مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (25) العدد (13)2003
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research- Engineering Sciences Series Vol (25) No (13) 2003

دراسة التنسيق الكهرطيسي بين المحطات الميكروية والتوابع الصنعية الواقعة على المدار الثابت

الدكتور معين يونس*

الدكتورعلي أحمد *

(قبل للنشر في 2003/2/25)

□ الملخّص □

تعتبر مشكلة التنسيق الكهرطيسي من أهم المشاكل خاصة بعد زيادة العمل على مجال ترددي راديوي واحد، مما يؤدي إلى تقاطع أطياف الإشارات جزئيا" أو كليا" وهذا يسبب وجود إشارات معيقة متبادلة على مدخل أجهزة الاستقبال. لذلك وضعت اللجنة الدولية CCIR شروط العمل والتشويش المتبادل المسموح به بين هذه الأنظمة. إن ذلك يتطلب معرفة الكثافة الطيفية للإشارات المعيقة على وحدة المساحة من مرسل المحطة الميكروية، وتحديد المسافات بين هذه المحطات، هذا يقتضي معرفة استطاعة الإشارات المعيقة التي تتعلق بزوايا ميل الاتجاه الأعظمي للإشعاع عن الاتجاه إلى المحطة المعيقة المرسلة أو المستقبلة. إن معرفة هذه الزوايا تلعب دوراً هاماً في اختبار ربح الهوائي المطلوب حسب CCIR لذلك تم حساب الزاوية d بين اتجاه الإرسال الأعظمي لمحطة ميكروية والاتجاه إلى التابع الصنعي مع أخذ تأثير الانكسار عن طبقات الغلاف الجوي بالحسبان.

*مدرس في قسم الهندسة الالكترونية–كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية– جامعة تشرين – اللاذقية – سوريا.

مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (25) العدد (13)2003
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research- Engineering Sciences Series Vol (25) No (13) 2003

E M C Study of the Microwave Station and The Satellites on Geostationary Orbit

Dr. Younes Mouin *
Dr. Ahemed Ali *

(Accepted 25/2/2003)

□ ABSTRACT □

electromagnetic compatibility is one of the most important problems, especially following the increase of work on a single range of radio frequency. This leads to the intersection of signal spectra, either partially or totally. The intersection in turn causes the presence of mutual interference signals at the entrance of reception systems. Therefore, the (CCIR)(*) put the work conditions and the allowed mutual interference among systems. This requires knowledge of spectral density of the interference signals on the area unit from the transmitter of the microwave station and specifying distances among these stations. This requires knowing the power of interference signals which is related to the angles of maximum direction slanting of the ray from transmitting or receiving interference stations. Knowing these angles plays an important role in testing the required antenna gain according to CCIR. Consequently, the angle has been calculated between the maximum transmission direction of the microwave station and the direction to satellite, taking into consideration the refraction effect of the atmospheric layers.

CCIR: Consultative Committee in International Radio

***Instructor – Department of the electronic engineering- Faculty of Electrical and Mechanical Engineering -Tishreen University – Latakia- Syria.**

مقدمة:

إن مشكلة التداخل الكهرطيسي بين أنظمة الاتصال بواسطة التوابع الصنعية وأنظمة الاتصال بواسطة المحطات الميكروية العاملة ضمن مجال ترددي واحد، تعتبر من أهم المشاكل التي تواجه الاختصاصيين عند تصميم وتنفيذ المشاريع، وخاصة معرفة زوايا ميلان الاتجاه الأعظمي للإرسال والاتجاه إلى محطة مستقبلة وبالعكس، وهذه الزوايا تعتبر هامة جدا" في تحديد أهم معايير نظم الاتصال، معرفة استطاعة ضياع الإرسال حتى مدخل مستقبل الإشارة المفيدة، ونسبة استطاعة الإشارة المعيقة إلى المفيدة وتحديد مدى التنسيق الكهرطيسي الذي يحدد لكل سمت من أجل تحديد المنطقة المتوافقة، وهكذا فإن معرفة هذه الزوايا بشكل دقيق يعطي نتائج مرضية عند تصميم مثل هذه المشاريع[1,3].

هدف البحث:

تنحصر الغاية الأساسية من البحث في إيجاد قيمة الزاوية d المحصورة بين الاتجاه الأعظمي لإشعاع محطة ميكروية والاتجاه إلى التابع الصنعي على المدار الثابت والمثلى لتحقيق التوافق الكهرطيسي والذي يحقق معايير CCIR ، هذه الزاوية هي العامل الأهم في حساب التنسيق الكهرطيسي ومعايير جودة هذه الأنظمة والتي تحدد مواقع هذه الأنظمة على الأرض وفي الفضاء، مع أخذ تأثير الانكسار في الغلاف الجوي بالحسبان.

عرض البحث:

لأجل تحقيق الهدف من البحث المذكور تم تحديد نقاط البحث التالية بغية معالجة المشاكل الناتجة عن عدم المعرفة الدقيقة للزاوية d على تصميم نظم الاتصال وعند تأثير الانكسار في الغلاف الجوي:

1. **<u>مشكلة التداخل والتنسيق:</u>**

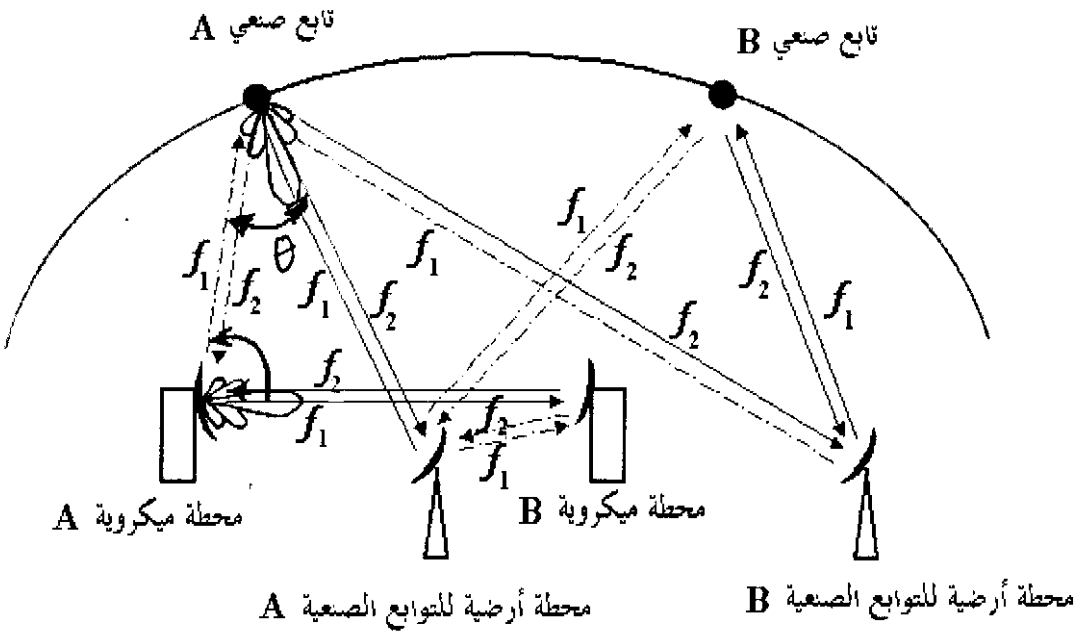
إن مستوى الإشارة المستقبلة من قبل هوائي التابع الصنعي منخفضة للغاية، وبالضرورة فإن أجهزة استقبال التابع الصنعي يجب أن تكون ذات حساسية عالية جدا" ولذلك فهي عرضة للتداخل.

إن العوامل الرئيسية في التداخل على مدخل مستقبل التابع الصنعي **[2]** هي:

- التداخل من المحطات الميكروية الأرضية العاملة على نفس التردد.
- التداخل من الترددات العشوائية لأجهزة الرادار الثابتة والمتحركة.
- التداخل من ترددات المحطات الأرضية للتوابع الصنعية ومن التوابع الصنعية الأخرى بالإضافة إلى التداخل من الضجيج الكوني.

إن انتشار الإشارة المسببة للتداخل من منبعها حتى هوائي استقبال التابع الصنعي يمكن أن يتم بعدة طرق منها المباشر ومنها غير المباشر مثل الانحراف والانكسار والانتشار من الغيوم والطائرات [5, 4] ، لذلك فإن مواقع هذه المحطات الأرضية أو الفضائية يجب أن يختار بعيدا" قدر الإمكان عن مصادر التداخل. ولأن مشكلة التداخل من أهم المشاكل الأساسية يجب قياس شدة الاستطاعة الفعالة على مدخل المستقبل، ومن المستحسن اختيار مواقع هذه الأنظمة لكي تكون استطاعة الإشارة المعيقة أقل من الحد الأدنى لحساسية أجهزة الاستقبال.

ويمثل الشكل (1) أهمية التداخل بين الأنظمة الميكروية الأرضية وأنظمة الاتصال بواسطة التوابع الصنعية.



الشكل (1) يمثل التداخل المتبادل بين الأنظمة المختلفة

2. <u>تحديد استطاعة الإشعاع الفعال:</u>

إن مستوى الاستطاعة على مدخل هوائي إرسال محطة ميكروية يجب أن لا يتجاوز 13dBW [1] ، أما قيمة استطاعة الإشعاع الفعال على سطح الأرض بالنسبة لمشع أيزوتروبي تعطى بالعلاقة[3]:

$$W_a = 10 \times \lg P_T \times G_T \times \eta_T \qquad (1)$$

وقيمة هذه الاستطاعة يجب أن لا تتجاوز 55 dBW حيث أن:

P_T استطاعة مرسل المحطة الميكروية وتقاس بالواط.

G_T ربح هوائي المحطة الميكروية منسوب لمنبع أيزوتروبي.

η_T الضياع في خطوط نقل الإشارة من المرسل إلى الهوائي.

إن قيمة استطاعة الإشعاع الفعال لا تتجاوز 35 dBW عندما تكون الزاوية $\delta = 2^o$. واستطاعة الإشعاع الفعال لأي مرسل يجب أن لا تتجاوز 47 dBW من أجل أي هوائي عندما تكون الزاوية في حدود 0.5° ومن dBW ((55~47عندما تكون الزاوية0.5°) (1.5° ~ وهذا ممثل بالعلاقة [1].

$$\begin{aligned} W_a &= 10 \times \lg P_T \times G_T \times \eta_T \le 47 + 8 \times [|\delta| - 0.5^o] \qquad 0.5^o < \delta < 1.5^o \\ W_a &= 10 \times \lg P_T \times G_T \times \eta_T \le 47 \qquad\qquad\qquad\qquad \delta < 0.5^o \end{aligned} \qquad (2)$$

أما إذا لم تتحقق هذه الشروط فإنه من الضروري تغيير موضع هوائيات الإرسال والاستقبال حتى تتحقق الشروط السابقة. وبهذه المناسبة تظهر ضرورة تحديد الزاوية δ بين اتجاه الإشعاع الأعظمي لهوائي المحطة الميكروية والاتجاه إلى التابع الصنعي، والزاوية θ وهي الزاوية بين اتجاه الاستقبال الأعظمي لهوائي التابع الصنعي والاتجاه إلى هوائي المحطة الميكروية. والتي تلعب دورا" هاما" في تحديد استطاعة الإشارة المعيقة P_M وكثافة تدفق هذه الاستطاعة f اللتان تعطيان بالعلاقتين [3] :

$$P_M = \frac{f \times G(q) \times \lambda^2}{4\pi} \qquad (3)$$

$$f = \frac{P_T \times G(d)}{4\pi \times r^2} \qquad (4)$$

$G(q)$ ربح هوائي التابع الصنعي المستقبل للإشارات المعيقة.

$G(d)$ ربح هوائي المحطة الميكروية المسببة للإشارات المعيقة.

λ هي طول الموجة المستخدمة ؛ r هي المسافة من المحطة الميكروية إلى التابع الصنعي.

إن التداخل بين الأنظمة والزوايا ممثلة على الشكل (1) حيث الخطوط المستمرة تمثل القيم المفيدة والمنقطة الإشارات المعيقة.

3. تحديد الزاوية d عند تأثير الانكسار عن طبقات الغلاف الجوي:

ومن أجل تحقيق التوافق الكهرطيسي فلا بد من تحديد الزاوية d بين اتجاه الإشعاع الأعظمي لهوائي محطة ميكروية تقع على الأرض والاتجاه إلى المدار الثابت للتوابع الصنعية.

إن الشكل (2) يمثل سطح الأرض والقوس MK هو جزء من المدار الثابت للتوابع الصنعية الذي ارتفاعه 36000 Km وأي تابع صنعي يقع عليه يسير بسرعة مساوية لسرعة دوران الأرض حول نفسها.

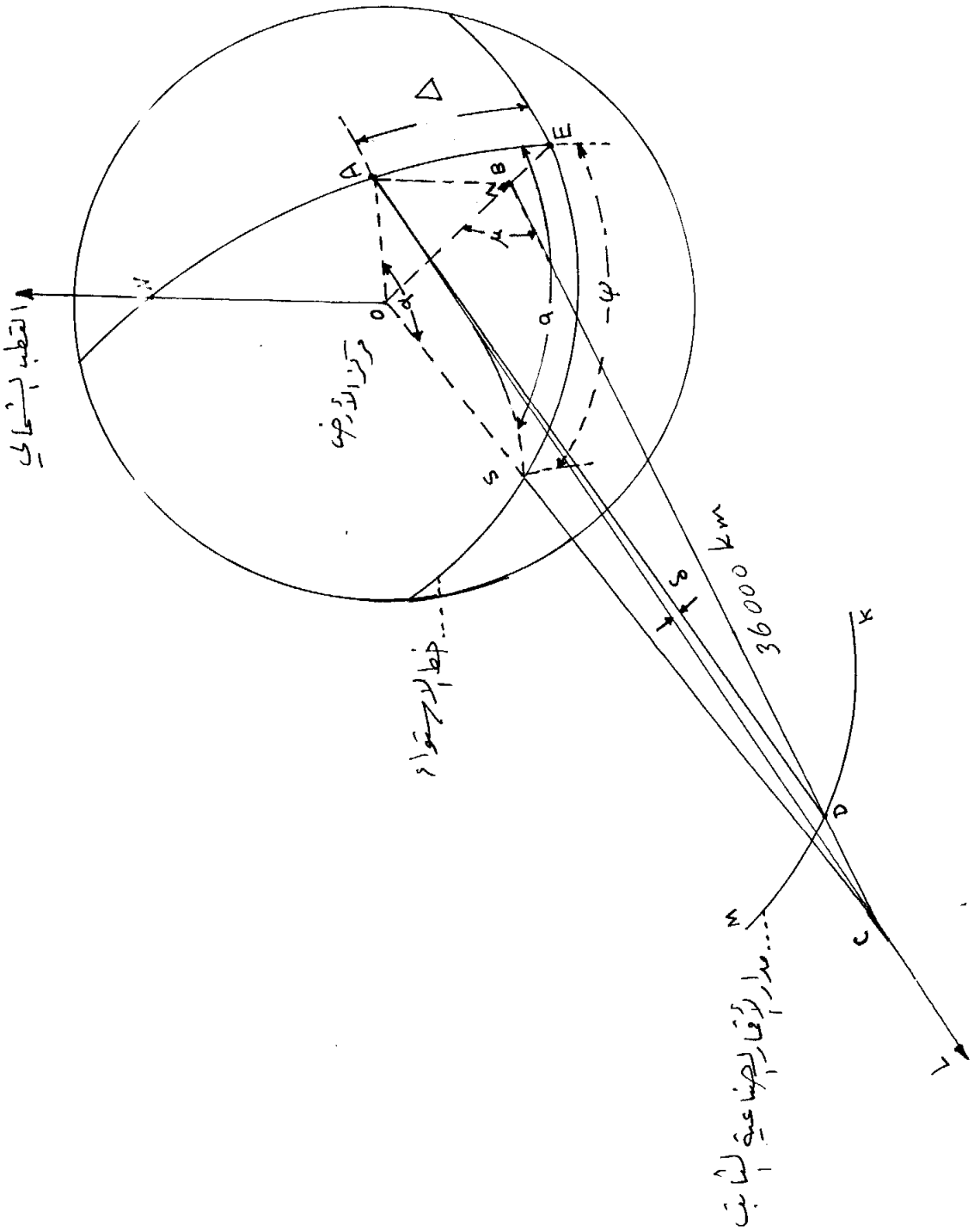
المحطة الميكروية تقع في النقطة A على الخط NE وذات خط العرض D. القطب الشمالي للأرض محدد بالنقطة N_1 ، خط الاستواء الذي يمر بالنقاط S, E ، مركز الكرة الأرضية هو النقطة O ، وتحت هذه الشروط نجد:

$$\overline{OA} = \overline{OE} = R \qquad (5)$$

حيث R: نصف قطر الكرة الأرضية.

مع أخذ الانكسار في الغلاف الجوي بالحسبان فإن AL يحدد الاتجاه الأعظمي لإشعاع هوائي المحطة الميكروية مع السمت A، ويتقاطع هذا الاتجاه مع المستوى الاستوائي الذي يمر عبر خط الاستواء للأرض والذي تقع عليه النقطتين S,E في النقطة C وكذلك المدار الثابت للتوابع الصنعية والذي قسم منه نرمز له MK.

نسقط النقطة A على نصف القطر $\overline{OE}$ والتي تقع في المستوي الاستوائي وهذا المسقط يحدد بالنقطة B على $\overline{OE}$ ، نصل النقطتين O و C ، ونرمز لنقطة تقاطع الخط المباشر $\overline{OC}$ مع خط الاستواء بالنقطة S ،نصل النقطتين B, C بالخط $\overline{BC}$.



الشكل (2) تكبير المحطة الميكروية باتجاه المدار الثابت

من البديهي أن المستوى OEC يقع في المستوي الاستوائي، يتقاطع الخط المباشر $\overline{BC}$ مع المدار الثابت MK في النقطة D ونصل هذه النقطة مع النقطة A بخط مباشر $\overline{AD}$.

ونشير إلى أن المستويين AOC ، ABC متعامدين حيث OBA قائمة.

نرمز على الشكل (2) للزاوية d بين الاتجاه الأعظمي لإشعاع هوائي المحطة الأرضية (الخط $\overline{AL}$) والاتجاه من هوائي هذه المحطة باتجاه المدار الثابت للتوابع الصنعية (الخط AD).

على أساس العلاقة (2) وعلى أساس الزاوية d تتوقف القيمة المسموحة لاستطاعة الإشارة المعيقة على مدخل مستقبل المحطة الميكروية، التي تبث باتجاه المدار الثابت. وعلى هذا الأساس يتم إيجاد قيمة الزاوية d حسب خط عرض المحطة الميكروية وتوجيه هوائي هذه المحطة.

من الشكل (2) نجد أن d تحدد بالفرق بين الزاويتين:

$$d = \hat{BAC} - \hat{BAD} \qquad (6)$$

الزوايا الموجودة في العلاقة (6) تحدد كمايلي:

$$\hat{BAC} = \text{arctg}\left(\overline{BC}/\overline{AB}\right) \qquad (7)$$

$$\hat{BAD} = \text{arctg}\left(\overline{BD}/\overline{AB}\right) \qquad (8)$$

نبدل العلاقتين (7) و(8) في العلاقة (6) فنحصل على:

$$d = \text{arctg}\left(\overline{BC}/\overline{AB}\right) - \text{arctg}\left(\overline{BD}/\overline{AB}\right) \qquad (9)$$

$$\overline{AB} = R \times \text{Sin}D \qquad (10)$$

$$\overline{BC} = \sqrt{(\overline{OB})^2 + (\overline{OC})^2 - 2 \times (\overline{OB}) \times (\overline{OC}) \times \text{Cos}y} \qquad (11)$$

$$\overline{OB} = R \times \text{Cos}D \qquad (12)$$

من أجل تحديد القطعة $\overline{OC}$ نمثل الشكل (2) بالشكل (3). ونرمز لـ e لزاوية المكان بالنسبة إلى المستوي الأفقي مع دراسة الانكسار في التروبوسفير الذي يتم إشعاع المحطة الميكروية خلالها من التابع الصنعي، نرمز للزاوية $\hat{AOC}$ بالرمز a وعلى هذا الأساس من الشكل (3) نجد:

$$\overline{OC} = R \times \frac{\text{Sin}(90 + e)}{\text{Sin}(90 - e - a)} = R \times \frac{\text{Cos}\, e}{\text{Cos}(e + a)} \qquad (13)$$

من المثلث الكروي القائم (انظر الشكل 2) نحصل على:

$$y = \text{arctg}[\text{tg}a \times \text{Sin}D] \qquad (14)$$

$$a = \text{arcCos}[\text{Cos}y \times \text{Cos}D] \qquad (15)$$

الزاوية $\hat{a}$ تحدد بالفرق بين السمت A محور الاتجاه الأعظمي لإشعاع هوائي المحطة الميكروية وخط الزوال NE الذي يمر عبر النقطة A التي يتوضع فيها هوائي المحطة الميكروية، ونشير كذلك إلى أن القوس AS الخط المنقط يعتبر مسقط الخط المباشر AC على سطح الأرض.

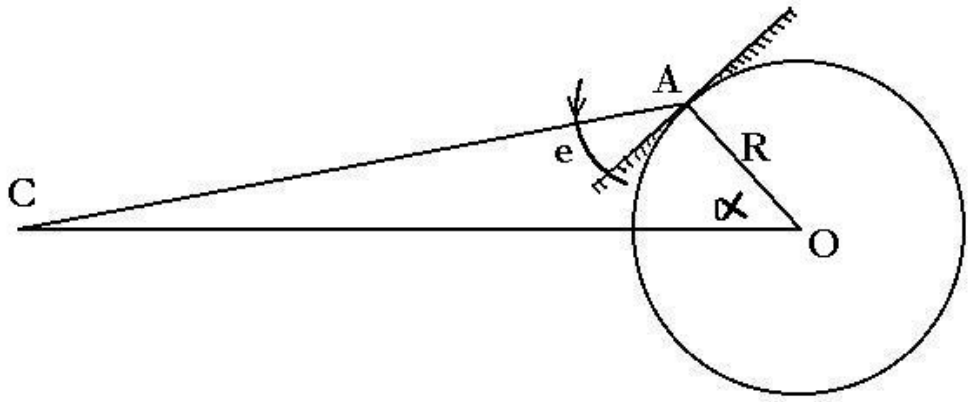
من أجل تحديد القطعة $\overline{BD}$ التي تدخل في العلاقة (8)، نمثل الشكل (2) بالشكل (4) والذي منه q تكتب على الشكل التالي:

$$q = 180 - (m + j) \qquad (16)$$

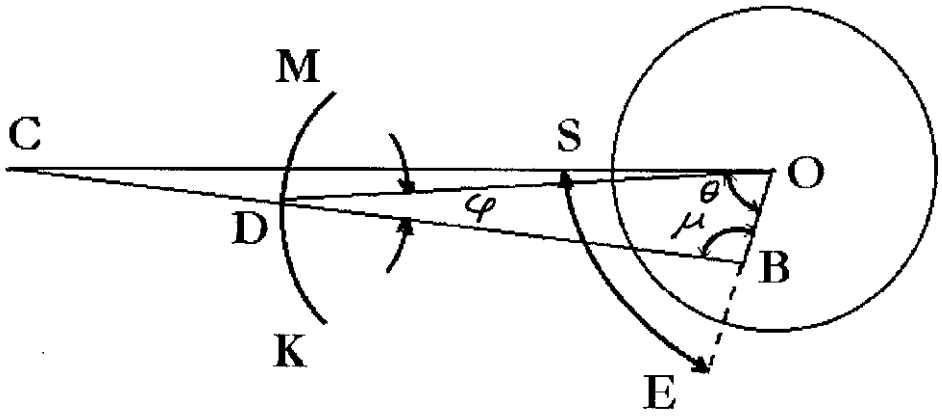
$$\overline{BD} = \overline{OB} \times \frac{\text{Sin}\, q}{\text{Sin}\, j} = \overline{OB} \times \frac{\text{Sin}(m + j)}{\text{Sin}\, j} \qquad (17)$$

$$m = \arcsin\left(\frac{\overline{OC}}{\overline{BC}} \times \sin y\right) \qquad (18)$$

حيث: m – هي الزاوية بين الخط الواصل من مركز الأرض إلى النقطة E على خط الاستواء (والتي تقع عليها النقطة B مسقط المحطة الميكروية A) وبين الخط الواصل من النقطة B إلى التابع الصنعي.



الشكل (3) شكل مساعد من أجل إيجاد $\overline{OC}$



الشكل (4) شكل مساعد من أجل إيجاد $\overline{BD}$

نشير إلى أن قيمة OD تعتبر نصف قطر المدار الثابت للتوابع الصنعية

$$\overline{OD} = 6.62R \qquad (19)$$

عندئذ بأخذ العلاقة (12) بالحسبان نجد:

$$j = \arcsin\left(\frac{\overline{OB}}{\overline{OD}} \times \sin m\right) = \arcsin\left(\frac{\cos D}{6.62} \times \sin m\right) \qquad (20)$$

إذا بدلنا القيم السابقة في العلاقة (9) يمكن إيجاد قيمة الزاوية d مع دراسة الانكسار التروبوسفيري. وأحيانا" من جراء عدم ثبات بارامترات الغلاف الجوي فإنه تتغير شروط الانكسار وهذا يسبب تغير زاوية المكان e الداخلة في المعادلة (13) وكذلك الزاوية d.

إن تغير شروط الانكسار يسبب تغير زاوية الانكسار من t_{min} حتى t_{max}.

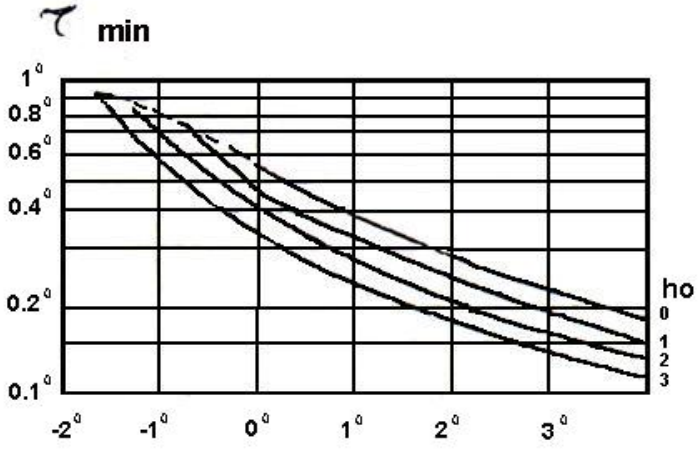
قيم هذه الزوايا محددة على الشكلين (5) و(6) وعلاقتها مع ارتفاع الهوائي فوق مستوي سطح البحر h_0(Km) وزاوية مكان الهوائي J (degree). والتي تحدد بين المستوى الأفقي المقام في مكان توضع المحطة الميكروية، التي ينصب فيها الهوائي، وبين الاتجاه الأعظمي لحزمة إشعاع المخطط التوجيهي لهذا الهوائي إلى هوائي المحطة الميكروية المجاورة وبأخذ تضاريس الأرض بالحسبان. وبعد معرفة قيم زوايا الانكسار الداخلة في العلاقة (13) نكتب:

$$e_1 = J - t_{min} \qquad (21)$$

$$e_2 = J - t_{max} \qquad (22)$$

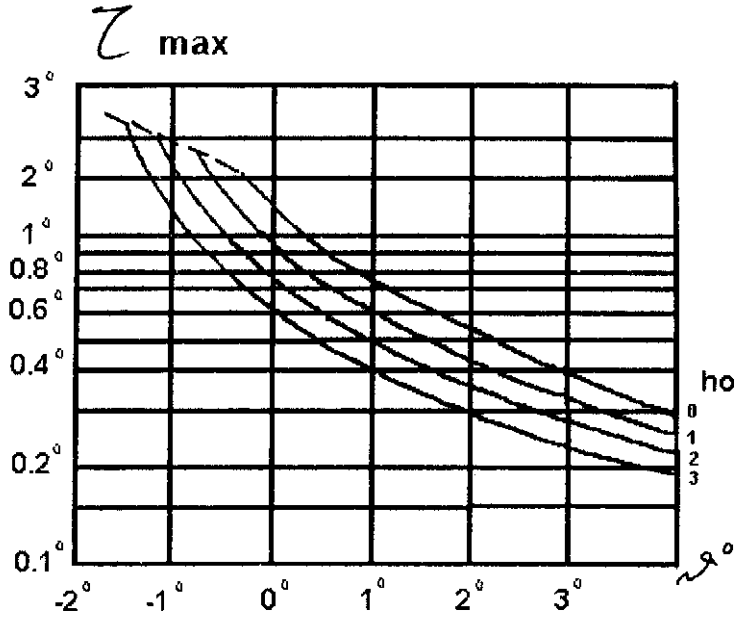
حيث e و J قيم جبرية.

بعد تبديل (21) و(22) وبموافقة العلاقتين (13) و(18) فإننا نحصل على قيمتين للقطعة $\overline{OC}$ والزاوية m وبعد التبديل في العلاقة (9) فإننا نحصل على قيمتين للزاوية d توافق زوايا الانكسار t_{min} و t_{max}. نشير إلى أن الشروط المذكورة في المعادلة (2) يمكن أن تتحقق من أجل كلتا الزاويتين d_1 و d_2. وإذا تبين أن هذه الشروط غير محققة على الأقل من أجل إحداهما (d_1 أو d_2) فإنه من الضروري تغيير زاوية المكان وإعادة الحساب من جديد.



الشكل (5) علاقة زاوية الانكسار t min مع زاوية المكان للهوائي J °

وذلك من أجل قيم مختلفة لارتفاع الهوائي h_0



الشكل (6) علاقة زاوية الانكسار t_{max} مع زاوية المكان للهوائي J^{o}

وذلك من أجل قيم مختلفة لارتفاع الهوائي h_0

مثال:

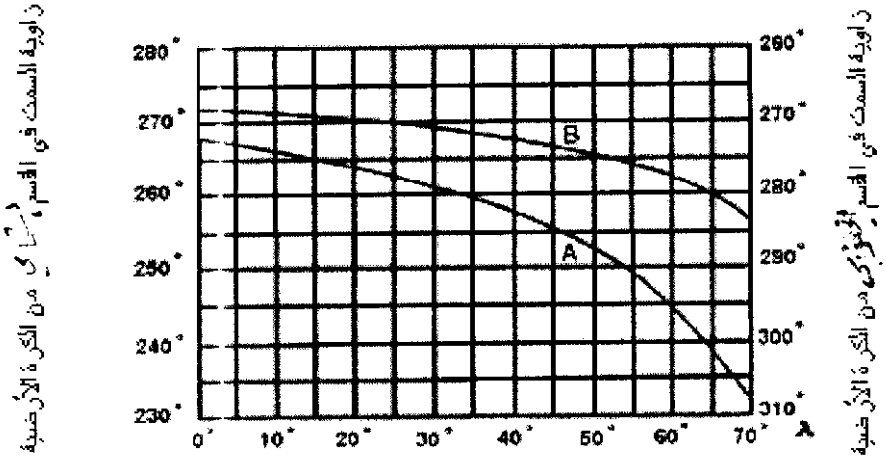
سوف نعتبر أن هوائي استقبال المحطة الميكروية يتوضع في النصف الشمالي من الكرة الأرضية على خط العرض $D = 47^{o}$. زاوية المكان لهذا الهوائي $J = 1^{o}$ ، زاوية سمت الحزمة الأساسية لهذا الهوائي (المخطط التوجيهي) $A = 88.7^{o}$ ، والارتفاع فوق سطح البحر $h_0 = 1Km$ من أجل هذه القيم ومن منحنيات الشكلين (5) و(6) نحصل على $t_{max} = 0.6^{o}$ و $t_{min} = 0.32^{o}$ ، وبالتعويض عن القيم السابقة $D, J, A, t_{max}, t_{min}$ نحصل على النتائج الموضحة في الجدول (1):

W_a dBW	الزاوية d (degree)	قيم زوايا الانكسار
55	-2.53	0.6
55	-2.65	0.32

على الشكل (7) نلاحظ منحنيات حسبت عند الإشعاع بزاوية 2^{o} بالنسبة للمدار الثابت، الذي يصف زاوية السمت عند توضع المحطة الميكروية على خطوط عرض مختلفة في النصفين الشمالي والجنوبي للكرة الأرضية (D). المنحني A تم حسابه من أجل زاوية مكان $J = 3^{o}$ وعند توضع الهوائي على ارتفاع $(h_0 = 0)$ على مستوى سطح البحر.

المنحني B من أجل $J = -1^{o}$ و $h_0 = 1.5Km$.

من هذا الشكل (7) نجد أنه إذا كانت زاوية سمت المحطة الميكروية التي تشع الطاقة ، تقع داخل المنطقة التي تحددها المنحنيات B, A فإن التشويش إلى المدار الثابت من قبل الخط الميكروي لا يظهر. نشير إلى أن منحنيات الشكل (7) تعطي قيم محددة، ويمكن الحصول على قيم متعددة ودقيقة بأخذ خيارات كثيرة أثناء الحساب.



الشكل (7) قيم زوايا السمت لإشعاعات المحطة الميكروية الغير مرغوبة وعلاقتها مع D

نتائج البحث:

من أجل تأمين التنسيق الكهرطيسي بين المحطات الميكروية الأرضية والتوابع الصنعية والذي يحقق شروط المعايير الدولية CCIR فإنه يمكن استخلاص النتائج والتوصيات التالية:

1. لقد تم حساب الزاوية d بين اتجاه الإشعاع الأعظمي للمحطة الميكروية والاتجاه إلى المدار الثابت للتوابع الصنعية مع أخذ الانكسار عن طبقات الغلاف الجوي بعين الاعتبار.
2. تم التوصل إلى علاقة زاوية المكان (التي تتغير مع تغير معامل الانكسار) مع ارتفاع الهوائي عن سطح البحر.
3. تم الحصول على قيمتين للزاوية d عند الانكسار الأصغري والأعظمي وفي كلتا الحالتين يجب تحقق الشرط في المعادلة (2) وإذا لم تتحقق هذه الشروط من أجل أي من الزاويتين يجب تغيير زاوية مكان توضع المحطة الميكروية.
4. تم حساب هذه الزاوية وعلاقتها مع موقع المحطة الميكروية والتابع الصنعي، وخط العرض، والسمت لهما مع الاستطاعة المستقبلة على مدخل هوائي التابع الصنعي.
5. إذا كانت زاوية السمت التي عندها تشع الطاقة من محطة ميكروية تقع داخل المنطقة التي تحددها المنحنيات B, A فإن التشويش إلى التابع الصنعي على المدار الثابت لا يظهر، أي نحصل على الإشارة المطلوبة.

وبذلك يمكن التوصل إلى حل مشكلة التداخل الكهرطيسي للنظام المفروض وإلغاء التأثير السلبي للإشارات المعيقة بحيث يبقى ضمن الحدود المسموحة والحصول على إشارة مقبولة عند مدخل المستقبل ويتحقق التوافق الكهرطيسي لهذا النظام.

المراجع:

.....

1. CCIR, Plenary Assembly, Dubrovnik 1996.

2. C.V.Borodish EMC Nazemnukh Kocmncheckukh Radio CLY j-b Moscow Radio U CVYZ 1990.

3. N.I. Kalashnikov, Cicteme Radios Cviaze 1988.

4. U.A.Feoktictova, Teoriy e Metode ot enki Elektomaknitnu Covmectimocte Radio Elektronne Credctv Moscow Radio e CVYZ 1988.

5. Dr Gamilo Feher, Digital Communications Satellite Earth Station Engineering 1983.