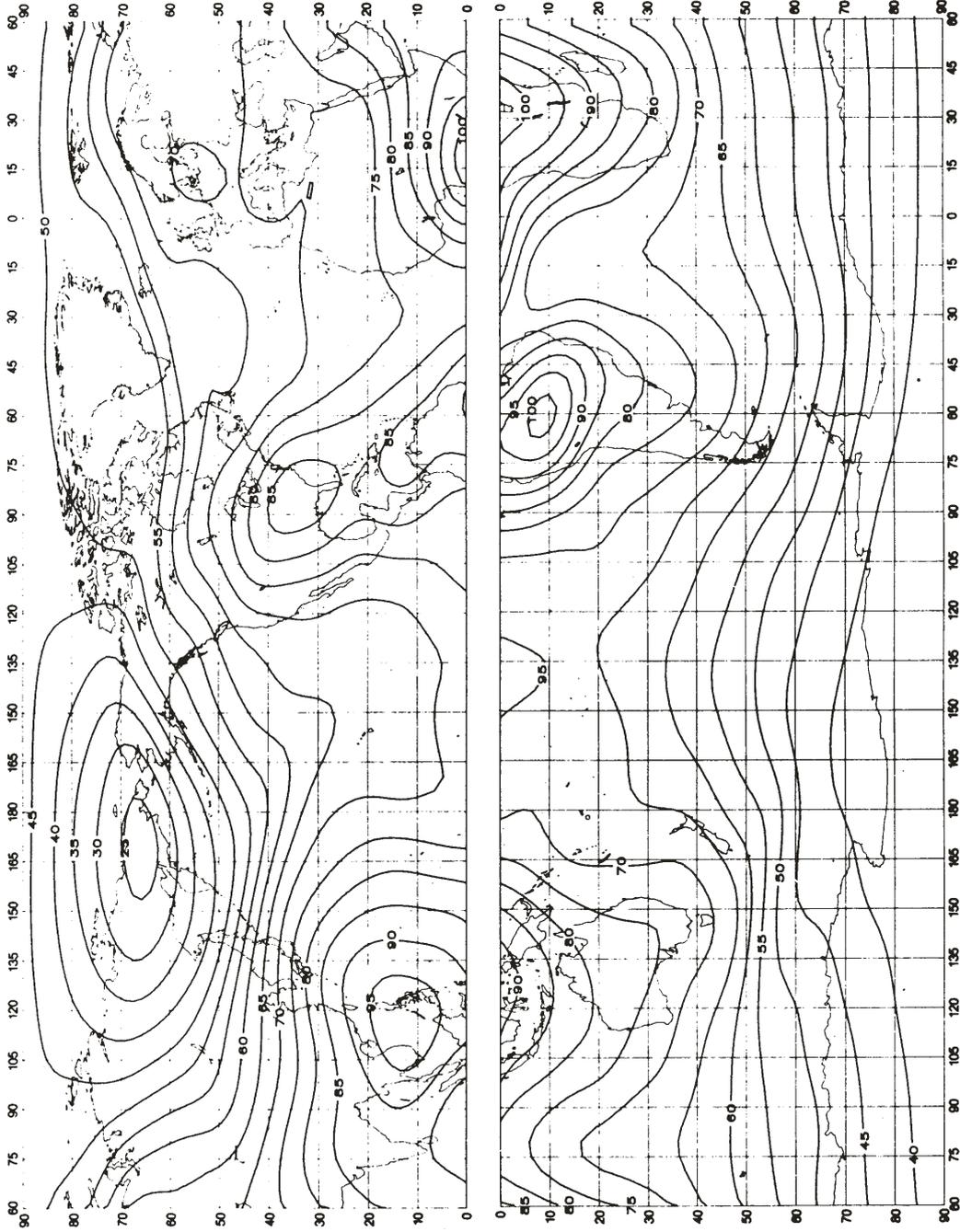
تغير الضوضاء الجوية بدلالة التردد
(الربيع: 2000-1600 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ب)

(الشكل 26 أ)

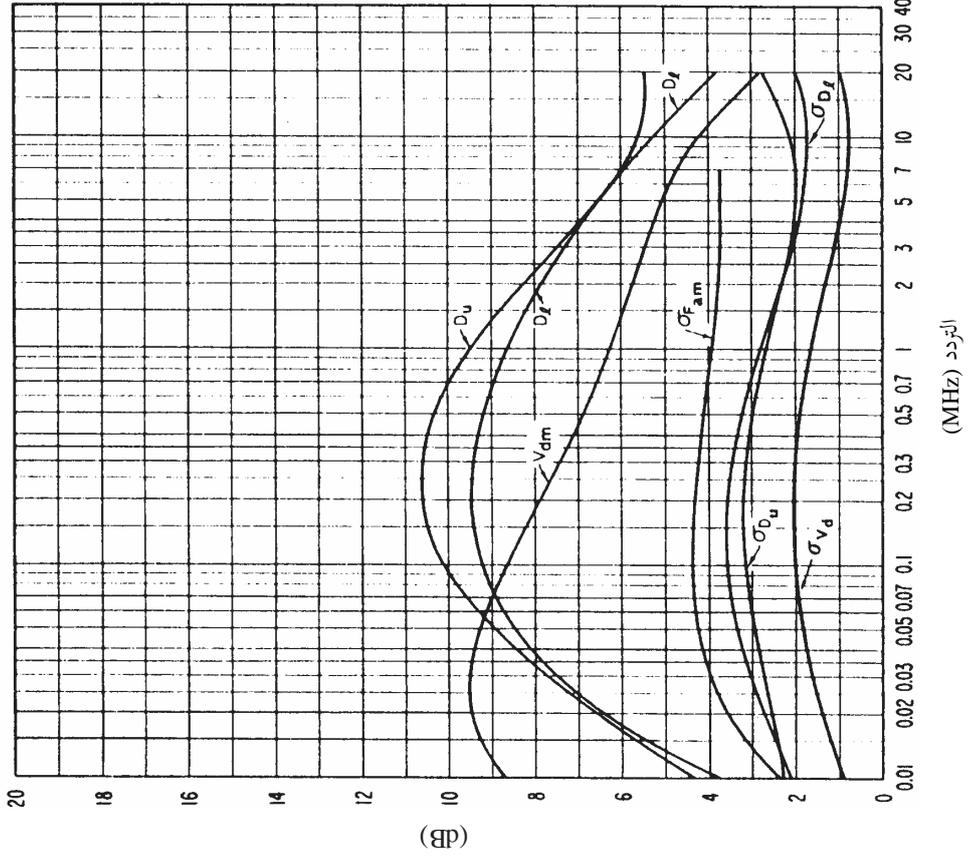
القيم المتوقعة للضوضاء الجوية الراديوية، F_{am} (بوحدة dB أعلى من kT_0b عند 1 MHz)
(الربيع: 2000-2400 بالتوقيت المحلي)



P.0372-26a

الشكل 26 ج)

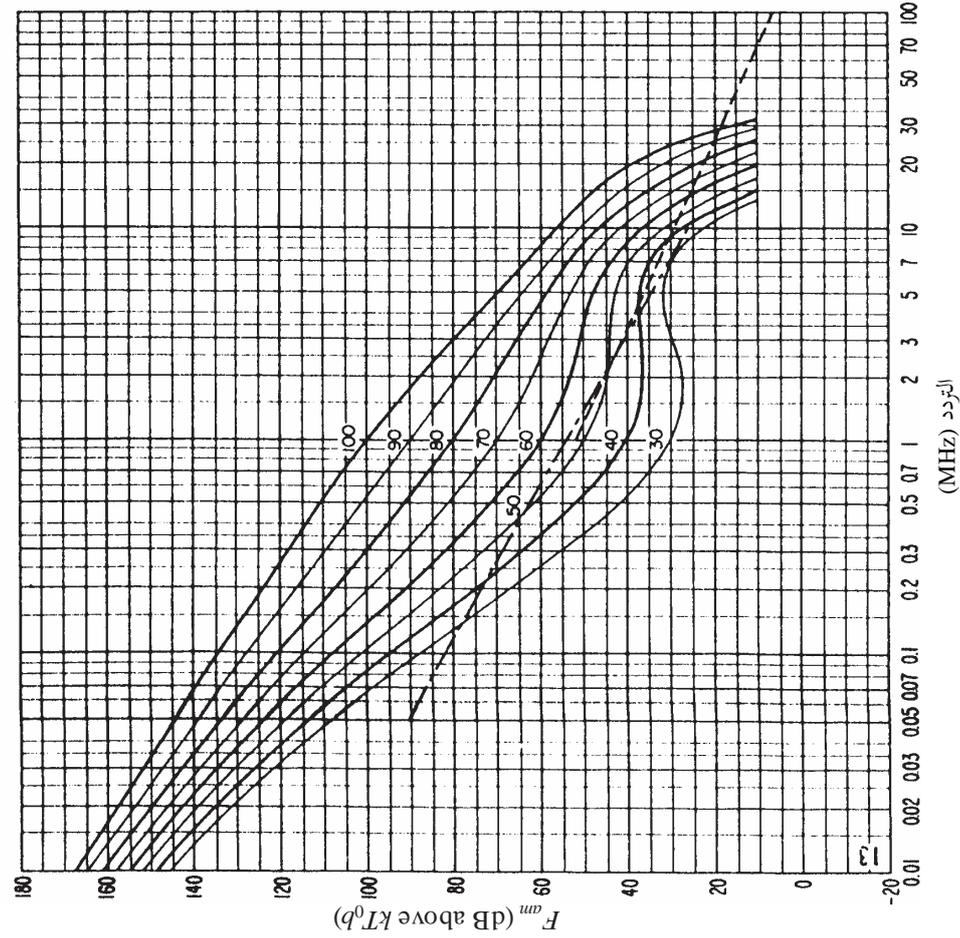
بيانات بشأن متغيرات الضوضاء وسماتها
(الربيع: 2000-2400 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ج)

الشكل 26 ب)

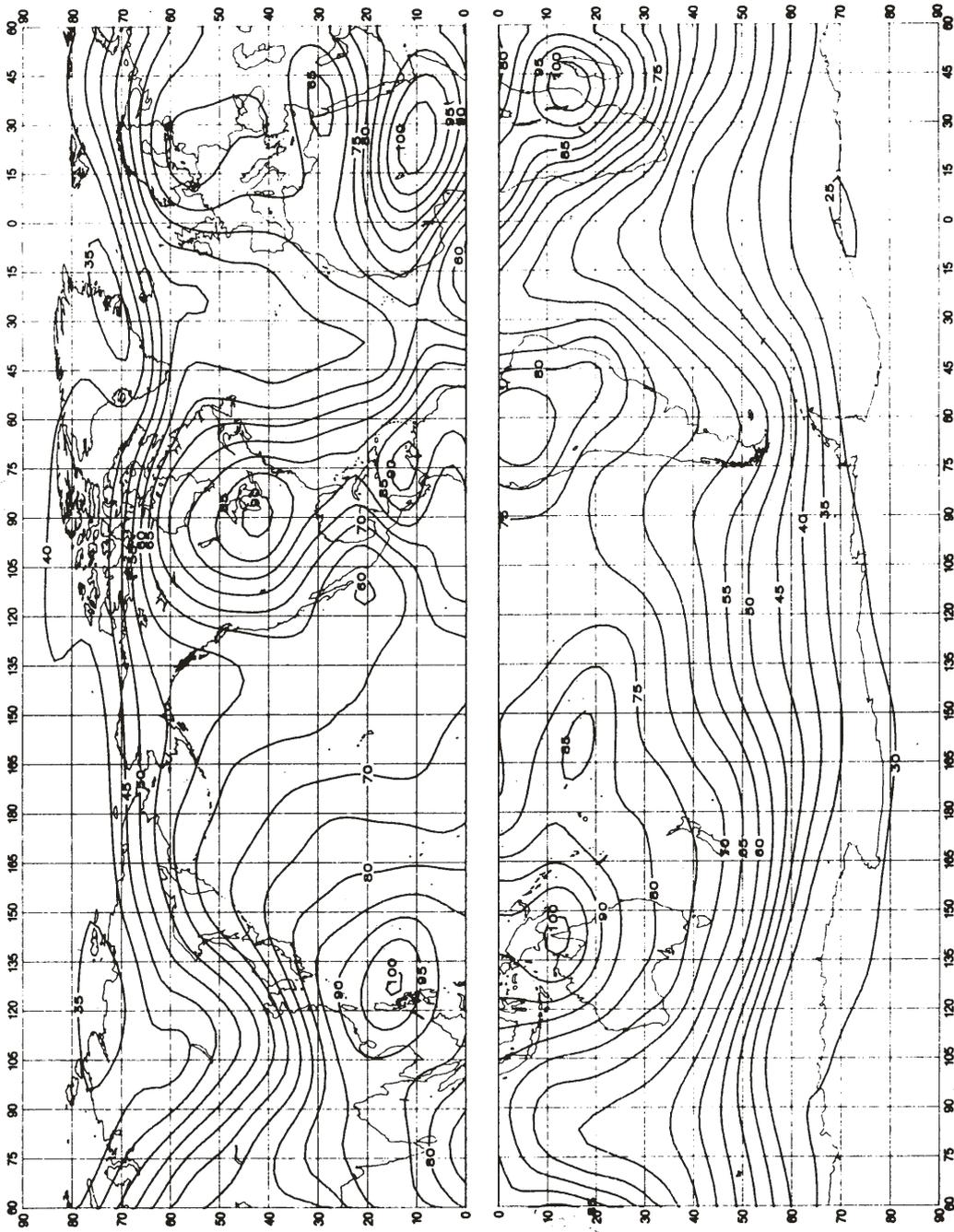
تغير الضوضاء الجوية بدلالة التردد
(الربيع: 2000-2400 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ب)

(الشكل 27 أ)

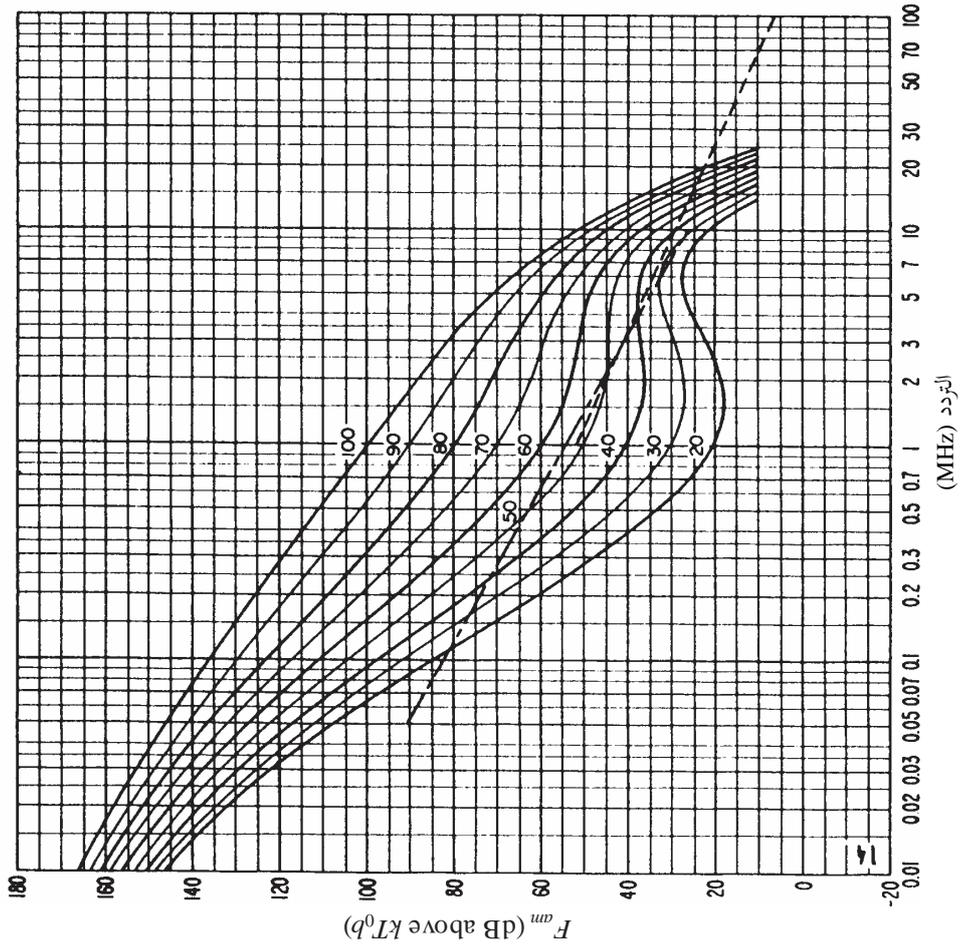
القيم المتوقعة للضوضاء الجوية الراديوية، F_{am} (بوحدة dB أعلى من kT_0b عند 1 MHz)
(الصيف: 0400-0000 بالتوقيت المحلي)



P0372-27a

الشكل 27 ب)

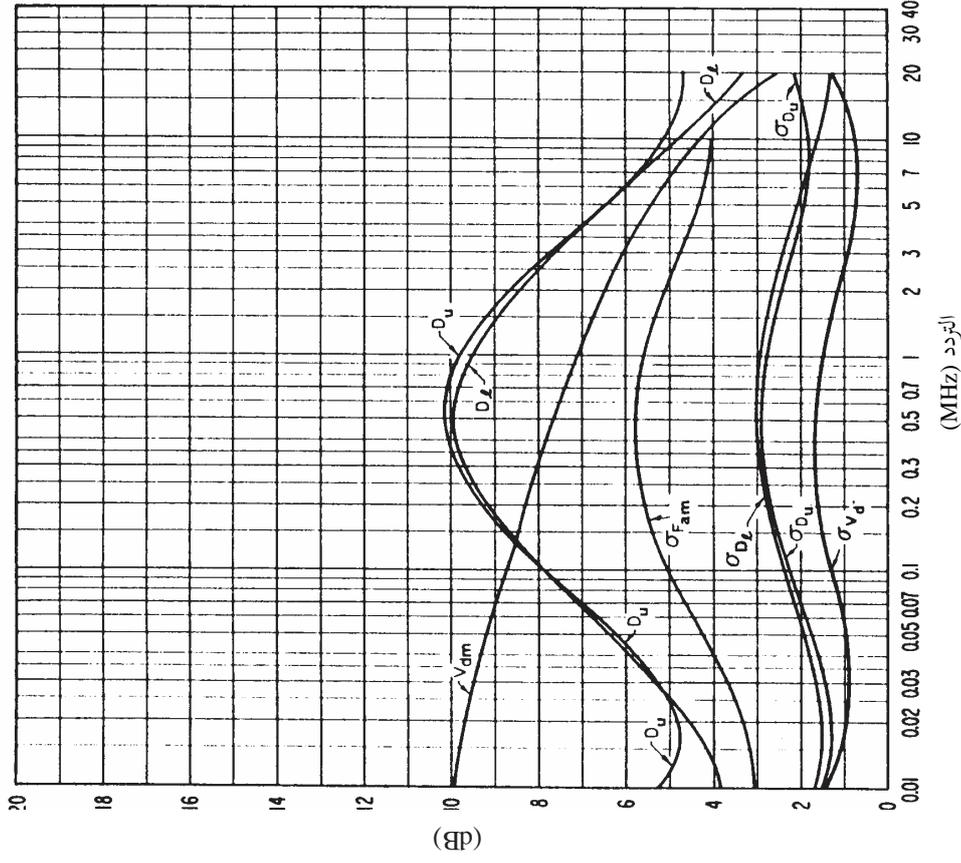
تغير الضوضاء الجوية بدلالة التردد
(الصيف: 0400-0000 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ب)

الشكل 27 ج)

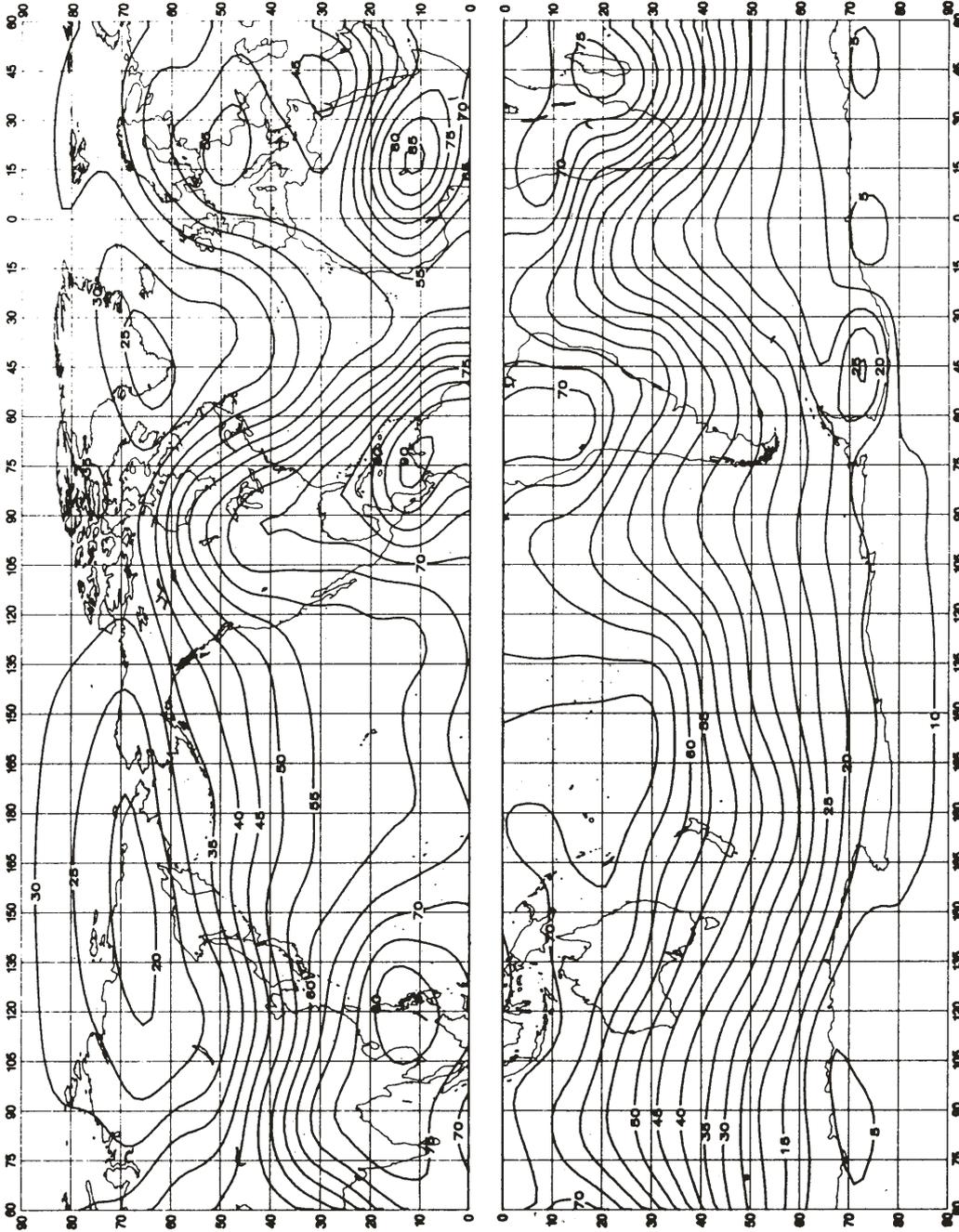
بيانات بشأن متغيرات الضوضاء وسماتها
(الصيف: 0400-0000 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ج)

(الشكل 28 أ)

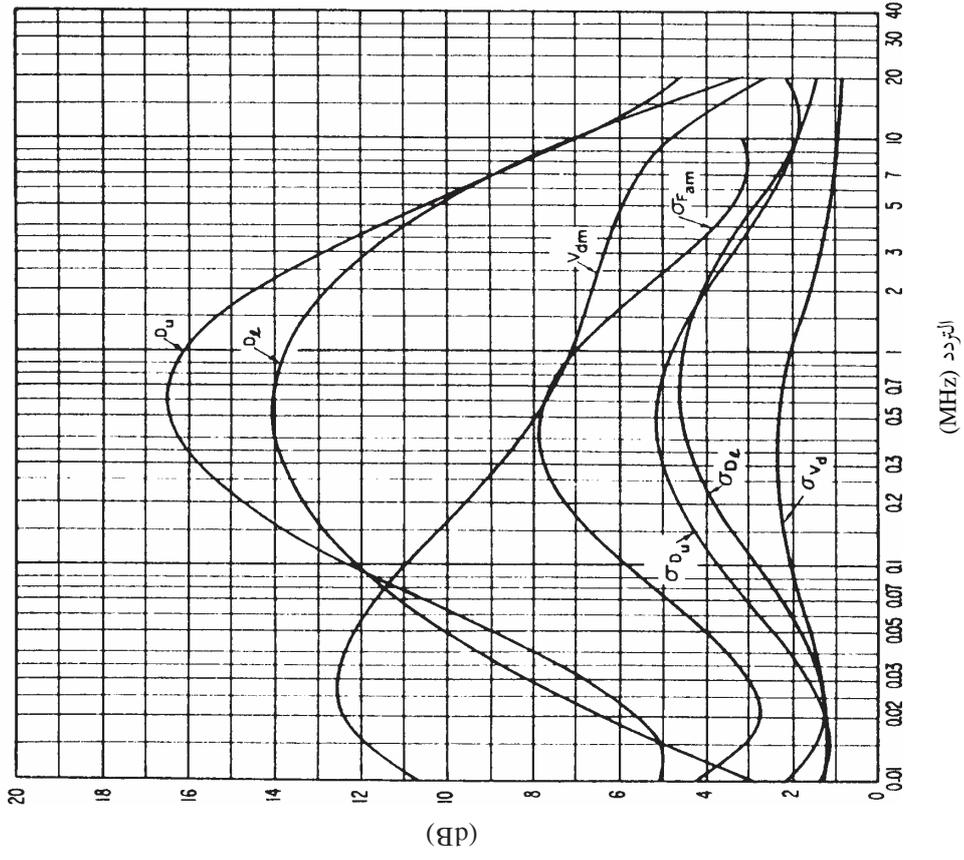
القيم المتوقعة للضوضاء الجوية الراديوية، F_{am} (بوحدة dB أعلى من kT_0b عند 1 MHz)
(الصيف: 0800-0400 بالتوقيت المحلي)



P.0372-28a

الشكل 28 ج)

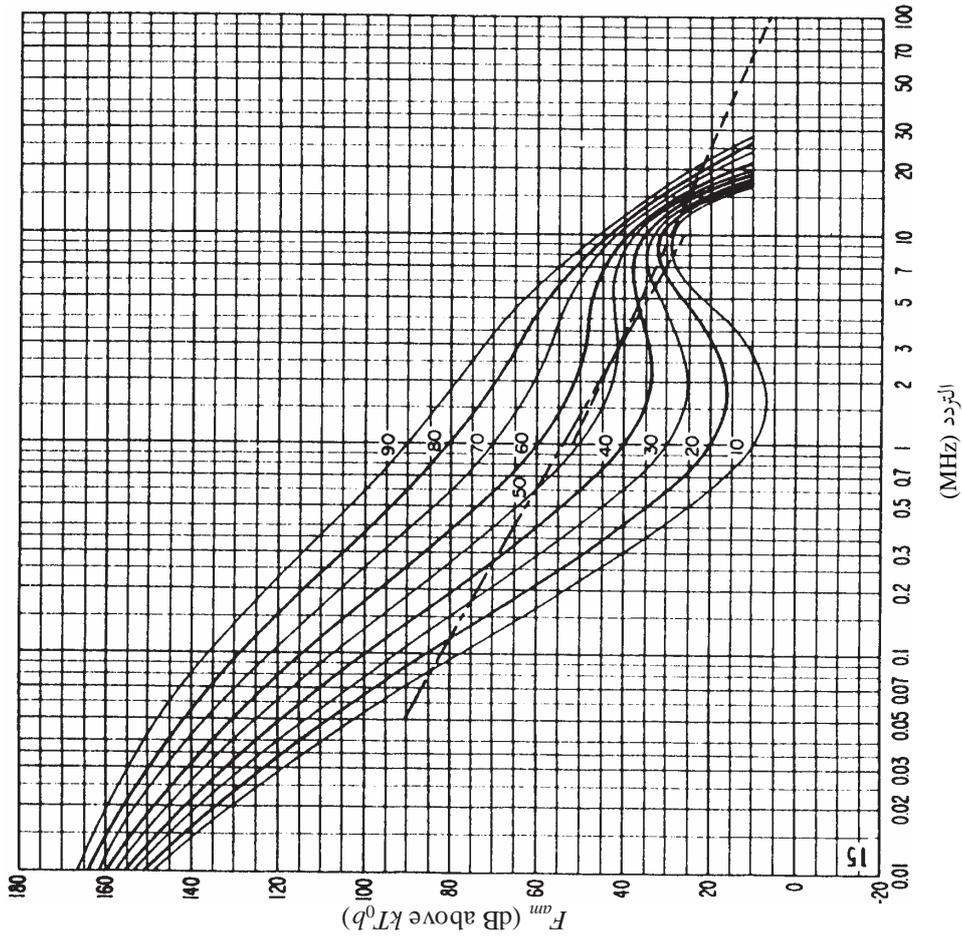
بيانات بشأن متغيرات الضوضاء وسماتها
(الصيف: 0800-0400 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ج)

الشكل 28 ب)

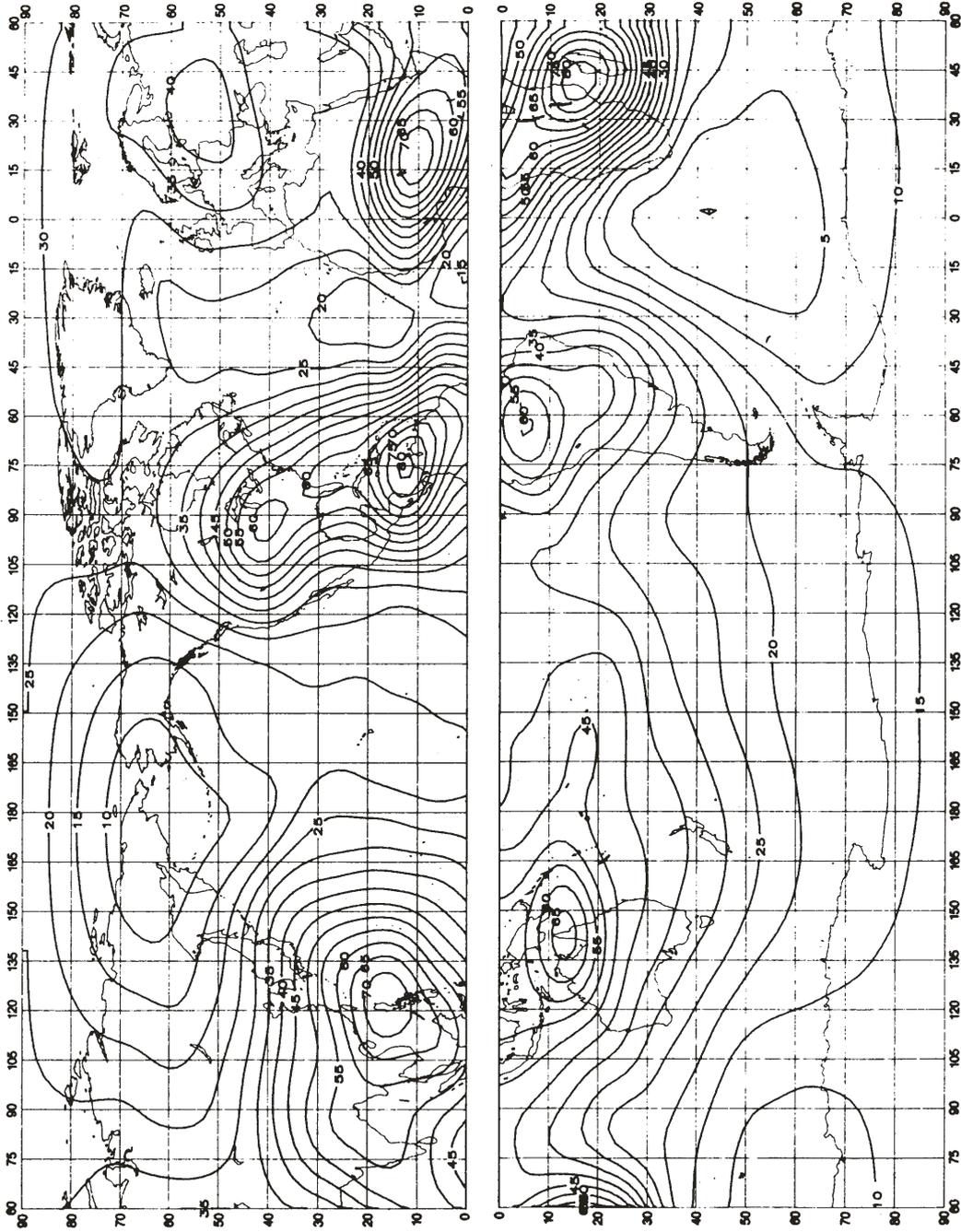
تغير الضوضاء الجوية بدلالة التردد
(الصيف: 0800-0400 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ب)

(الشكل 29 أ)

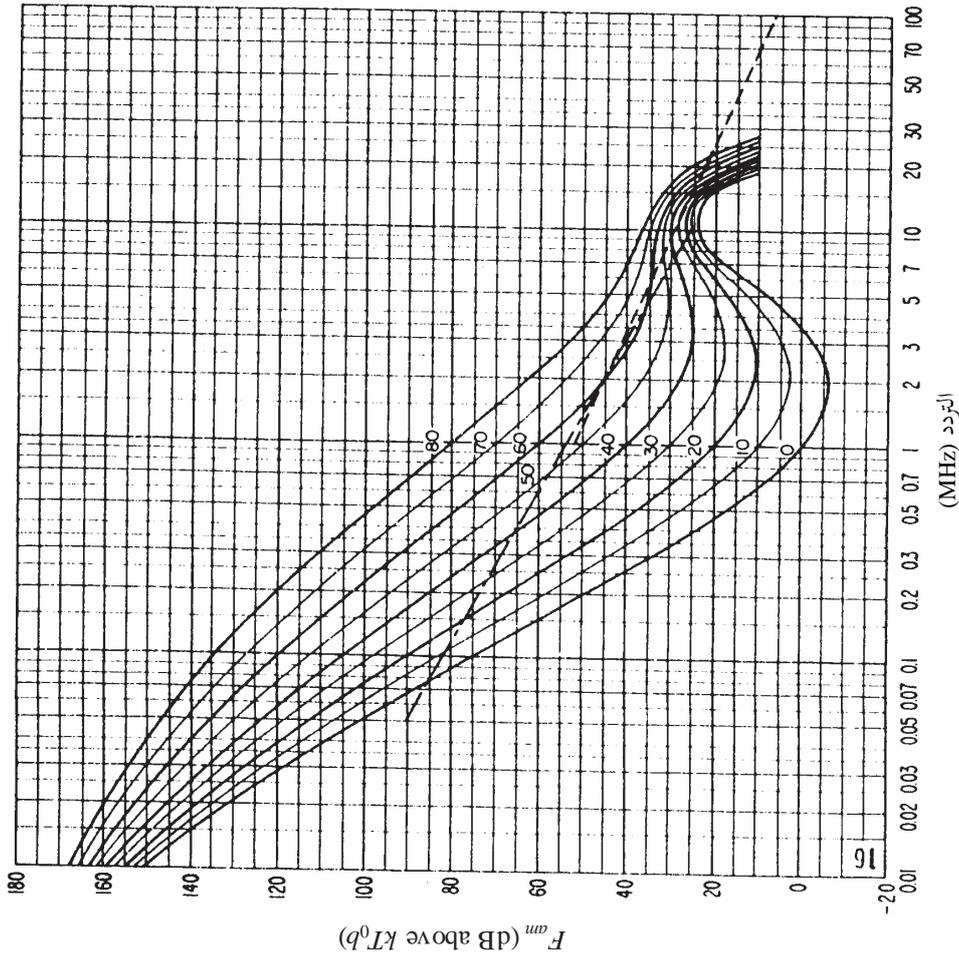
القيم المتوقعة للضوضاء الجوية الراديوية، F_{am} (بوحدة dB أعلى من kT_0b عند 1 MHz)
(الصيف: 1200-0800 بالتوقيت المحلي)



P.0372-29a

الشكل 29 ب)

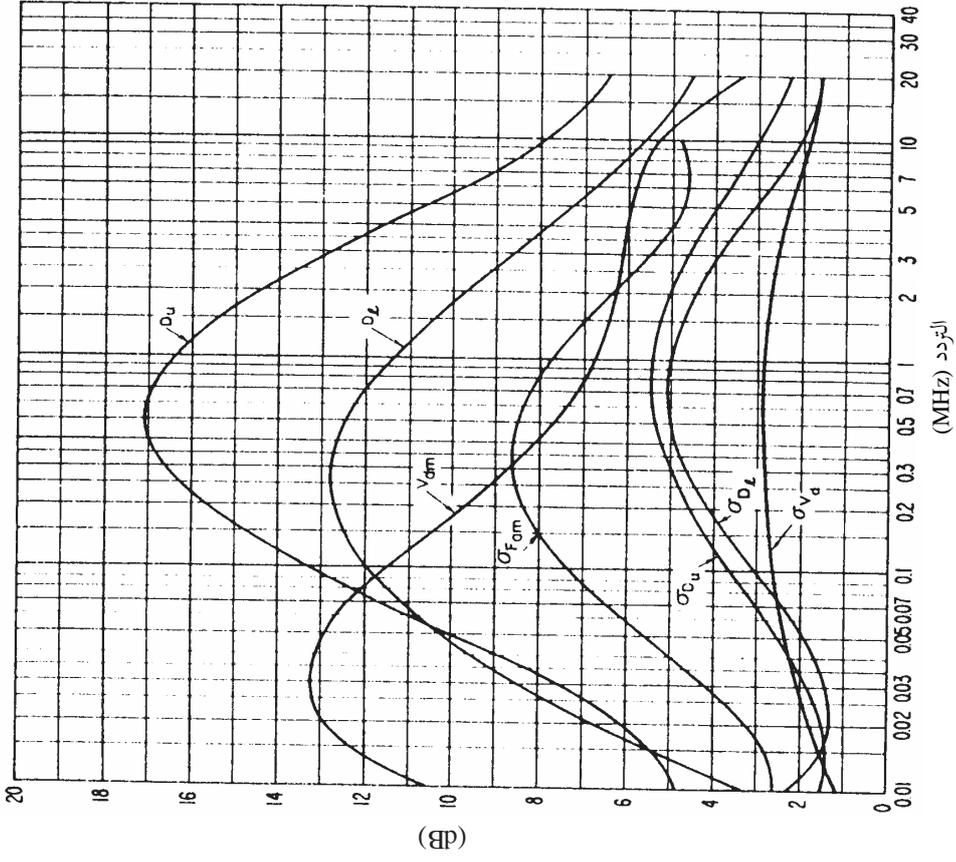
تغير الضوضاء الجوية بدلالة التردد
(الصيف: 1200-0800 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ب)

الشكل 29 ج)

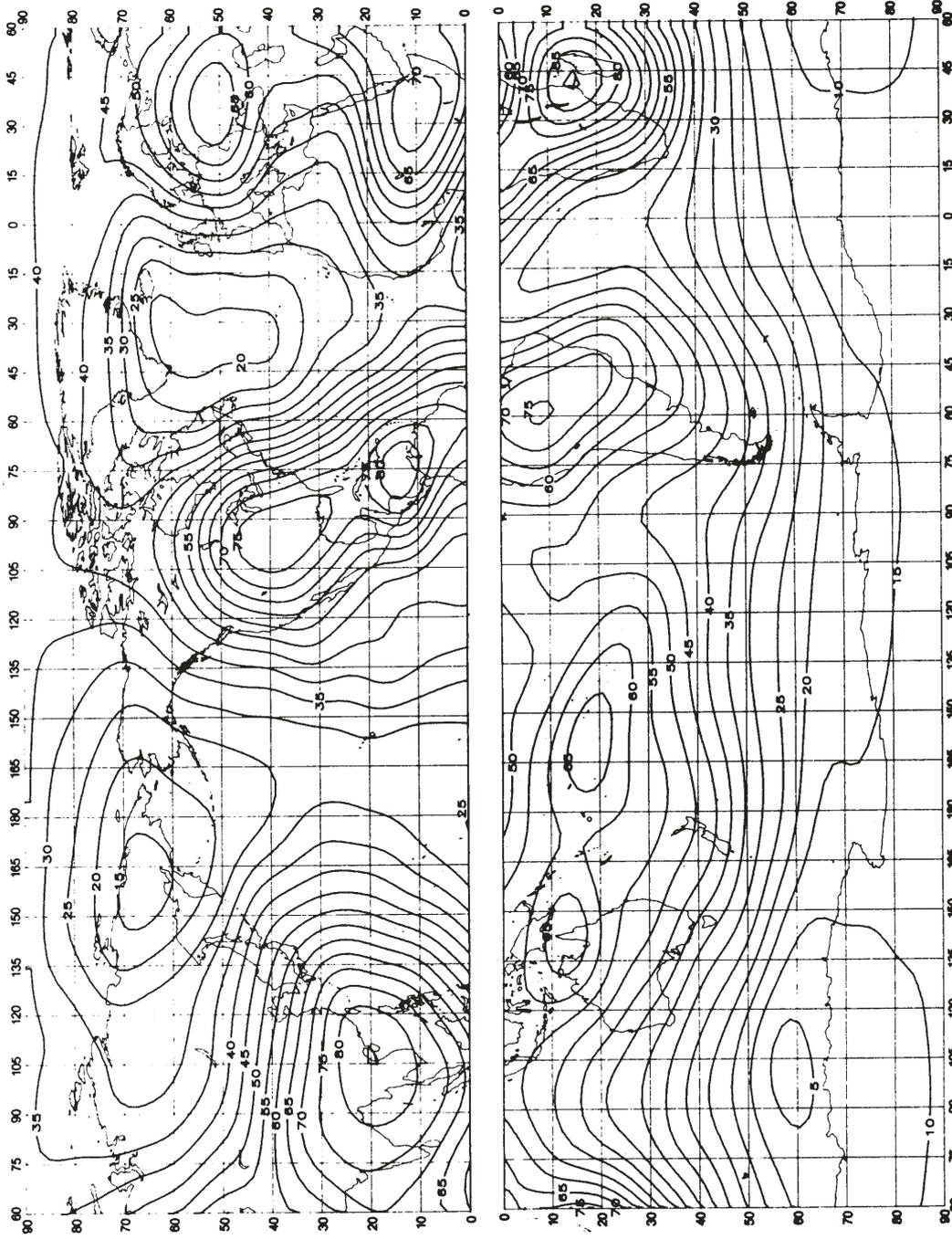
بيانات بشأن متغيرات الضوضاء وسماتها
(الصيف: 1200-0800 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ج)

(الشكل 30 أ)

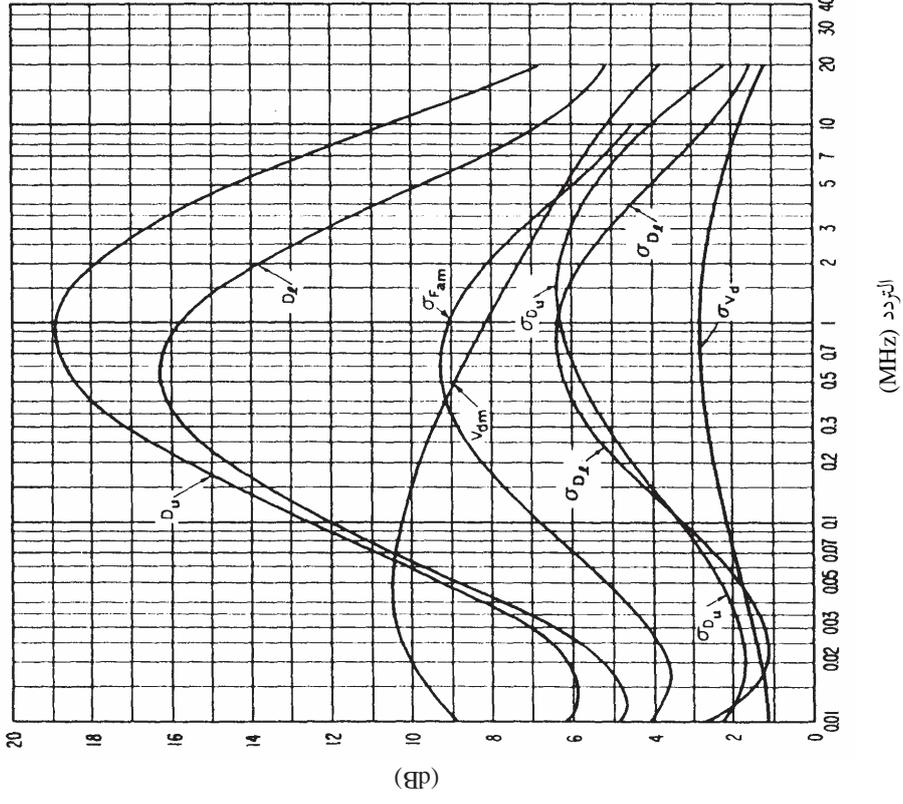
القيم المتوقعة للضوضاء الجوية الراديوية، F_{am} (بوحدة dB أعلى من kT_0b عند 1 MHz) (الصيف: 1600-1200 بالتوقيت المحلي)



P.0372-30a

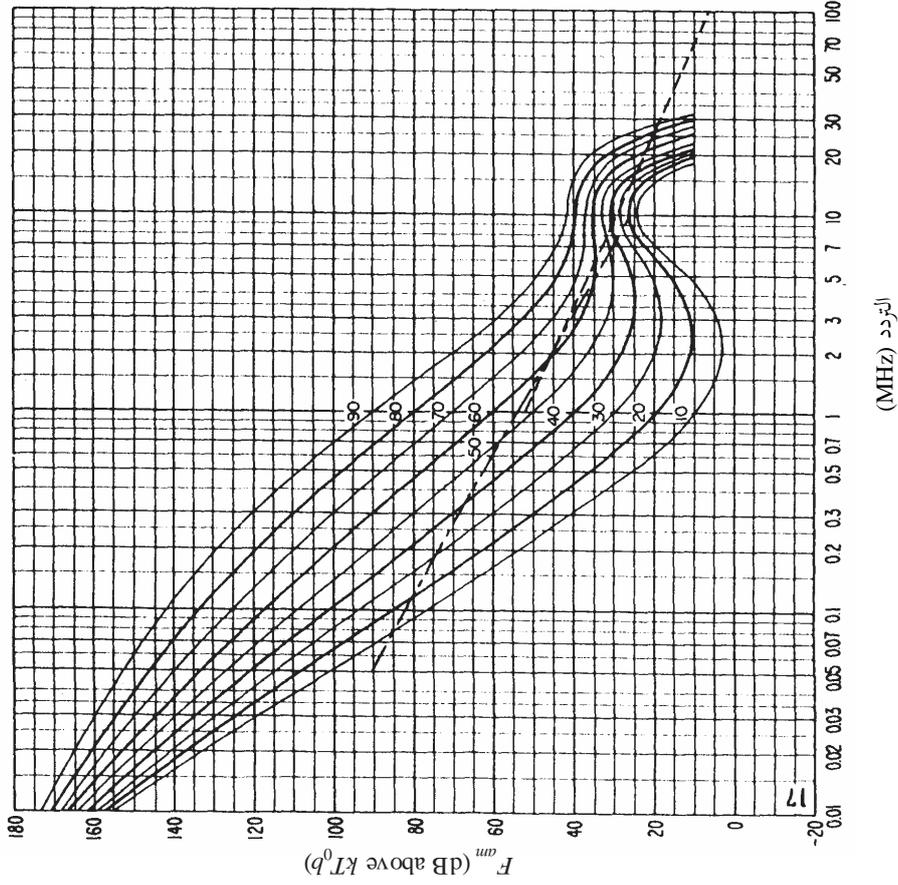
الشكل 30 ج)

بيانات بشأن متغيرات الضوضاء وسماتها
(الصيف: 1600-1200 بالتوقيت المحلي)



الشكل 30 ب)

تغير الضوضاء الجوية بدلالة التردد
(الصيف: 1600-1200 بالتوقيت المحلي)

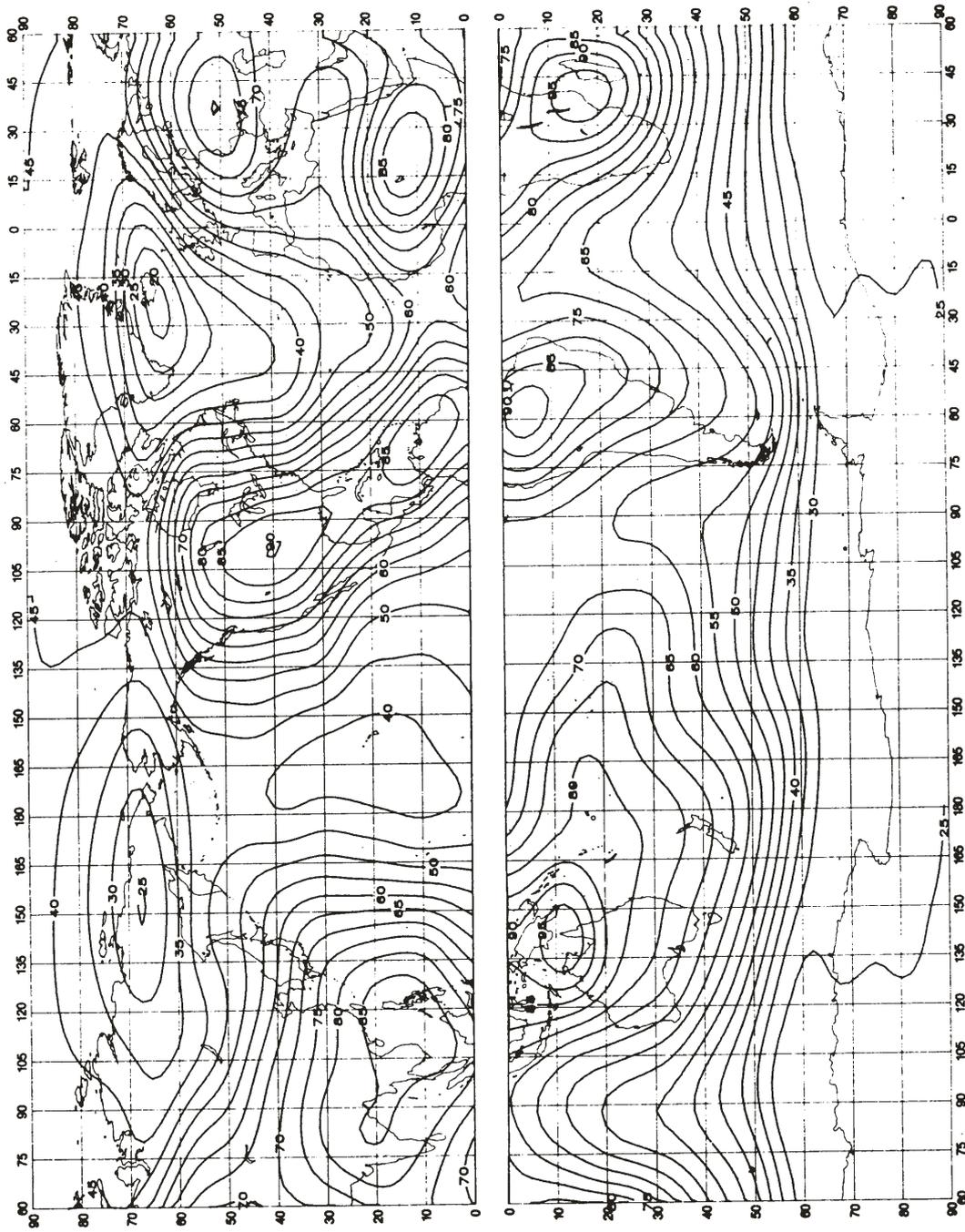


انظر شرح الشكل 15 ج)

انظر شرح الشكل 15 ب)

(الشكل 31 أ)

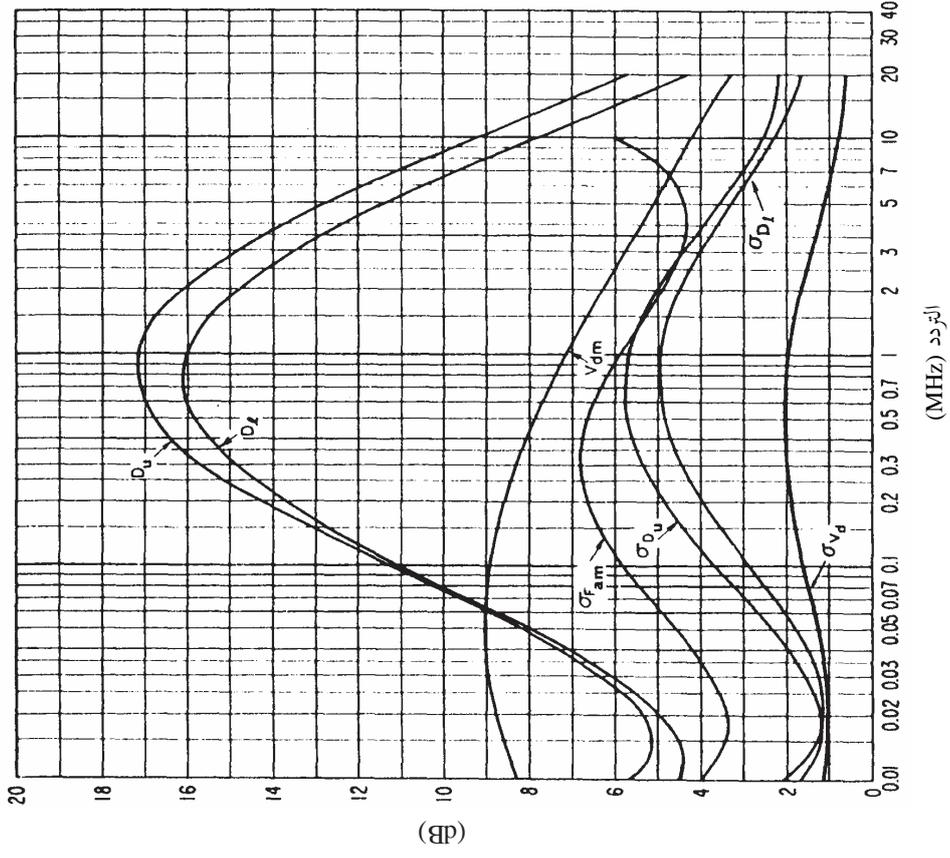
القيم المتوقعة للضوضاء الجوية الراديوية، F_{am} (بوحدة dB أعلى من kT_0b عند 1 MHz)
(الصيف: 2000-1600 بالتوقيت المحلي)



P.0372-31a

الشكل 31 ج

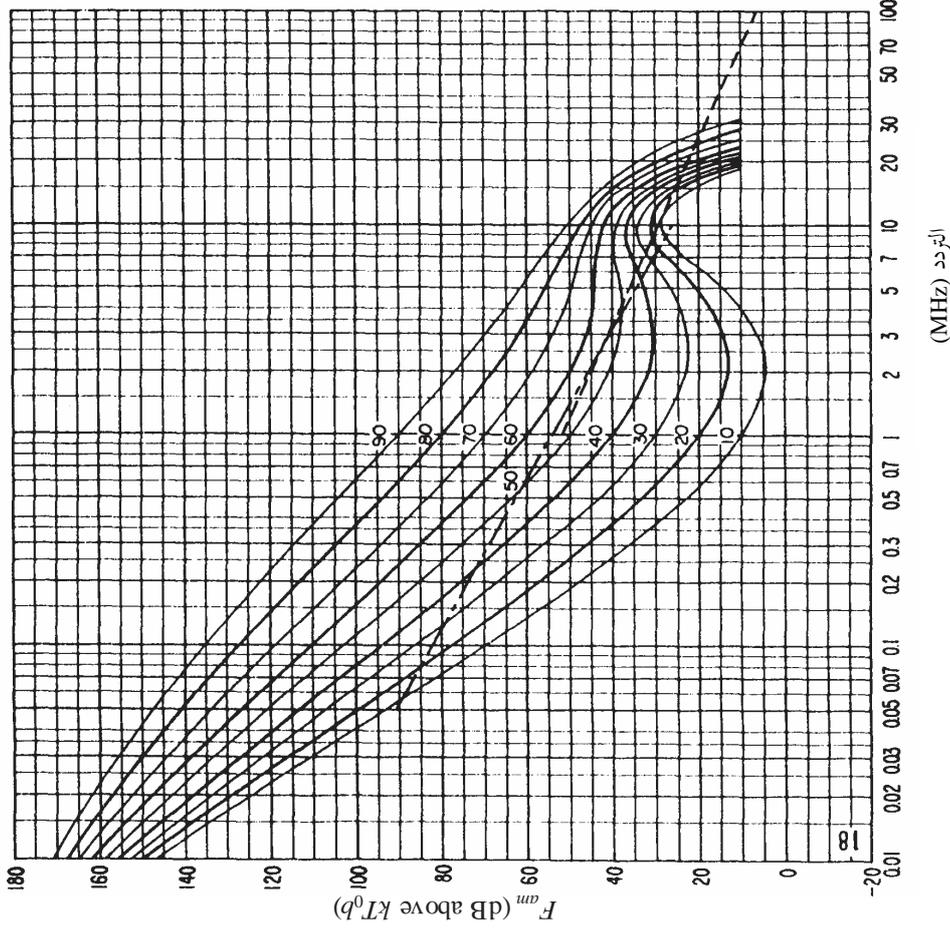
بيانات بشأن متغيرات الضوضاء وسماتها
(الصفيف: 2000-1600 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ج

الشكل 31 ب

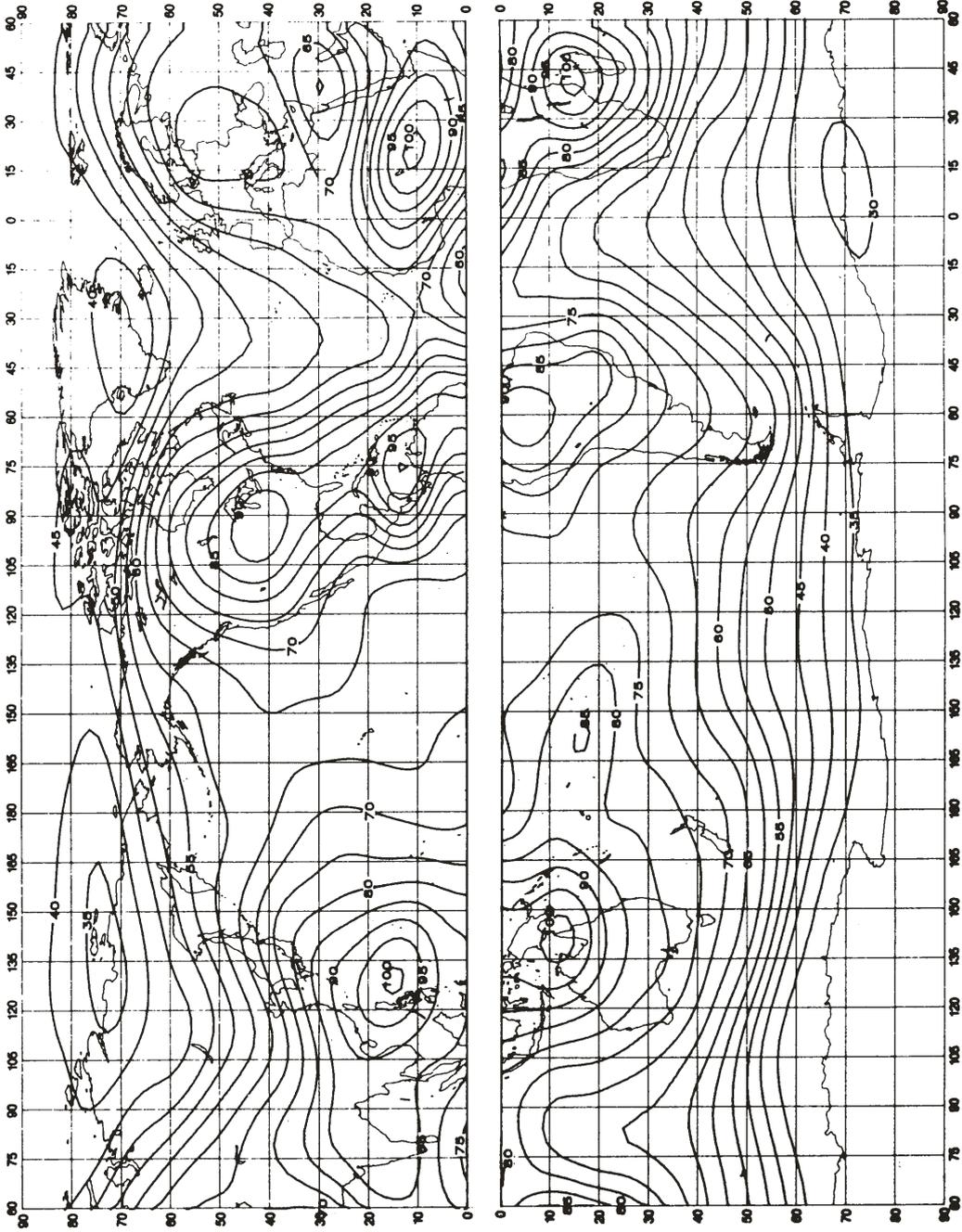
تغير الضوضاء الجوية بدلالة التردد
(الصفيف: 2000-1600 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ب

(الشكل 32 أ)

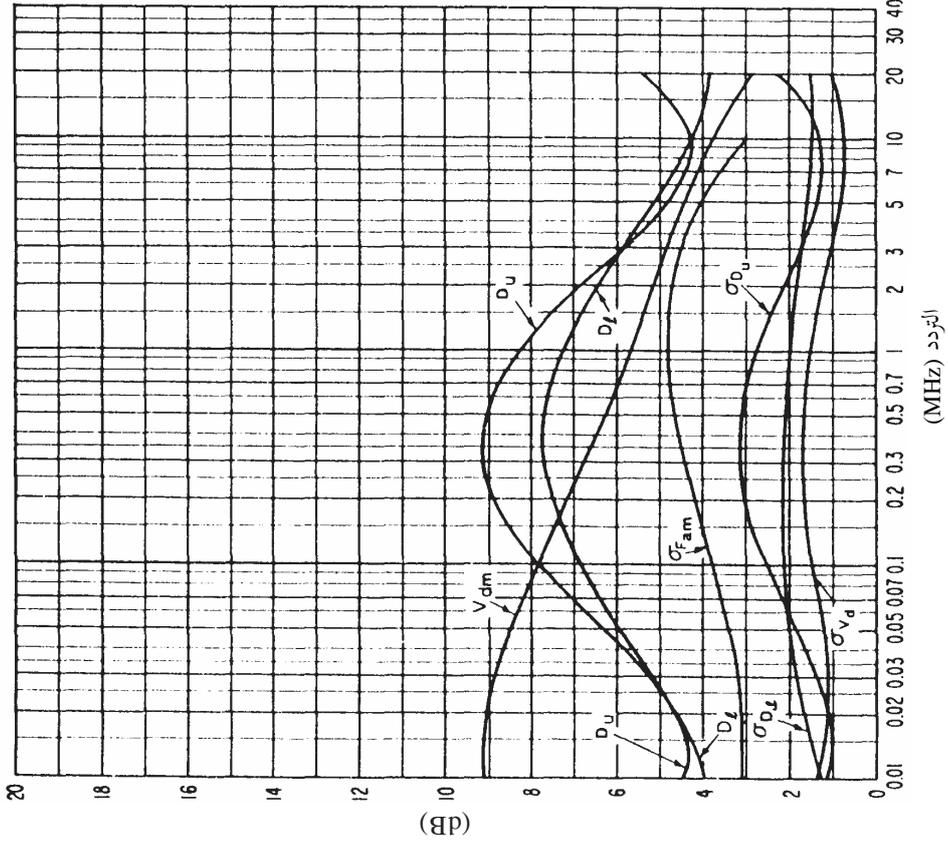
القيم المتوقعة للضوضاء الجوية الراديوية، F_{am} (بوحدة dB أعلى من kT_0b عند 1 MHz)
(الصيف: 2000-2400 بالتوقيت المحلي)



P.0372-32a

الشكل 32 ج

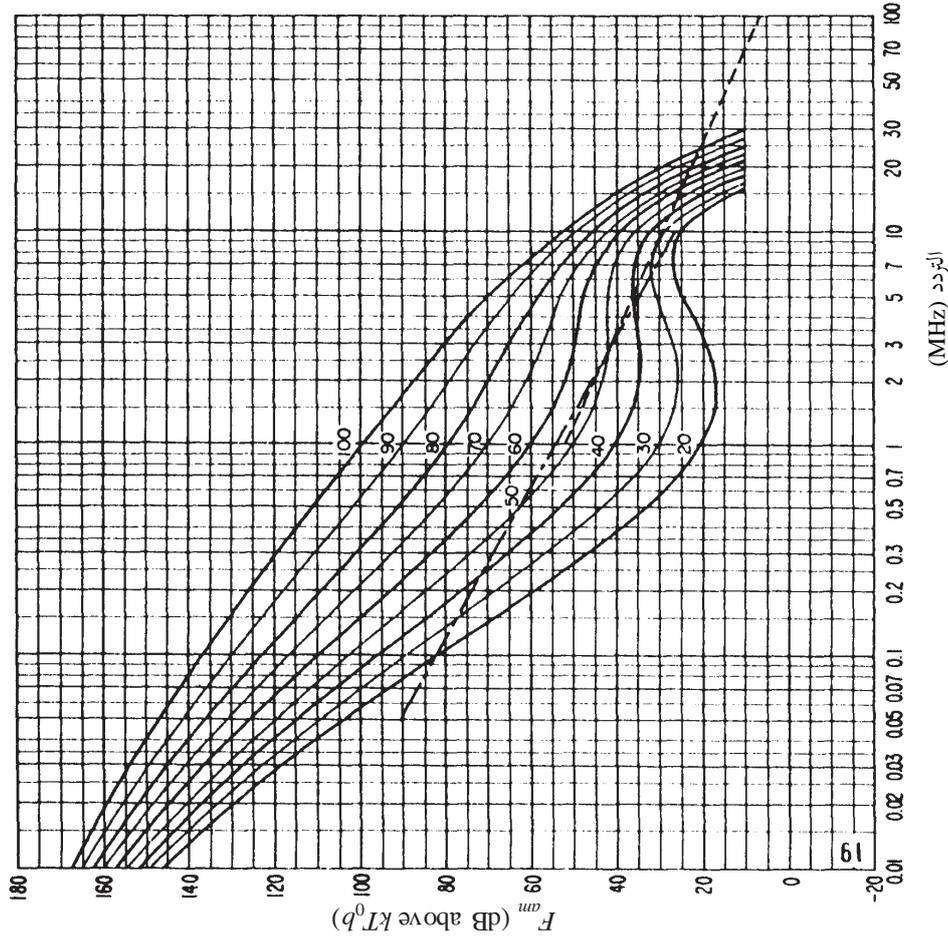
بيانات بشأن متغيرات الضوضاء وسماتها
(الصيف: 2400-2000 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ج

الشكل 32 ب

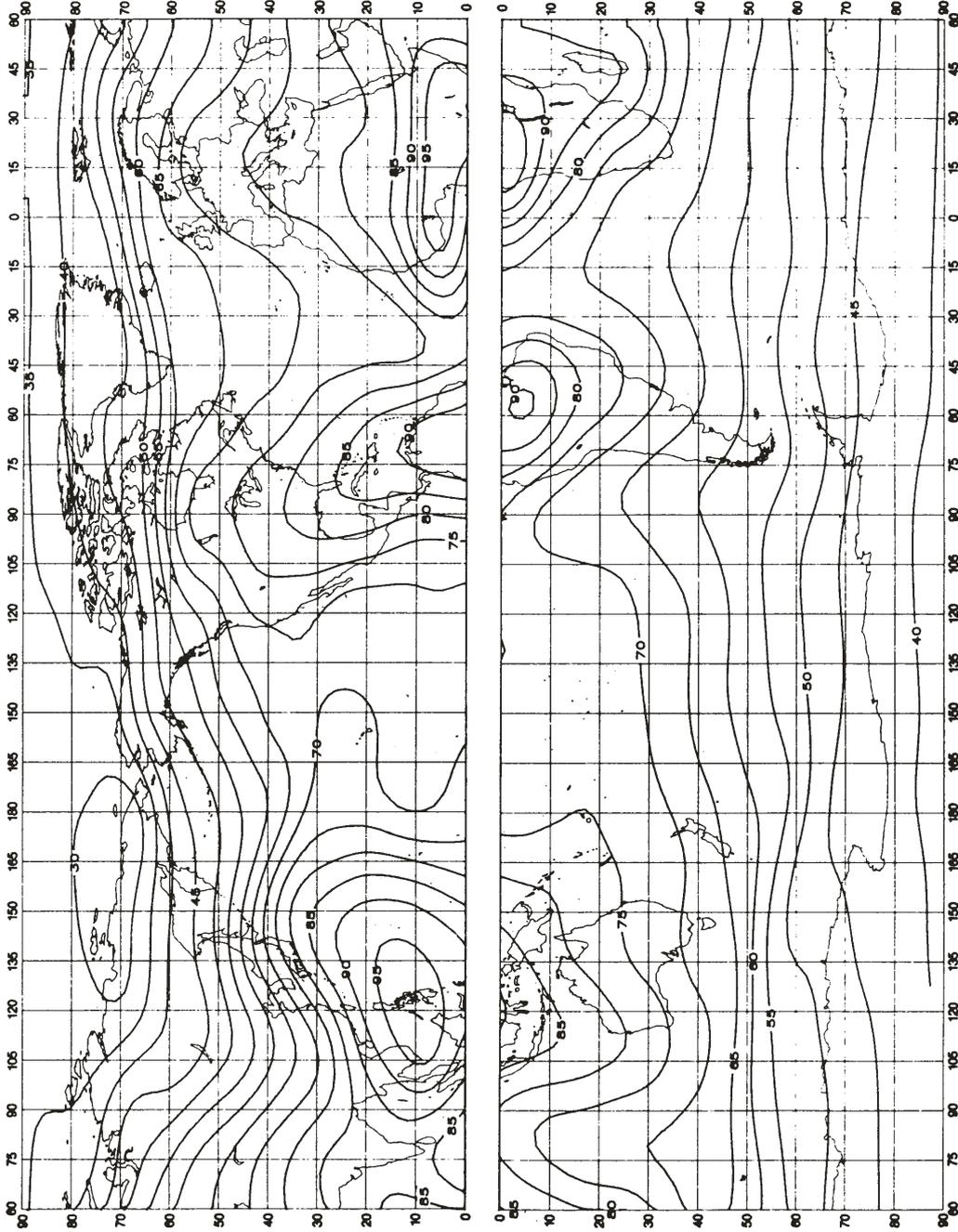
تغير الضوضاء الجوية بدلالة التردد
(الصيف: 2400-2000 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ب

(الشكل 33 أ)

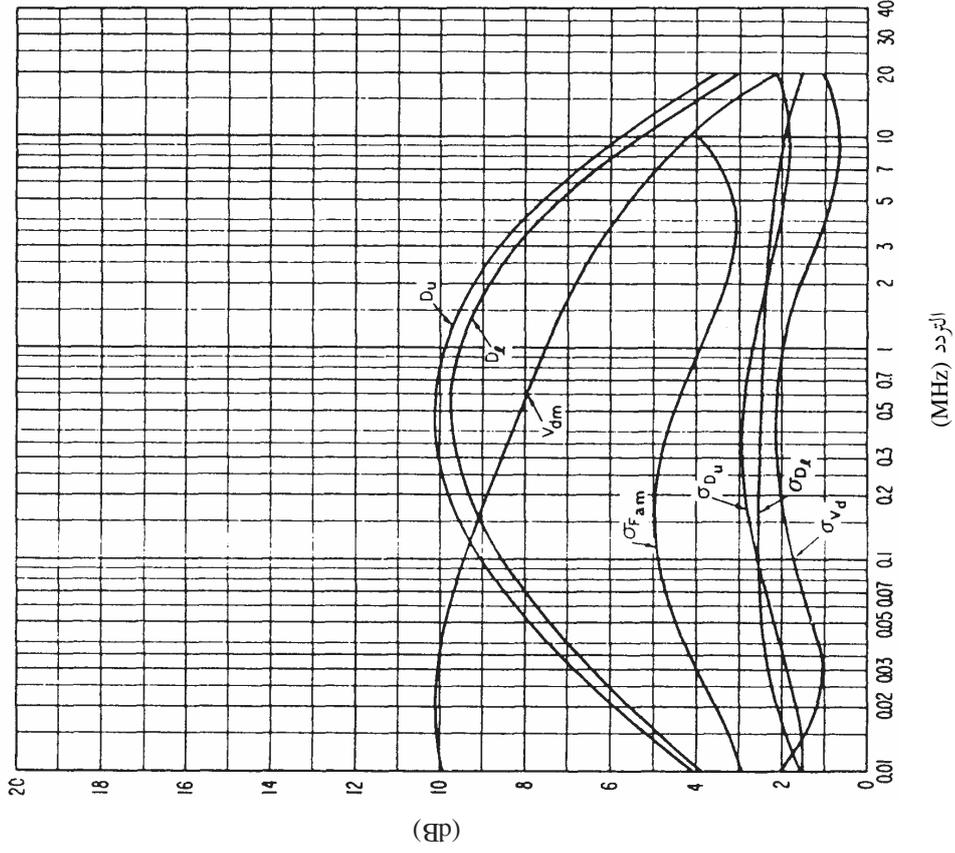
القيم المتوقعة للضوضاء الجوية الراديوية، F_{am} (بوحدة dB أعلى من kT_0b عند 1 MHz)
 (الخريف: 0400-0000 بالتوقيت المحلي)



P.0372-33a

الشكل 33 ج)

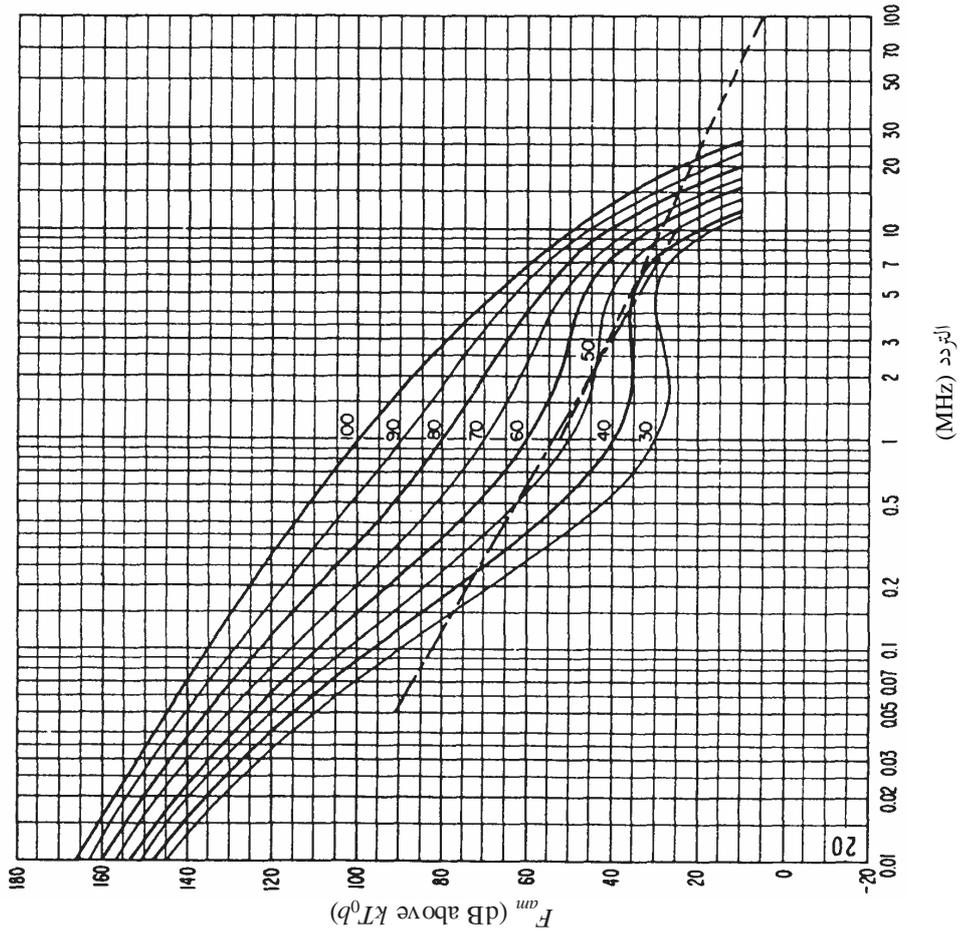
بيانات بشأن متغيرات الضوضاء وسماتها
(الخريف: 0400-0000 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ج)

الشكل 33 ب)

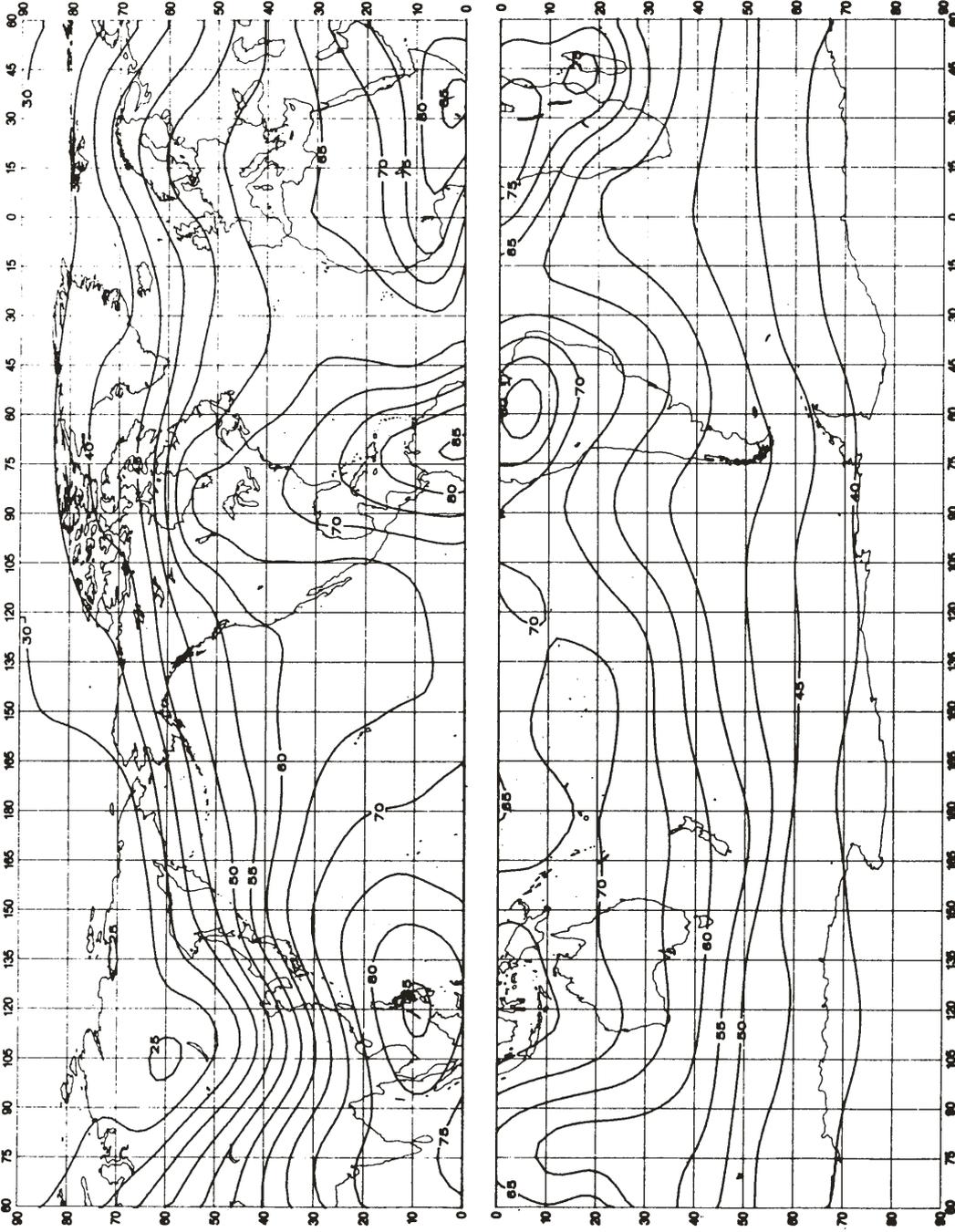
تغير الضوضاء الجوية بدلالة التردد
(الخريف: 0400-0000 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ب)

(الشكل 34 أ)

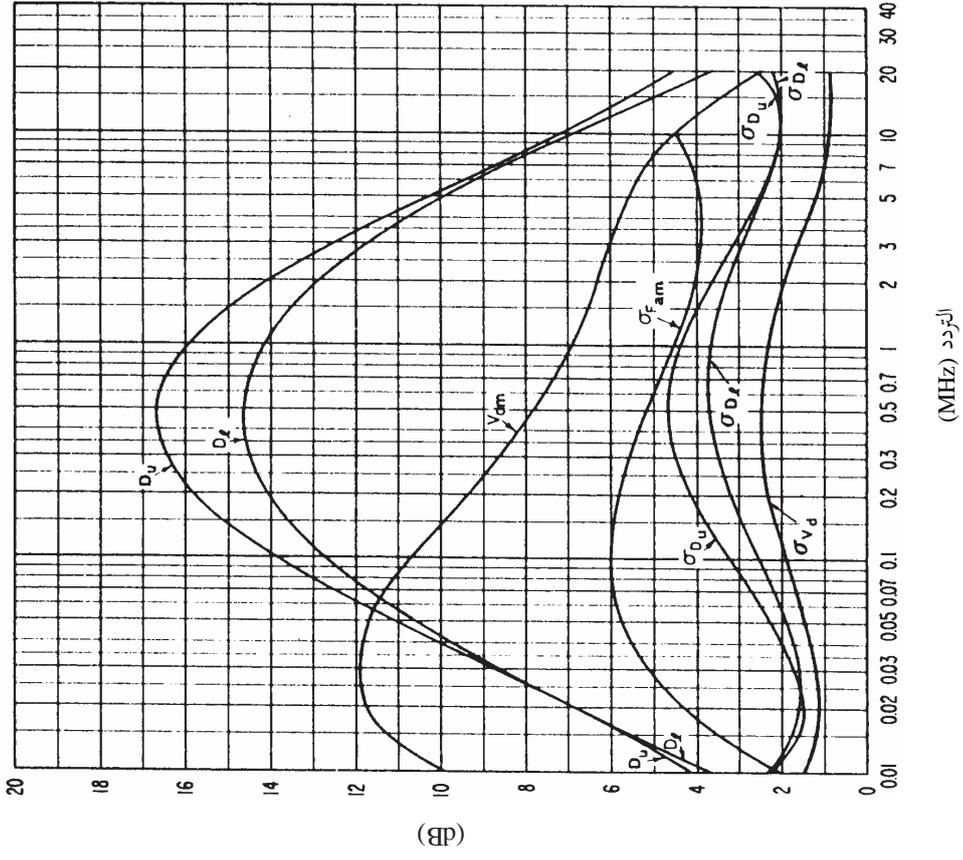
القيم المتوقعة للضوضاء الجوية الراديوية، F_{am} (بوحدة dB أعلى من kT_0b عند 1 MHz)
 (الخريف: 0800-0400 بالتوقيت المحلي)



P.0372-3.4a

الشكل 34 ج

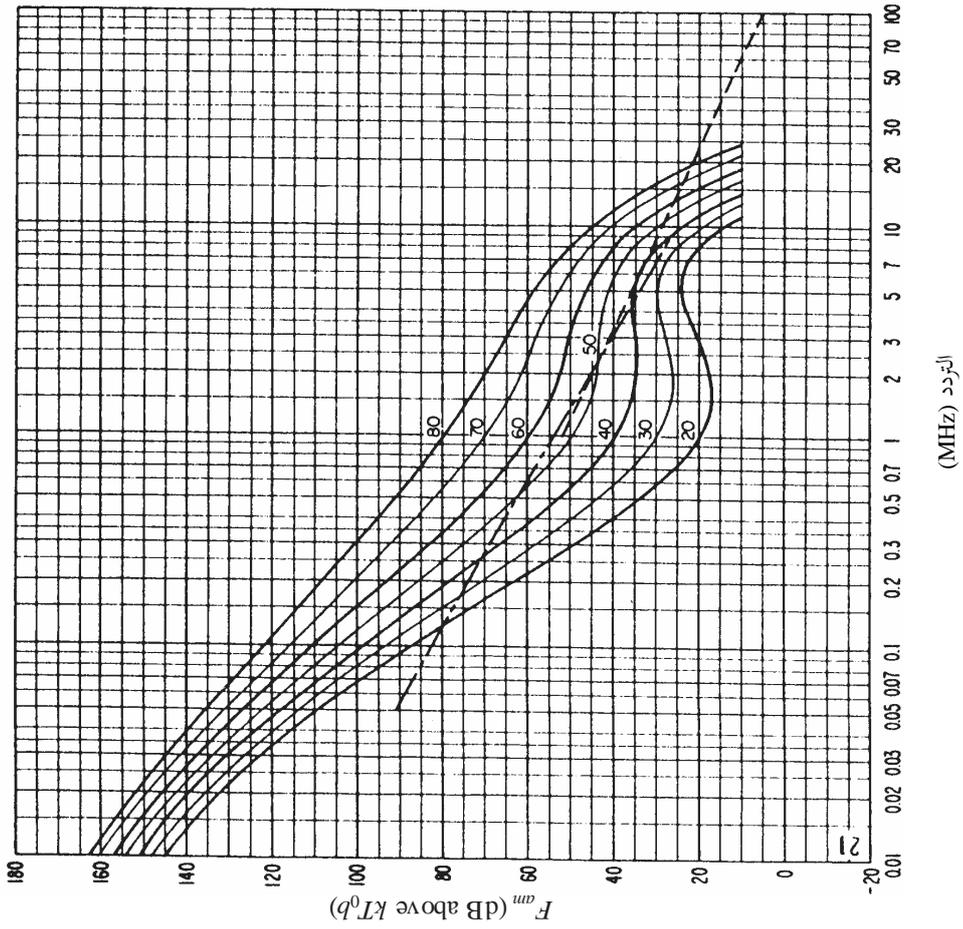
بيانات بشأن متغيرات الضوضاء وسماتها
(الخريف: 0800-0400 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ج

الشكل 34 ب

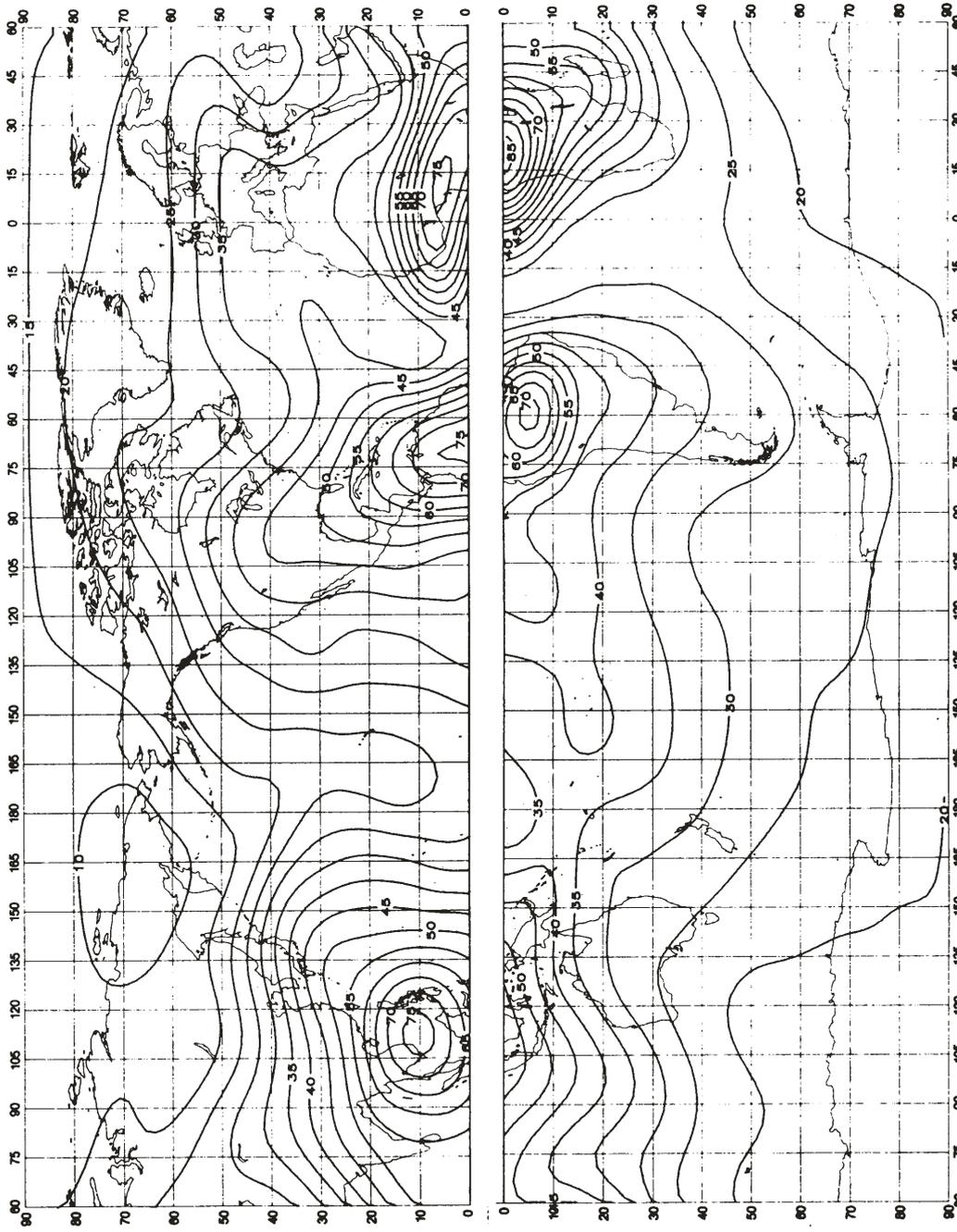
تغير الضوضاء الجوية بدلالة التردد
(الخريف: 0800-0400 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ب

الشكل 35 أ)

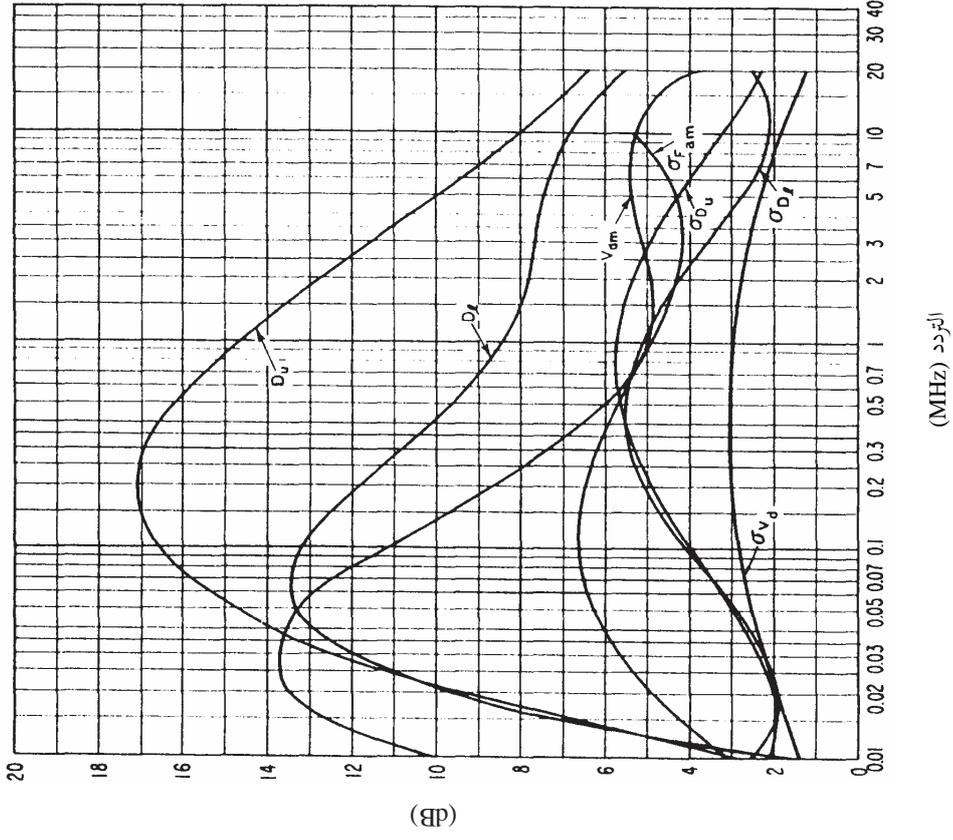
القيم المتوقعة للضوضاء الجوية الراديوية، F_{am} (بوحدة dB أعلى من kT_0b عند 1 MHz)
 (الخريف: 1200-0800 بالتوقيت المحلي)



P.0372-35a

الشكل 35 ج)

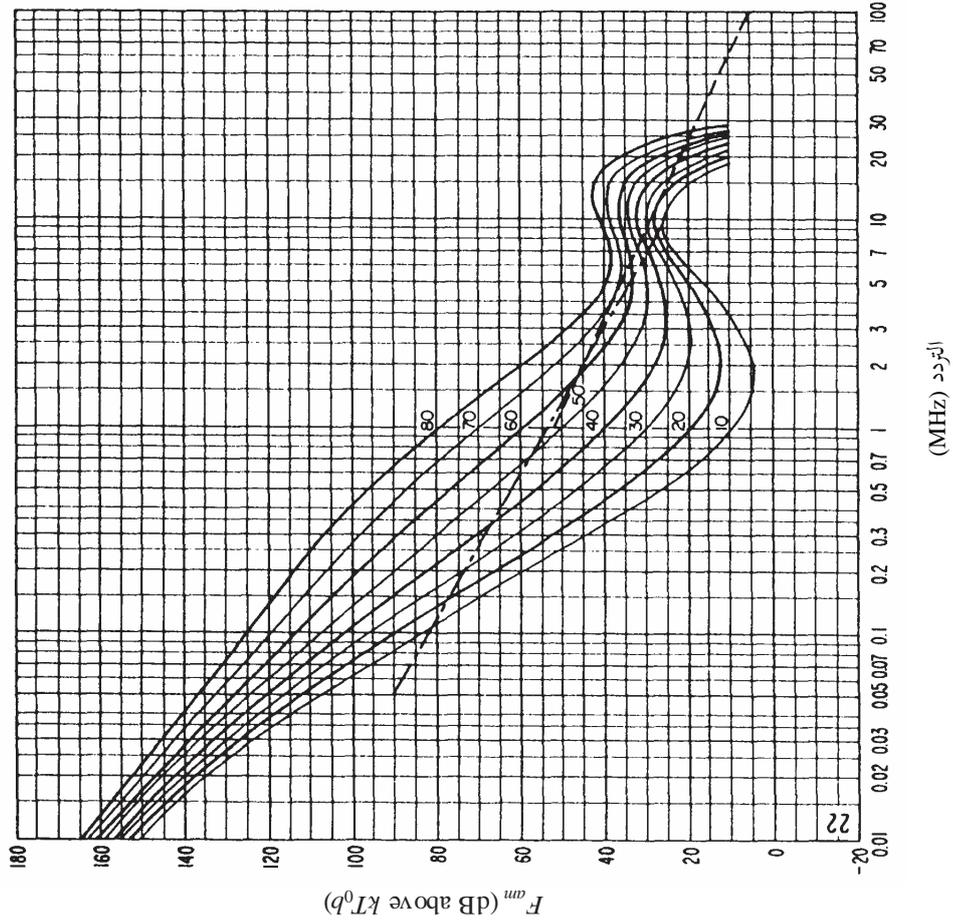
بيانات بشأن متغيرات الضوضاء وسماتها
(الخريف: 1200-0800 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ج)

الشكل 35 ب)

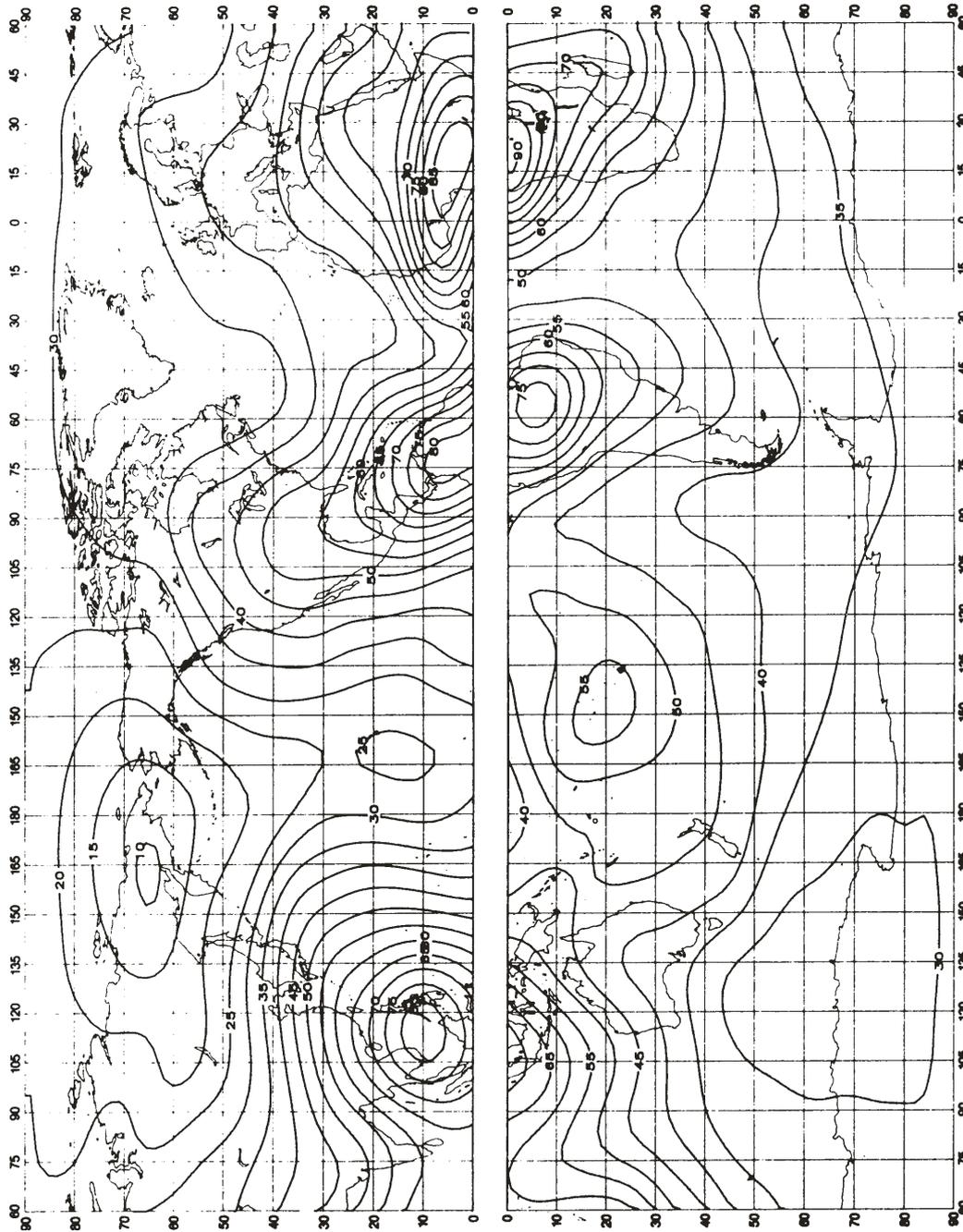
تغير الضوضاء الجوية بدلالة التردد
(الخريف: 1200-0800 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ب)

الشكل 36 أ)

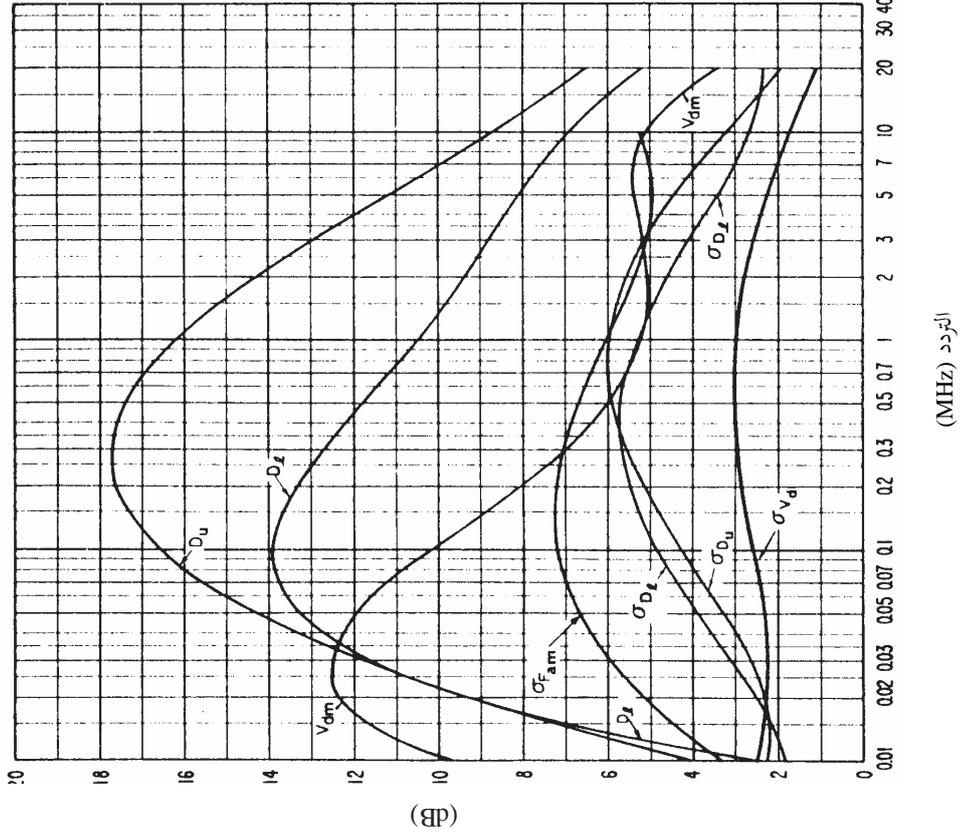
القيم المتوقعة للضوضاء الجوية الراديوية، F_{am} (بوحدة dB أعلى من kT_0b عند 1 MHz)
(الخريف: 1600-1200 بالتوقيت المحلي)



P.0372-36a

الشكل 36 ج)

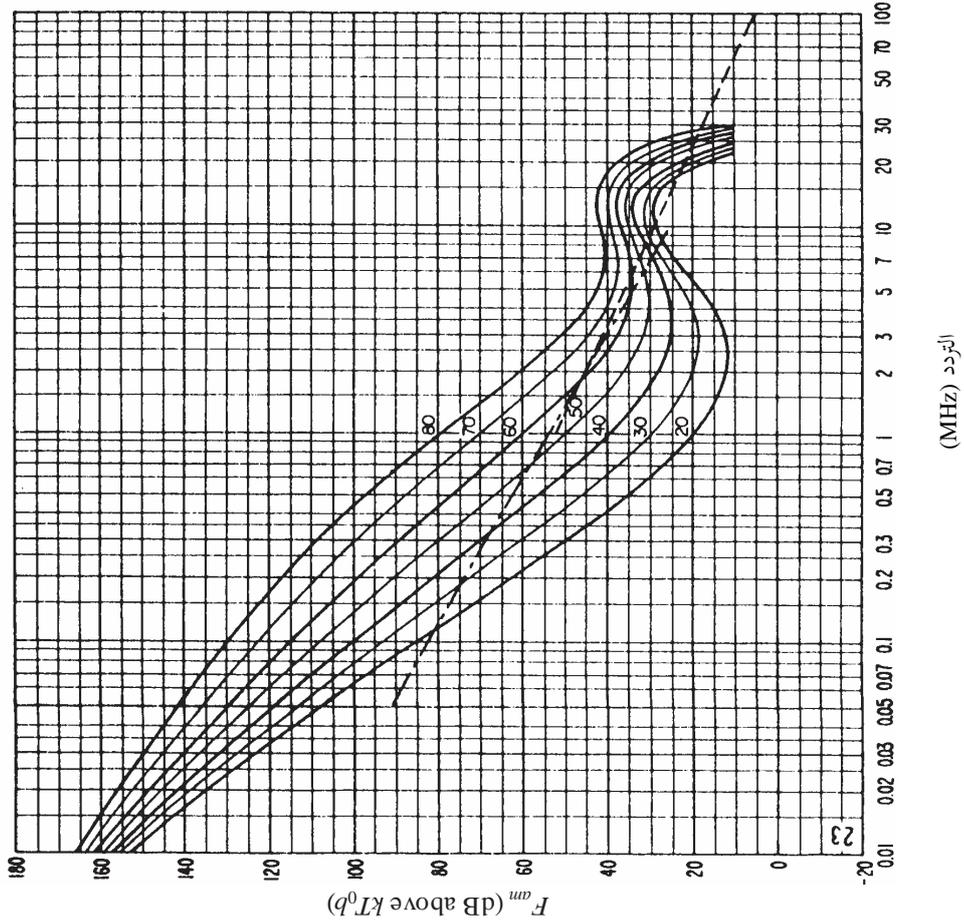
بيانات بشأن متغيرات الضوضاء وسماتها
(الخريف: 1600-1200 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ج)

الشكل 36 ب)

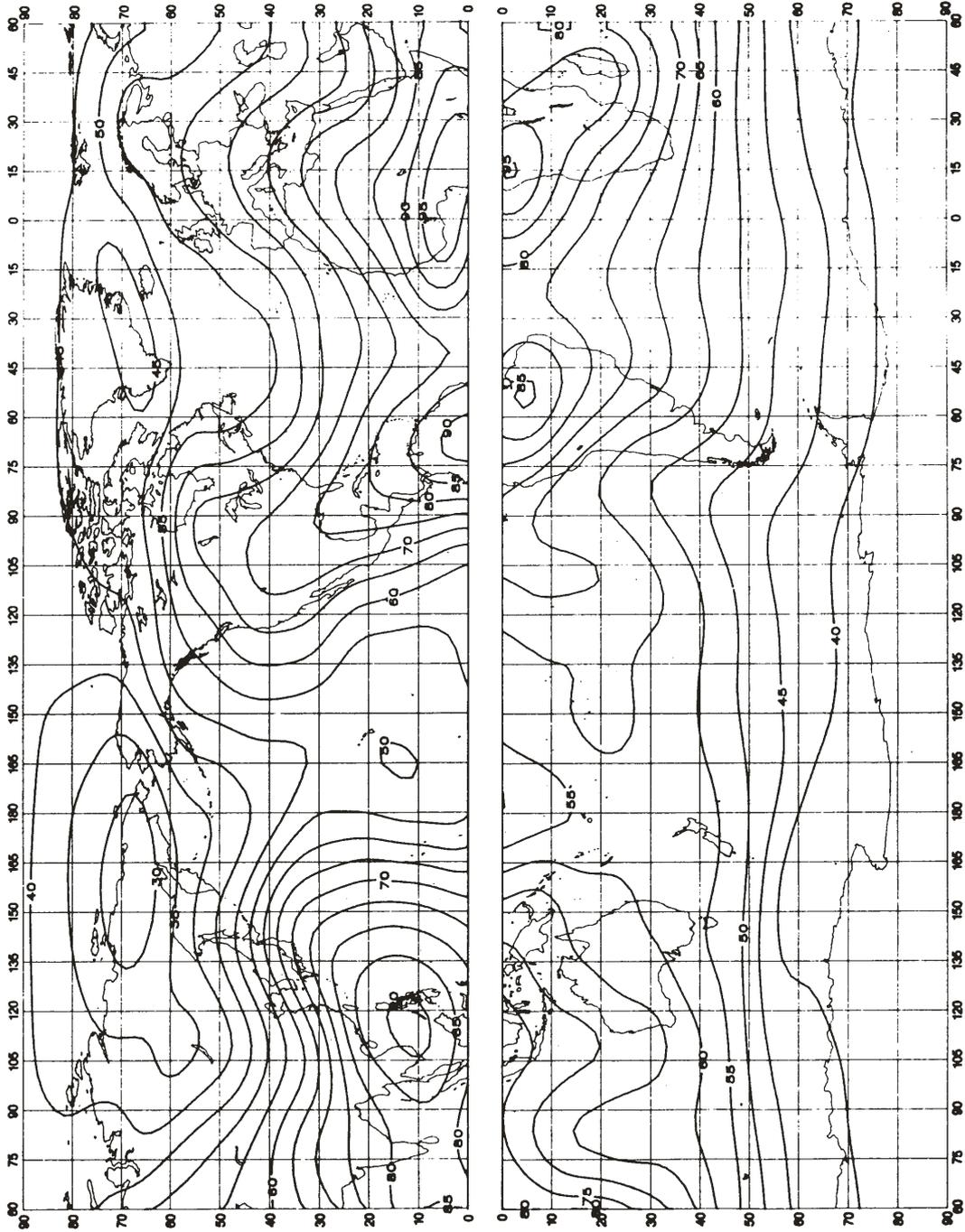
تغير الضوضاء الجوية بدلالة التردد
(الخريف: 1600-1200 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ب)

(الشكل 37 أ)

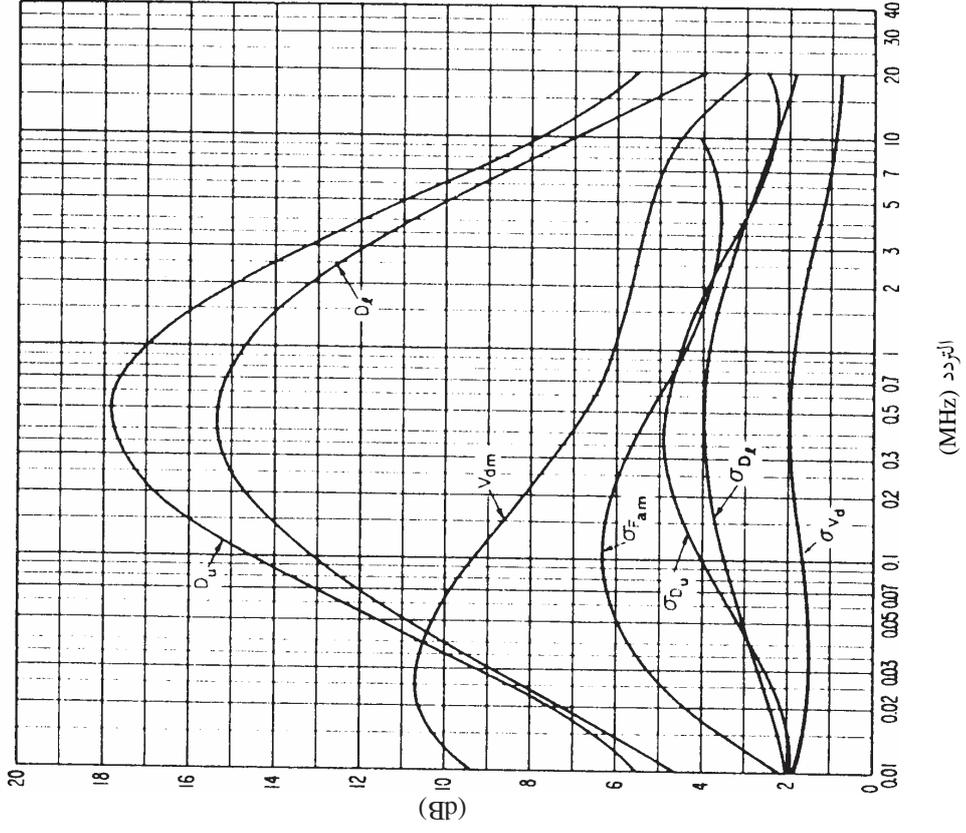
القيم المتوقعة للضوضاء الجوية الراديوية، F_{am} (بوحدة dB أعلى من kT_0b عند 1 MHz)
(الخريف: 2000-1600 بالتوقيت المحلي)



P0372-37a

الشكل 37 ج)

بيانات بشأن متغيرات الضوضاء وسماتها
(الخريف: 2000-1600 بالتوقيت المحلي)

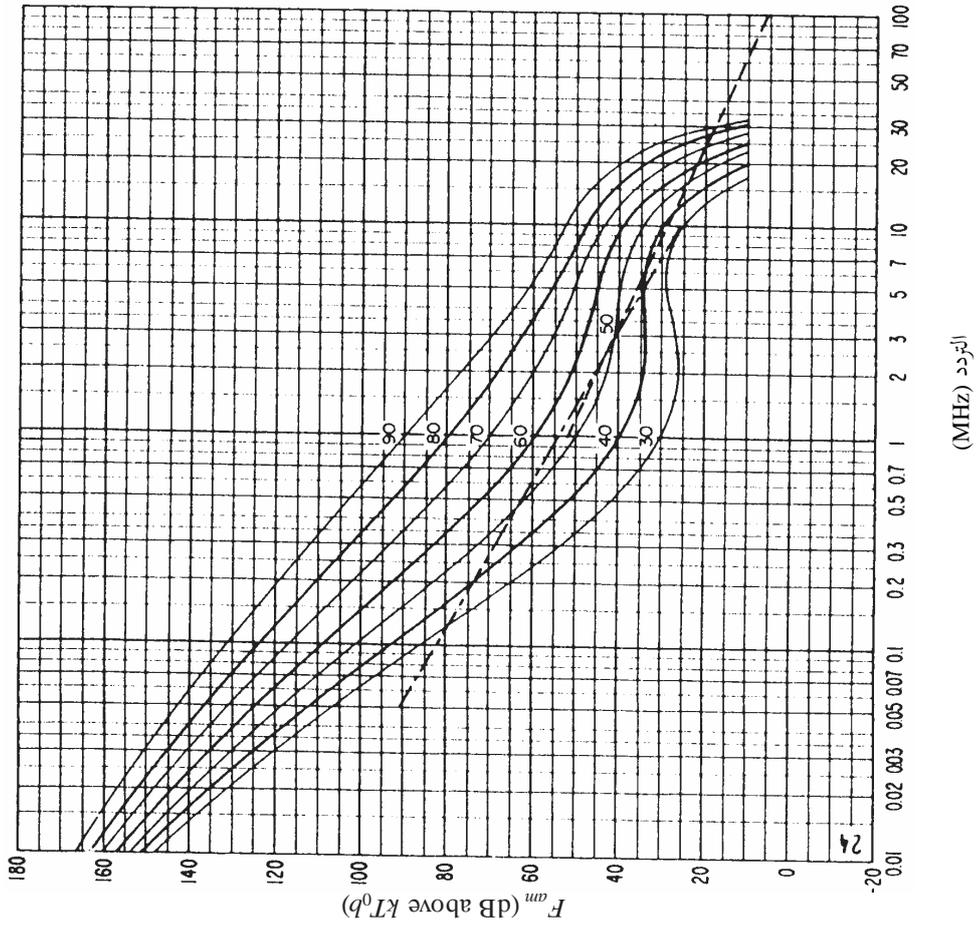


انظر شرح الشكل 15 ج)

P.0372-37b

الشكل 37 ب)

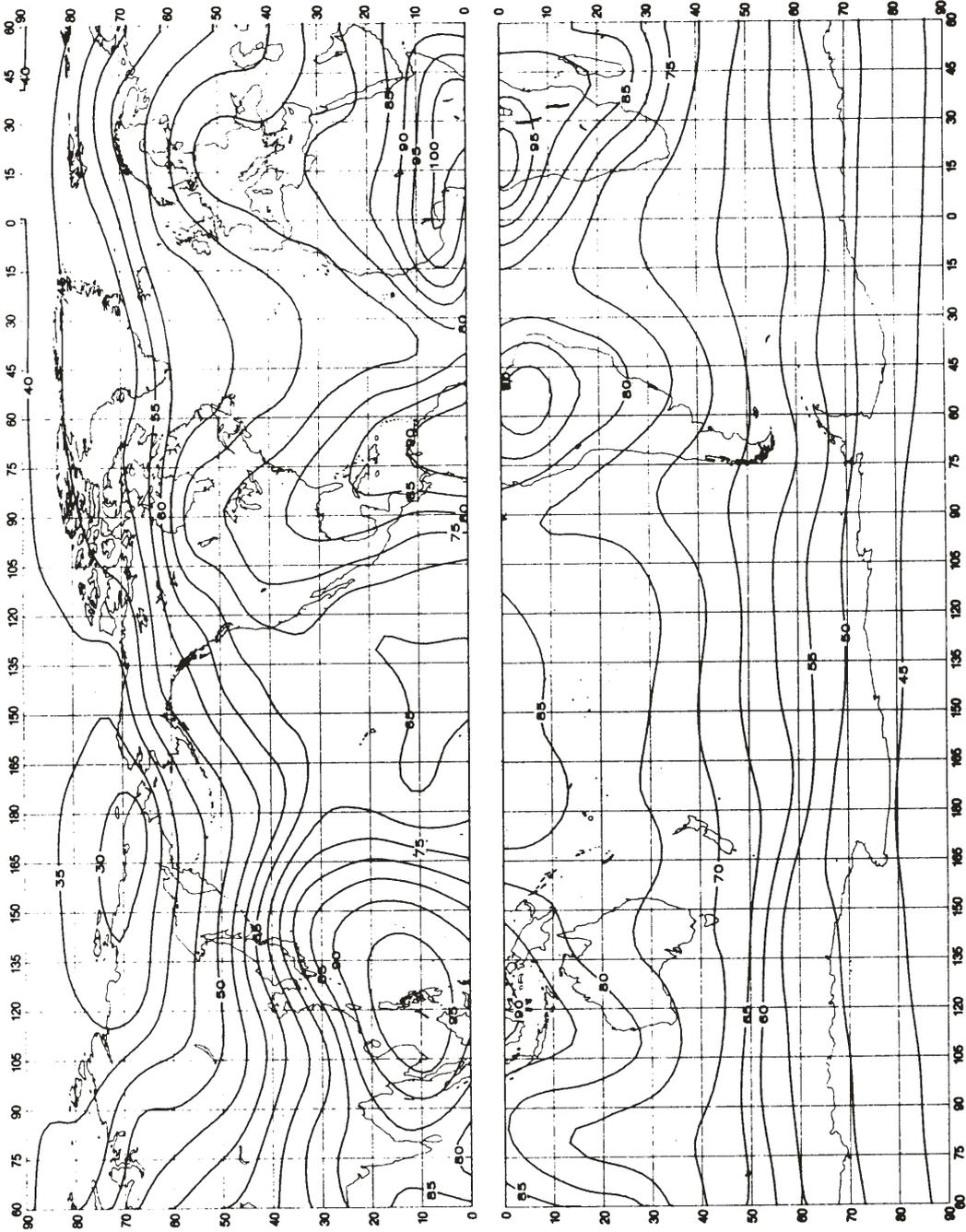
تغير الضوضاء الجوية بدلالة التردد
(الخريف: 2000-1600 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ب)

(الشكل 38 أ)

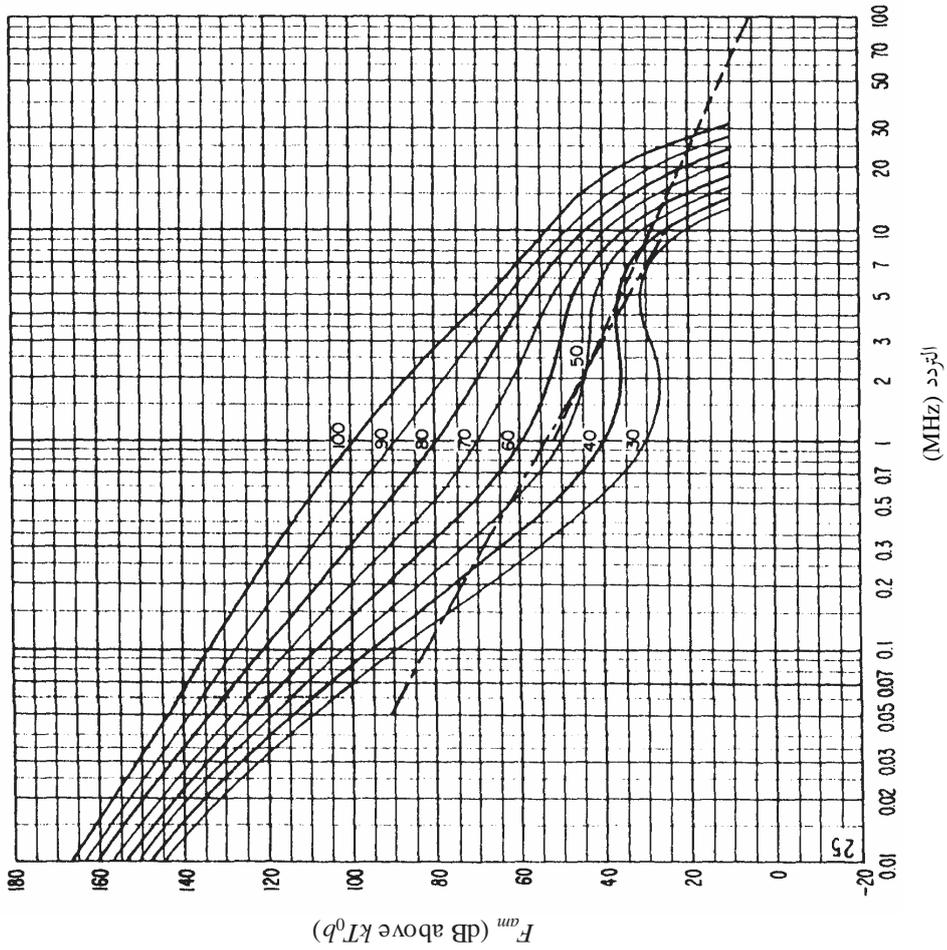
القيم المتوقعة للضوضاء الجوية الراديوية، F_{am} (بوحدة dB أعلى من kT_0b عند 1 MHz)
 (الخريف: 2000-2400 بالتوقيت المحلي)



P.0372-38a

الشكل 38 ب)

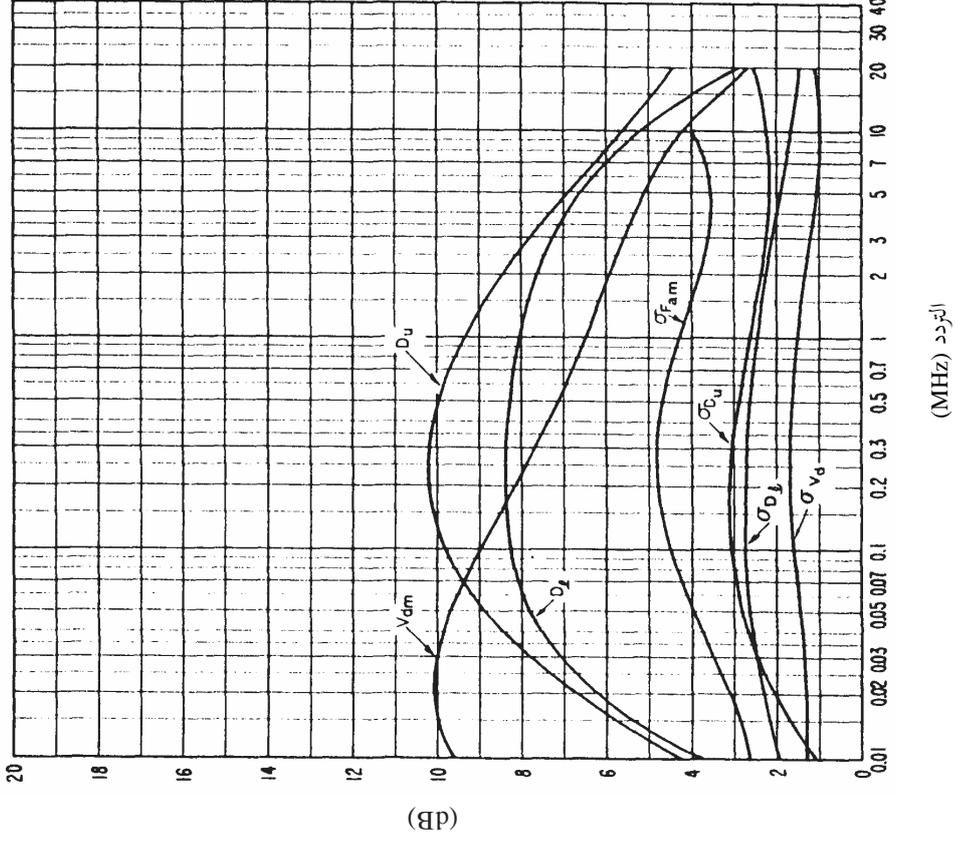
تغير الضوضاء الجوية بدلالة التردد
(الخريف: 2000-2400 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ب)

الشكل 38 ج)

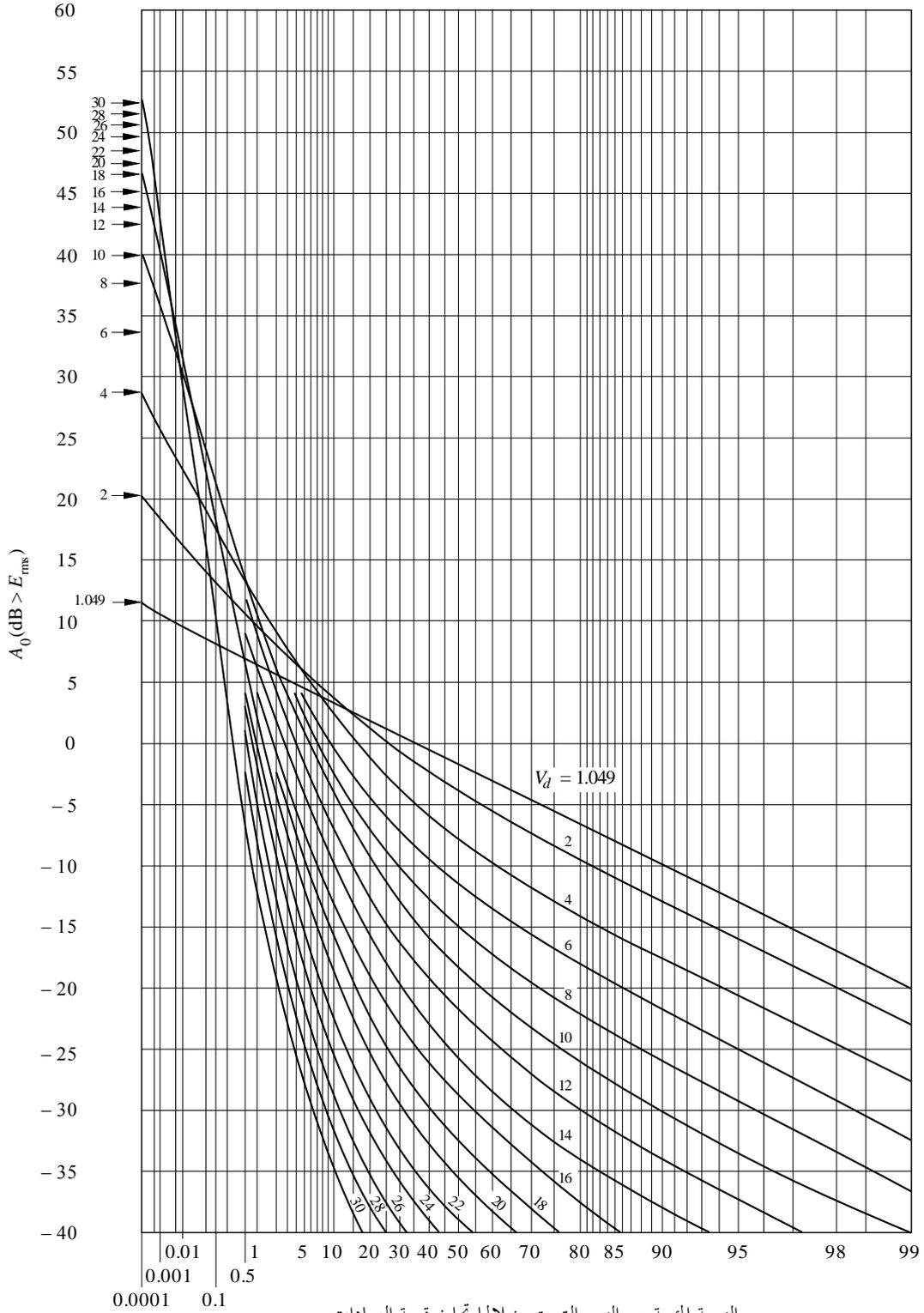
بيانات بشأن متغيرات الضوضاء وسماتها
(الخريف: 2000-2400 بالتوقيت المحلي)



انظر شرح الشكل 15 ج)

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 المنطقة على نطاق يبلغ 200 Hz إلى قيم V_{dm} وتنطبق على عروض نطاقات أخرى، b

