جامعة دمشق

نظم الاتصالات الحديثة

الدكتور المهندس محمد الحسين

الفصل الأول

أنظمة الاتصالات بالألياف البصرية

Fiber Optic Communication Systems

مقدمة

نعرف في هذا الفصل موضوع الاتصالات بالألياف البصرية، ونتعرض للمزايا العديدة بالمقارنة مع التقنيات البديلة، ونناقش التطبيقات المهمة.

تعد الاتصالات البصرية من أحدث طرق الاتصالات حيث تم تحقيقها بعد اختراع الليزر *Laser* والألياف البصرية *Optical Fiber*. ويمكن أن يعدّ عام 1970 بداية لظهور الاتصالات البصرية عملياً. ومنذ عام 1975 أخذت تقانة الاتصالات التي تستخدم الأمواج الضوئية تتقدم بكل المقاييس وبسرعة كبيرة. وقد تطورت هذه التقانة نتيجة الجهد المتواصل لعلماء ومهندسين قاموا بابتكار نظم قادرة على نقل معلومات أكثر، وبسرعة أعلى، وعبر مسافات أطول.

1 – 1 نظرة تاريخية

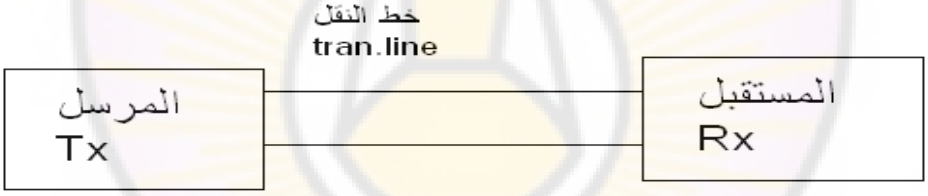
الضوء دائماً معنا، فقد حدثت الاتصالات بوساطة الضوء منذ بداية نشوء الكون والخليقة عندما استعمل الإنسان الإشارات اليدوية في اتصالاته، ويبدو بوضوح أن هذا شكل من أشكال الاتصالات البصرية، ولا يتم هذا في الظلام بل في وضح النهار حيث تكون الشمس في هذا النظام مصدر الضوء، ويتم حمل المعلومات من المرسل إلى المستقبل على إشعاع الشمس. تعمل حركة اليد في تعديل الضوء، وتكون العين أداة كشف الرسالة فيقوم الدماغ بمعالجتها. يكون نقل المعلومات في نظام كهذا بطيئاً، ومسافة الانتشار محدودة، وفرص حدوث الخطأ كبيرة. وفي نظام بصري أحدث مفيد من أجل مسافات انتشار أطول كانت الإشارة الدخانية. كانت الرسالة تبعث بواسطة تغيير نمط الدخان الصاعد من النار فينتقل هذا التغير إلى الجهة المستقبلة بواسطة ضوء الشمس. تطلب هذا النظام وضع طريقة ترميز وتعليمها لمرسل ولمستقبل الرسالة. يمكن مقارنة هذه الطريقة بأنظمة رقمية حديثة تستخدم ترميزاً نبضياً.

في عام 1880 اخترع العالم *Alexander Graham Bell* نظام اتصالات ضوئي وهو الفوتوفون *Photo Phone*، فقد استخدم ضوء الشمس المنعكس عن مرآة رقيقة معدلة صوتياً لتحمل حديثاً وفي جهة المستقبل أسقط ضوء الشمس المعدل على خلية توصيل ضوئية نوع سيلينيوم حيث حولت هذه الخلية الرسالة إلى تيار كهربائي، وقد أكمل هذا النظام بوساطة مستقبل هاتفي مع أن هذا النظام قد عمل بشكل جيد إلا أنه لم يحقق. سمح اختراع المصابيح ببناء نظم اتصالات بصرية بسيطة مثل الأضواء الوامضة من أجل الاتصال بين سفينة وسفينة وشاطئ وسفينة. وكذلك الأضواء الدوارة في السيارات وأضواء المرور. وفي الحقيقة يعتبر أي نوع من مصابيح الإشارة بشكل أساسي نظام اتصالات بصرية.

تتصف جميع الأنظمة الموصوفة سابقاً بسعة معلومات صغيرة. إن التقدم المفاجئ الرئيسي الذي قاد إلى اتصالات بصرية عالية السعة كان اختراع الليزر الذي بني أول نظام له عام 1960. قدم الليزر منبعاً ذا حزمة ضيقة من الإشعاعات البصرية المناسبة لاستعمالها حاملاً للمعلومات. يمكن مقارنة الليزرات بمنابع التردد الراديوي المستعملة في الاتصالات الالكترونية التقليدية. وقد طورت أنظمة الاتصالات البصرية غير الموجهة (بدون ليف) بعد فترة قصيرة من اكتشاف الليزر. وأنجزت بسهولة الاتصالات بوساطة حزم ضوئية تنتشر في الجو. من مساوئ هذه الأنظمة اعتمادها على صفاء الجو وحاجتها إلى ممر خط نظر بين المرسل والمستقبل، وكذلك إمكانية حدوث أذى لعين الشخص الذي قد ينظر إلى الحزمة بدون معرفة منه. ومع أن استعمال هذه الأنظمة كان محدوداً، فإن التطبيقات الأولى لها أدت إلى الاهتمام بالأنظمة البصرية التي توجه الحزمة الضوئية وتتغلب على السيئات المذكورة. لقد قدم العمل الأولي عن أنظمة الليزر الجوية الكثير عن النظرية الأساسية والعديد من المكونات الفعلية المطلوبة للاتصالات بوساطة الألياف.

2 – 1 نظام اتصالات بصري

يتألف نظام الاتصالات الأساسي كما هو معروف من ثلاثة عناصر أساسية وهي: المرسل *Transmitter*، والمستقبل *Receiver*، وقناة المعلومات *The Information Channel*، التي هنا بمنزلة خط النقل *Transmition Line*.



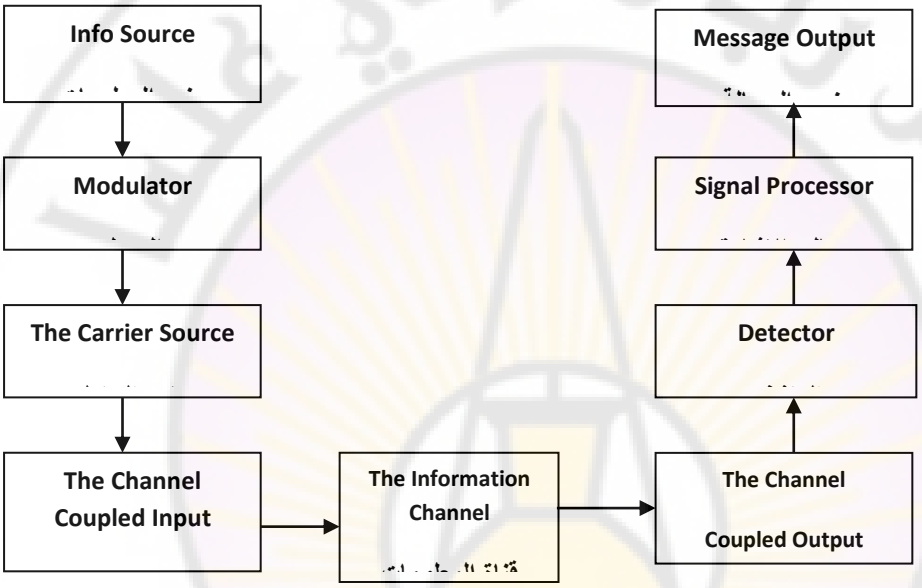
الشكل (1–1)

يتم توليد الرسالة عند مرحلة المرسل وتحويلها إلى شكل مناسب من أجل النقل خلال قناة المعلومات، حيث تنتشر المعلومات من المرسل إلى المستقبل خلال هذه القناة. يمكن تقسيم أقنية المعلومات إلى فئتين: أقنية موجهة وأقنية غير موجهة. يعدّ الجو مثالاً عن قناة غير موجهة حيث يمكن أن تنتشر حولها الأمواج الكهرومغناطيسية. تشمل الأنظمة التي تستعمل أقنية جوية أنظمة الاتصالات الراديوية والتلفزيونية ووصلات الموجات الميكروية. وتتضمن الأقنية الموجهة العديد من بنى إرسال ناقلة منها: الخط ذو السلكين والكابل المحوري ودليل الموجة المستطيل.

الشكل (1–2)

تكلف الخطوط الموجهة في تصنيفها وتركيبها وتخديمها أكثر مما تكلفه الأقنية الجوية، وتتميز الأقنية الموجهة بسرعتها وعدم اعتمادها على الطقس، وبقابلية نقل الرسائل ضمن وتحت وحول بنى فيزيائية. تتمتع أدلة الموجة الليفية بهذه المزايا وبغيرها أيضاً يجري في جهة المستقبل استخلاص الرسالة من قناة المعلومات ويتم وصفها في شكلها النهائي.

يبين الشكل (1–3) مخططاً إجمالياً لنظام اتصالات بشكل عام حيث يعطينا فكرة جيدة عن العناصر الرئيسية لنظام اتصالات. حيث يبين هذا الوصف ما هو مناسب من أجل الأنظمة الليفية مع أن المخطط نفسه يمكن تطبيقه في أنواع أخرى من وصلات الاتصالات.

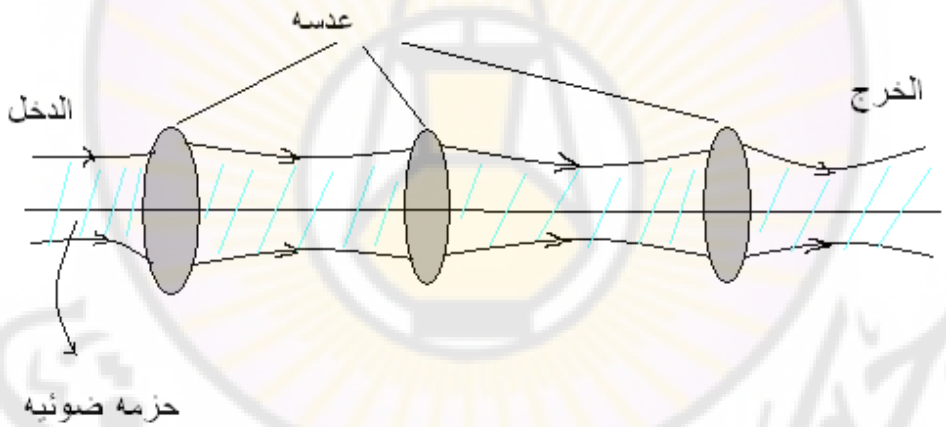


الشكل (1–3)

يمكن أن تكون المعلومات الناشئة عن المنبع بعدة أشكال فيزيائية، ويقوم المبدل بتحويل الرسالة غير الكهربائية إلى إشارة كهربائية، على سبيل المثال يقوم الميكروفون بتحويل الأمواج الصوتية إلى تيارات كهربائية، وكذلك كاميرات التلفزيون تقوم بتحويل الصور إلى تيارات كهربائية أيضاً. تتضمن الأمثلة الألياف المستعملة في الجزء الأرضي من نظام اتصالات فضائية، وكذلك الألياف المستعملة في الإشارات التلفزيونية لكابلات الربط. وفي أي حال يجب أن تكون المعلومات بالشكل الكهربائي قبل إرسالها سواء بالاتصالات الالكترونية أو بالاتصالات البصرية. يؤدي المعدل وظيفتين رئيسيتين: أولاً يحول الرسالة الكهربائية إلى الصيغة المناسبة وثانياً يحمل الإشارة على موجة مولدة بوساطة منبع الإشارة الحاملة، يوجد نوعان مميزان من صيغ التعديل وهما التعديل التماثلي والتعديل الرقمي. عند تحميل إشارة رقمية على حامل يحتاج المعدل فقط أن يجعل المنبع في حالة وصل أو قطع في أوقات مناسبة. إن سهولة بناء معدلات رقمية يجعل هذه الصيغة جذابة جداً لأجل الأنظمة الليفية. يولد منبع الموجة الحاملة الموجة التي تنقل عليها المعلومات حيث يتم إنتاج هذه

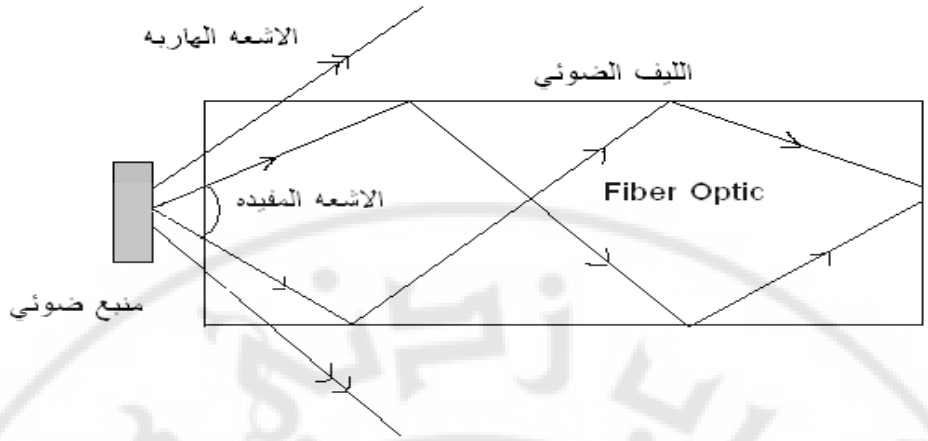
الموجة بوساطة مذبذب (مهتز) الكتروني في أنظمة الاتصالات الراديوية. أما من أجل أنظمة الألياف البصرية يستعمل ثنائي ليزر (*LD*) *Laser Diode* أو ثنائي باعث للضوء *Light Emmitting Diode (LED)* حيث يمكن تسمية هذين الجهازين (*LD-LED*) بالمذبذبات البصرية. إن ثنائيات الليزر والثنائيات الباعثة للضوء صغيرة وخفيفة تستهلك كميات صغيرة من القدرة، وتتمتع نسبياً بسهولة التعديل أي تحميل المعلومات على إشعاعاتها. يعمل كل من هذين الجهازين بوساطة تمرير تيار كهربائي فيه. ويمكن جعل كمية القدرة التي يشعها الجهاز تتناسب مع هذا التيار، وبهذه الطريقة تأخذ قدرة الخرج البصرية شكل تيار الدخل القادم من المعدل. يجب أن نوضح أن التغيرات في القدرة البصرية تحتوي على المعلومات المرسلة، ويسمى هذا التعديل بتعديل الشدة *IM*.

يحتاج ثنائي الليزر إلى تيار عتبة محدد حتى يبدأ بالإشعاع بينما الثنائي الباعث للضوء لا يحتاج إلى أية عتبة حيث يدخل في حالة العمل حينما يتدفق فيه تيار موجب. تصنع ثنائيات الليزر *LD* والثنائيات الباعثة للضوء *LED* بحيث إنها تشع عند ترددات تكون عندها الألياف الزجاجية مرسلات فعالة للضوء أي حيث يكون تخميد الألياف *Attenuation* ضعيفاً. يكون قارن القناة في الأنظمة الراديوية عبارة عن هوائي *Antenna* أما من أجل نظام بصري جوي يكون قارن القناة عدسة تستعمل لتسديد ضوء المنبع وتوجيهه متوازياً نحو المستقبل كما هو موضح في الشكل (1–4).



الشكل (1–4)

أما في الاتصالات البصرية يجب أن ينقل القارن بشكل فعال حزمة الضوء المعدل من المنبع إلى الليف البصري. ليس من السهل إنجاز هذا النقل من غير انخفاض كبير نسبياً في القدرة، أو استعمال وسائل اقتران معقدة التصميم إلى حد ما. وتظهر إحدى الصعوبات بسبب صغر حجم الألياف المعروفة إذ تبلغ أقطارها بحدود *50[μm]*. على أي حال تحدث الخسارة الكبيرة بشكل أساسي لأن منابع الضوء تبعث ضوءها على امتداد زاوي كبير بينما يمكن للألياف فقط أن تلتقط الضوء ضمن زوايا أكثر تحديداً الشكل(1–5).

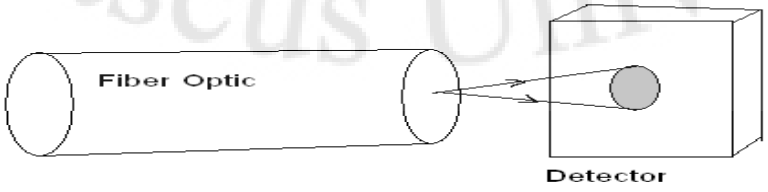


الشكل (1–5)

تشير قناة المعلومات إلى المسار بين المرسل والمستقبل ففي الاتصالات بالألياف البصرية يكون الليف الزجاجي (أو البلاستيكي) هو القناة. تتضمن الخواص المرغوبة لقناة المعلومات تخميداً ضعيفاً وزاوية مخروط قبول ضوئي كبيرة. إن التخميد الضعيف وتجميع الضوء الفعال ضروريان عملياً من أجل الإرسال لمسافات طويلة. ومع أنه تتوفر مستقبلات حساسة جداً فإن القدرة المسلمة إلى المستقبل يجب أن تتجاوز قيمة ما محددة من أجل الحصول على الرسالة المرغوبة بوضوح مناسب. هناك خصيصة أخرى مهمة لقناة المعلومات وهي زمن انتشار الأمواج خلالها. وبصورة عامة يعتمد زمن الانتشار على تردد الضوء وعلى المسار الذي تأخذه الأشعة الضوئية. تحتوي عادة الإشارة المنتشرة في الليف مجموعة من الترددات الضوئية وذلك لأن المنابع الضوئية تبعث بمجموعة من الترددات، وتوزع قدرتها على عدة مسارات للأشعة، ويؤدي هذا إلى تشوه الإشارة المنتشرة.

إن المتطلبات متناقصة من أجل زاوية قبول ضوئية كبيرة وتشوه إشارة منخفض تمثل الألياف العملية حلاً وسطاً بين هاتين النوعيتين. من أجل أنظمة ذات طول خطوط ومعدل معلومات متواضع يمكن الحصول على ألياف بقيم مناسبة من زاوية القبول وتشوه الإشارة.

في نظام اتصالات إلكتروني جوي يجمع الهوائي الإشارة من قناة المعلومات ويوجهها نحو المستقبل. أما في الأنظمة الليفية يوجه قارن القناة (في الخرج) الضوء المنبثق من الليف نحو كاشف الضوء، ويشع هذا الضوء بنمط مماثل لمخروط قبول الليف، وحيث إن الكواشف الضوئية الشائعة ذات مساحة سطح كبيرة وزاويا قبول واسعة، فإنه يتم بشكل فعال استخلاص الضوء من الليف بوساطة طرف اتصال بسيط الشكل (1–6).



الشكل (1–6)

يمكن للمعلومات المرسلة أن تستخلص من الموجة الحاملة في النظم الإلكترونية. تدعى هذه العملية لكشف التعديل (إزالة التعديل) ***Demodulation***. وفي النظم البصرية يتم تحويل الموجة الضوئية إلى تيار كهربائي بوساطة كاشف ضوئي ***Photodiode***. تستعمل حالياً بشكل شائع ثنائيات ضوئية من أنصاف النواقل من مختلف التصاميم. ويتناسب التيار الناتج في هذه الكواشف مع قدرة الموجة الضوئية (البصرية) الواردة. وحيث إن تغيرات القدرة البصرية تحتوي على المعلومات المرغوبة فإن تيار خرج الكاشف يحتوي على هذه المعلومات وهذا التيار يماثل التيار المستعمل في قيادة منبع الموجة الحاملة.

تشمل المميزات المهمة للكواشف الضوئية الحجم الصغير، والاقتصادية، والعمر الطويل، واستهلاك قدرة منخفض، وحساسية عالية للإشارات البصرية، واستجابة سريعة للتغيرات السريعة في القدرة البصرية.

يتضمن معالج الإشارة ***Signal Processor*** تكبير الإشارة في أنظمة إرسال الإشارة التماثلية وترشيحها. أما في الأنظمة الرقمية يحتوي المعالج على دارة قرار تحدد فيما إذا كان قد استقبل عدداً ثنائياً (1) أو (0) خلال الحيز الزمني لأي خانة مفردة، بالإضافة إلى تكبير الإشارة وترشيحها. يستعمل مباشرة الشكل الكهربائي للرسالة الخارجة من معالج الإشارة، وتحدث هذه الحالة على سبيل المثال عندما توصل حواسيب أو آلات أخرى إلى نظام ليفي. ويحدث هذا أيضاً عندما يكون النظام الليفي فقط جزءاً من شبكة أكبر عما هو الحال في وصلة ليفية بين مقاسم هاتفية أو في خط وصلة رئيسية حاملة لعدد من البرامج التلفزيونية.

1 – 3 ميزات الألياف البصرية

قبل التطرق إلى ميزات الألياف البصرية (الضوئية) لابد أن نذكر بعض المحاذير، وهي أن الأنظمة الليفية ليست كاملة حيث لها قيود اقتصادية وتقنية. من أجل أي نظام مرغوب يجب تقويم الميزات النسبية للأقنية الموجهة مقابل غير الموجهة، وللموصلات المعدنية مقابل الألياف.

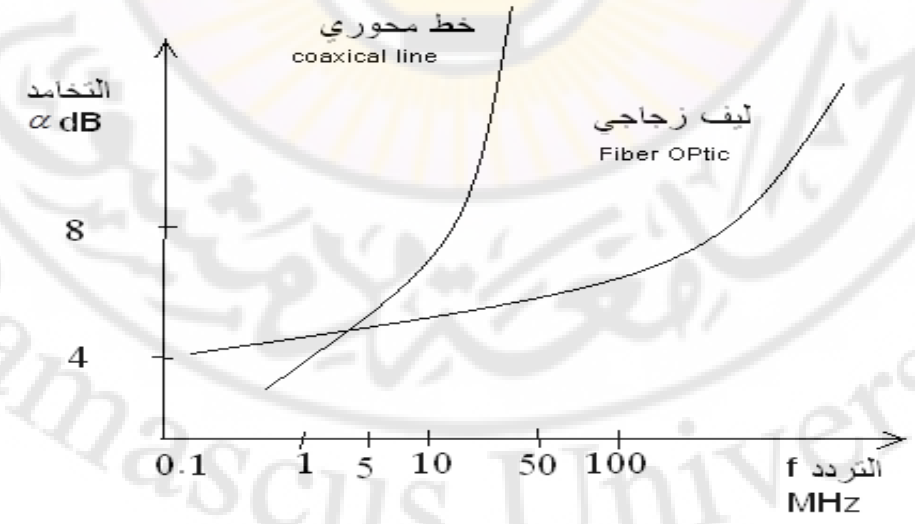
1. إن المادة الأساسية للألياف الزجاجية هي ثنائي أوكسيد السليكون (SiO_2) المتوفر بكثرة. وتصنع بعض الألياف البصرية من البلاستيك الشفاف، وهي مادة الزجاج الذي يحتوي على بعض الشوائب المعدنية وغيرها، ولم تتم تنقيتها في أثناء المعالجة خلال تصنيع الزجاج. فالكلفة هي الاعتبار الأكثر أهمية في النظام، ويجب إجراء المقارنات بين الليف والكابلات المعدنية بعناية. يتوفر العديد من الكابلات الليفية وبعضها أرخص من مثيلاتها المعدنية. ويظهر التوفير بوضوح عندما تتم المقارنة على أساس الكلفة لوحدة المعلومات المنقولة. مثلاً: إن المقارنة الصحيحة لوصلة هاتفية تكون على أساس الكلفة لميلي متر لكل قناة هاتفية، وليس لكل متر طولي. يظهر هذا الاعتبار أن للألياف إمكانيات أكبر في حمل المعلومات مما للأقنية المعدنية.

2. تعدّ الكابلات الليفية أقل كلفة للنقل، وأسهل للتركيب من الكابلات المعدنية، وذلك لأن الألياف أصغر وأخف. في تصميم ذي كابل مفرد يبلغ قطر الليف ***125[µm]*** ويحتويه غلاف بلاستيكي ذو قطر خارجي ***2.5[mm]*** ويبلغ وزن الكابل ***6[kg/km]*** وتبلغ الخسارة ***5[dB/km]***. لنقارن هذا الكابل مع الكابل المحوري (***RG-19/U***)

الذي يبلغ تخميده *22.6[dB/km]* عندما يحمل إشارة بتردد *100[MHz]*. ويبلغ قطره الخارجي *28.4[mm]* ويبلغ وزنه *1110[kg/km]*. يظهر هذا المثال المميزات الكبيرة للوزن والحجم للكابلات الليفية.

3. تطورت الألياف والكابلات الليفية لتصبح قوية ومرنة. وبعض الألياف رفيعة بحيث إنها لا تنكسر عندما تلف حول قوس بنصف قطر يبلغ فقط بضعة سنتيمترات. إن مرونة الليف صفة جذابة من أجل التركيبات التي تحتوي على عدة لفات على مسار الإرسال. من أجل انحناءات ذات قطر كبير توجه الألياف الضوء بخسارة مهملة. ويوجد على أي حال بعض الخسارة عند الانحناءات الضيقة جداً. وعندما يحمى الليف مثلاً بتغليفه بغلاف بلاستيكي يصعب ثني الكابل إلى نصف قطر صغير فلا ينكسر الليف. والألياف التي تحتويها كابلات لا تنكسر بسهولة. تؤدي إضافة غلاف بلاستيكي إلى زيادة قوة الشد لخط إرسال ليفي. ويمكن إضافة قضبان فولاذية داخل الكابل البلاستيكي من أجل (وهو ليف بوليمر تركيبي*Kelven*) زيادة إضافية للقوة إذا احتاج الأمر. توجد مادة دعم أخرى وهي ذات قوة شد عالية بالرغم من الطبيعة الهشة الظاهرية للزجاج. تعدّ الكابلات الليفية قوية البنية ومفيدة.

4. تطورت التقنيات من أجل إنتاج ألياف ذات خسارة إرسال منخفضة جداً حيث توجد عدة تصاميم ليفية. إن تخميداً مقداره *4[dB/km]* يعدّ نموذجياً لأجل ألياف زجاجية تجارية عالية الجودة. ويمكن إنشاء وصلات اتصال طويلة جداً نتيجة جاهزية الألياف ضعيفة الخسارة، ويمكن تحديد مواقع المكررات *Repeaters* المطلوبة من أجل تكبير الإشارات الضعيفة على مسافات متباعدة تزداد خسارة خطوط النقل السلكية بسرعة مع التردد الشكل (1–7) من أجل كابل محوري *RG-19/U*. فعند الترددات العالية ستنقص بشكل كبير أطوال الوصلات والمسافات بين مراكز التكرار للأنظمة السلكية أكثر مما للأنظمة الليفية.



الشكل (1–7)

5. إن أحد أكثر ميزات الألياف أهمية هي قابليتها في حمل كمية كبيرة من المعلومات بالشكل الرقمي أو التماثلي. مثلاً يمكن لليف مفرد من النوع المطور لخدمة هاتفية أن ينقل المعلومات بالمعدل T_3 *(44.7[Mbps])*

الجدول(1–1)، وهذا الليف ينقل 672 قناة صوتية، وتتوفر ألياف بسعات أكبر أيضاً. ومع أن انبساط النبضة يحد من المعدل الأعظمي فإن إمكانيات الليف تؤمن متطلبات معظم أنظمة معالجة المعطيات.

عدد الأقنية الصوتية	دلالة الإرسال	معدل المعطيات
1	---	64KbPs
24	T_1	1.544MbPs
96	T_2	6.312 MbPs
672	T_3	44.736 MbPs
4032	T_4	274.175 MbPs

الجدول (1–1)

6. إن الألياف البصرية سواء الزجاجية منها أم البلاستيكية هي عوازل لا يتدفق خلالها تيارات كهربائية سواء أكانت ناتجة عن الإشارة المرسلة أو عن الإشعاعات الخارجية التي تصطدم بالليف. وبالإضافة لذلك فإن الموجة الضوئية داخل الليف تكون محجوزة ولا يحدث لذلك أي تسرب خلال الإرسال، يمكن أن يتداخل مع إشارات في ألياف أخرى. وعلى العكس لا يمكن للضوء أن يدخل الليف من جانبه. نستنتج من هذا أن الليف محمي تماماً من التداخل والاقتران مع أقنية اتصالات أخرى سواء أكانت كهربائية أم ضوئية. وللأسباب *RFT* المذكورة أعلاه تتمتع الألياف بممانعة ممتازة لتداخل التردد الراديوي وللتداخل الكهرومغناطيسي *EMT*. يظهر تفوق الليف في طرحه خارجياً الضجيج الخلفي المحدث. إن قدرة الليف في عزل نفسه عن محيطه يسمح لنا بحزم عدة ألياف مع بعضها في كابل من أجل عدة أقنية من المعلومات على طول خط مفرد فلا يحدث تداخل.

7. بسبب كون الألياف عوازل فإنها لن تلتقط أو تنقل النبضات الكهرومغناطيسية *EMP* التي تسببها الإنفجارات الذرية التي يمكن أن تحرض ملايين الفولطات لخط إرسال ناقل. يمكن لنبضة الجهد أن تنتقل عدة أميال على طول السلك وتحطم في نهاية الأمر (بسبب قوتها) التجهيزات الإلكترونية عند نهاية المسار.

8. تتميز الطبيعة العازلة لليف بعدة نتائج عملية أخرى، ففي المحيط حيث توجد خطوط جهد عالٍ قد تؤدي وصلة اتصالات سلكية إلى إحداث دارة قصر على الخطوط نتيجة سقوطها عليها مؤدياً هذا إلى حدوث عطل كبير، وقد يؤدي حدوث الشرارة في هذه الطريقة إلى اشتعال غازات الاحتراق في المنطقة. إن هذه المشكلة تختفي بوجود الألياف. وإضافة إلى ما ورد يمكن إصلاح الليف أثناء تشغيل النظام من غير إمكانية حدوث قصر للإلكترونيات عند المرسل أو المستقبل. قد يمكن لهذه المشكلة أن تحدث عند إصلاح كابل معدني.

9. توفر الألياف درجة من السرية والخصوصية. حيث إن الألياف لا تشع الطاقة ضمنها فمن الصعب على متطفل كشف الإشارة المرسلة. وحتى يمكن الحصول على الإشارة يجب أن يجري اقتحام مادي على الكابل. إن كسر الليف أو دمج ليف جديد في الليف المرسل يؤدي إلى الحصول على منفذ إلى الحزمة البصرية. يمكن لمستقبل حساس أن يقيس هذه الخسارة بافتراض أخذ العلم على أن تطفلاً قد حدث. ومن أجل تحسين فرصة الكشف يجب أن يراقب النظام بشكل دائم.

10. إن التآكل نتيجة الماء أو المواد الكيميائية أقل قسوة على الزجاج مما هو بالنسبة إلى النحاس الذي يحل محله. وعلى أي حال يجب ألا يتخلل الماء الزجاج من أجل التطبيقات المغمورة في الماء تغلف الألياف ضمن كابلات تحميها من الماء. يمكن أن تتحمل الألياف الزجاجية ذاتها درجات حرارة عالية قبل أن تتلف.فلا يتأثر الليف الزجاجي حتى درجات حرارة تقارب $800C^o$. بينما تكون العناصر الأخرى في النظام الليفي أكثر حساسية لارتفاع درجة الحرارة، حيث يمكن أن ينصهر غلاف الكابل البلاستيكي تاركاً الليف من غير حماية، ومن المحتمل أن يتشوه الليف وسيزيد هذا التشوه الخسارة فيه. يتوفر تجارياً بتكاليف متواضعة كابلات ليفية تعمل بين $-25C^o$ و $+65C^o$.

11. تتوفر الألياف بأطوال كبيرة مما يقلل الحاجة إلى وصلات دائمة متعددة. إن طولاً مقداره *1[km]* يعدّ طولاً شائعاً، وقد أمكن إنتاج جدائل متواصلة بأطوال تبلغ عدة كيلومترات. من أجل أن نكون منطقيين يجب أن نذكر شيئاً ما عن إحدى سيئات الألياف البصرية. إن كلفة الوصلة الضوئية *Connector* مرتفعة وخسارته أيضاً كبيرة ويتطلب تركيبه الكثير من الوقت. أما أسباب هذا الحال فهي صغر قطر الليف الضوئي إذ يتطلب توصيله دقة عالية جداً بمرتبة المايكرومتر. ترتفع كلفة الوصلات الضوئية من أجل الحصول على خسارة أقل من *1[dB]* عندما يتكرر اقتران الألياف وانفصالها.

1 – 4 حساب سويات القدرة بالديسبل *dB*

إن جزءاً رئيسياً من تصميم الأنظمة يتضمن المحافظة على قيمة القدرة الضوئية على طول وصلة الاتصالات، وهذا ضروري عادة من أجل أن نضمن بأن الموجة الواردة إلى الكاشف ذات شدة كافية من أجل أن نميز بشكل صحيح وبوضوح. في حالات أخرى قد تكون القدرة المستقبلة كبيرة جداً من أجل المستقبل. ويجب على المصمم أن يتأكد أن هذا لا يحدث. يعدّ الديسبل *dB* مقياساً مناسباً لسويات القدرة النسبية في نظام اتصالات ما.

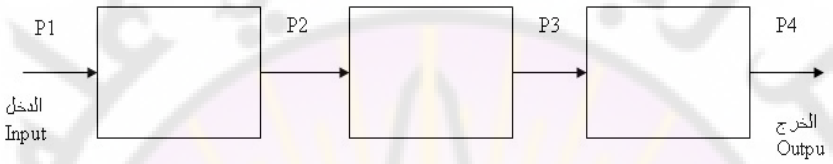
إذا كانت القدرة عند نقطة ما في نظام تساوي $P_1[W]$ وعند نقطة أخرى أبعد في الوصلة كانت $P_2[W]$. تمثل عندئذ P_2/P_1 كفاءة الإرسال بين النقطتين، ويعبر عن هذه النسبة بالديسبل:

$$dB = 10Log_{10}(P_2 / P_1) \qquad \textbf{(1-1)}$$

وتعطى P_1 و P_2 بنفس الوحدات (وات أو ميللي وات مثلاً)، ويكون لوغاريتم الأعداد التي هي أصغر من الواحد سالباً وهكذا تكون نتيجة الديسبل سالبة إذا كانت P_1 أقل من P_2. وهذه هي الحالة عندما يكون للنظام خسارات. وعندما يكون P_2 أقل من P_1 (كما هي الحال عندما يوضع مكبر بين موقعين) يكون الديسبل موجباً. إن المقياس اللوغاريتمي

ملائم للاستعمال بسبب السهولة التي يمكن بها إيجاد التغير الكلي في سوية القدرة عندما تربط عدة عناصر على التتالي *Cascaded*. لنعتبر النظام المكون من ثلاثة عناصر والمبين في الشكل (1–8) حيث يمكن أن تمثل الكتل الثلاثة وصلة من منبع الضوء إلى الليف والليف ذاته والموصل، ومن ثم إلى الكاشف، وتحدد قدرة الخرج بضرب كفاءات الكتل وفقاً للتعبير التالي:

$$\frac{P_4}{P_1}=\frac{P_4}{P_3}\times\frac{P_3}{P_2}\times\frac{P_2}{P_1}$$



الشكل (1–8)

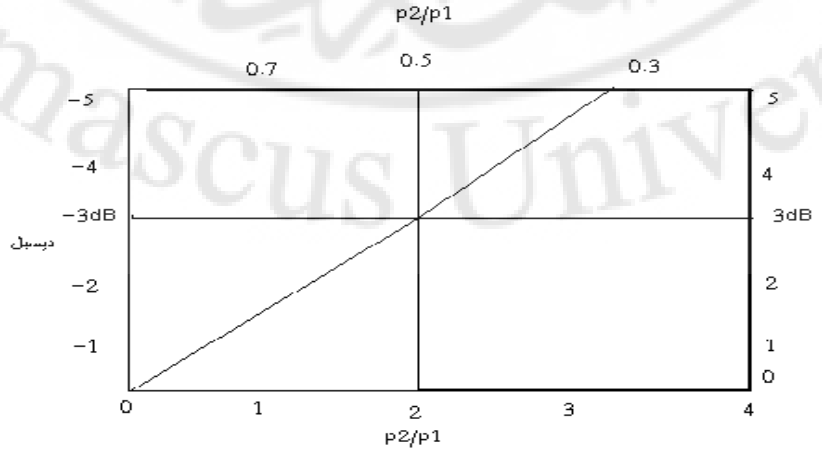
ويعبر عن الخسارة كما يلي :

$$dB=10Log_{10}\left(\frac{P_4}{P_1}\right)=10Log_{10}\left(\frac{P_4}{P_3}\times\frac{P_3}{P_2}\times\frac{P_2}{P_1}\right)$$

وإذا استعملنا الخاصة بأن لوغاريتم جداء حدود يساوي مجموع لوغاريتمات هذه الحدود نجد:

$$dB=10Log_{10}\left(\frac{P_4}{P_3}\right)+10Log_{10}\left(\frac{P_3}{P_2}\right)+10Log_{10}\left(\frac{P_2}{P_1}\right) \qquad \textbf{(2-1)}$$

وهذا يعني أن الكفاءة الإجمالية بالديسبل تساوي مجموع الكفاءات بالديسبل، وهذا يوضح الميزة الرئيسية للمقياس اللوغاريتمي المبين في الشكل (1–9).



الشكل (9–1)

مثال 1 – 1

لنفترض أن للعناصر الثلاثة المبينة بالشكل (1–8) الخسارات التالية على التوالي $(-3[dB],-6[dB],-11[dB])$. أوجد الخسارة الكلية للمجموعة. وأوجد الخرج إذا كانت قدرة الدخل *5[mW]*.

الحل:

نجد بموجب المعادلة (1–2) أن الخسارة الكلية تساوي المجموع:

$$dB = 10Log_{10}\left(\frac{P_4}{P_3}\right)+10Log_{10}\left(\frac{P_3}{P_2}\right)+10Log_{10}\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$$

$$10Log_{10}\left(\frac{P_4}{P_3}\right) = -20[dB] \Rightarrow \frac{P_4}{P_3} = 10^{-2} = 0.01 \Rightarrow$$

$$P_4 = 0.01 \times P_3 = 0.01 \times 5[mW] = 0.05[mW]$$

مثال 1 – 2

تبلغ الخسارة لنظام ما *23[dB]-* احسب كفاءته.

الحل:

من المعادلة *(1-1)* من أجل نسبة القدرة نجد:

$$\frac{P_2}{P_1} = 10^{dB/10} = 10^{-2.3} = 0.005$$

وهكذا تساوي كفاءة إرسال القدرة *0.5%*، ويتوجب علينا أيضاً الحصول على نسب سويات القدرة المطابقة إلى *-23[dB]* من مقياس الديسبل.

نلاحظ أن: $-23[dB] = -20[dB] - 3[dB]$. من الشكل (1–9) نجد خسارة مقدارها *0.01* من أجل *-20[dB]* ونجد أننا نحصل على خسارة مقدارها *0.5* من أجل *-3[dB]* وتكون الخسارة الكلية التي هي حاصل جداء الخسارتين الجزئيتين مساوية:

$$0.01 \times 0.5 = 0.005$$

وهكذا يستعمل مقياس الديسبل للدلالة على سويات القدرة النسبية.

ويمكن أيضاً أن نستعمل الديسبل لنعبر عن القدرة المطلقة. فمن أجل هذا نقارن القدرة P_2 بقيمة مرجعية ثابتة. إن السوية المرجعية المناسبة هي الميللي وات ويشار إلى قيمة القدرة بالديسبل نسبة إلى واحد ميللي وات بالمصطلح *dBm*. بوضع $P_1 = 1[mW]$ وبكتابة P_2 بالميللي وات نجد مايلي:

$$dBm = 10\log_{10} P_2 + 30$$

حيث تقدر P_2 بالميكروواط. عندها يمكن أن نكتب:

$$dB\mu = 10\log_{10} P_2 + 60$$

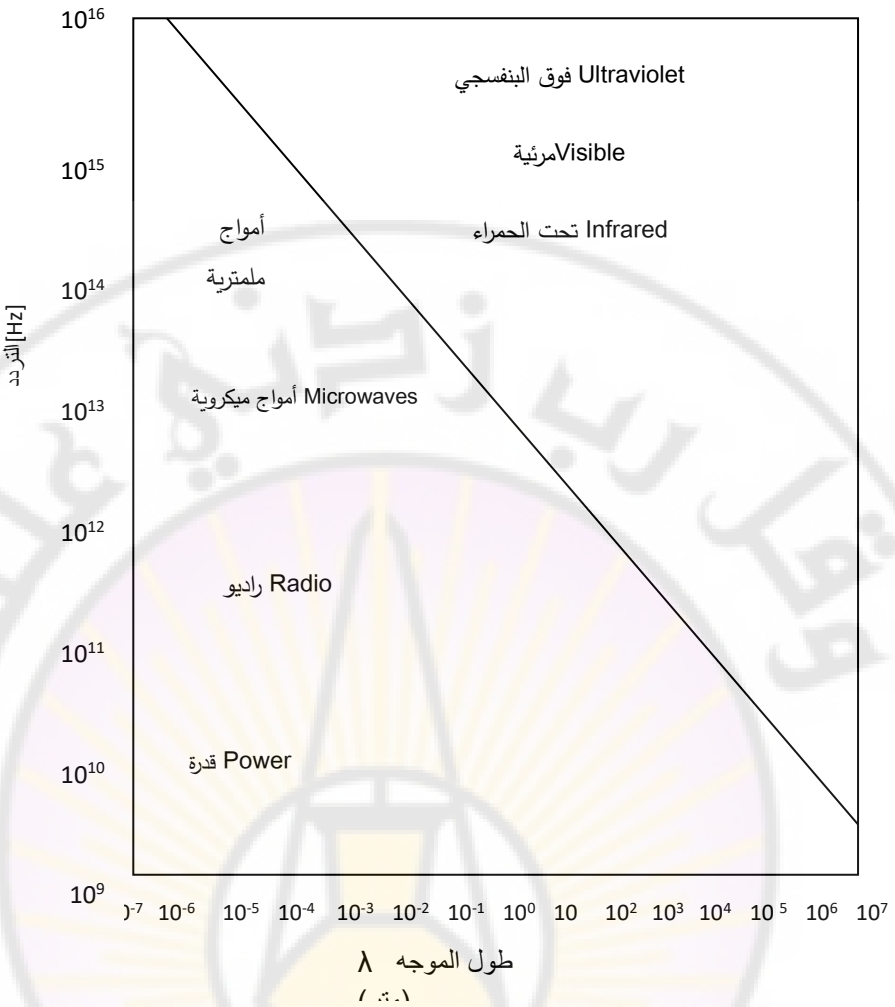
تعرض بعض أجهزة قياس القدرة الضوئية قراءاتها مباشرةً بوحدات *dBm* أو *dBμ*. بينما تشير أجهزة أخرى إلى القدرة الضوئية مباشرةً بالوات.

1 – 5 طبيعة الضوء *(Nature of Light)* والتصنيف الترددي

إن الضوء هو موجة كهرومغناطيسية ذات تردد اهتزاز عالٍ جداً، وطول موجة قصيرة جداً، يبين الشكل (1–01) ترددات الطيف الكهرومغناطيسي ويعطي طول موجة الفراغ الحر. وكذلك الأسماء العامة لمدى الترددات المختلفة. نركز الدراسة على الأجزاء تحت الحمراء والمرئية فوق البنفسجية من الطيف، وذلك لأن العديد من تقنيات التحليل والأجهزة تستخدم في مدى هذه الترددات جميعاً.

إن المدى الترددي (أو أطوال الموجات) التي تهمنا مبدئياً في الاتصالات تقع ضمن مجال الترددات تحت الحمراء *(Infrared)*. إن الألياف الزجاجية ليست مرسلات جيدة جداً للضوء في منطقة الرؤية *([0.4[μm] - 0.7[μm])* حيث تخمد هذه الألياف الأمواج إلى الحد الذي تكون فيه فقط وصلات الإرسال القصيرة عملية. وتكون الخسارة في حال الموجات فوق البنفسجية كذلك أكبر. وفي مدى الموجات تحت الحمراء يوجد على أي حال منطقتان يكون فيهما الزجاج فعالاً جداً. ويحدث هذا عند أطوال موجات قريبة من *0.8[μm]* وفي المنطقة من *1.1[μm]* إلى *1.6[μm]*.

مع أن الأمواج الضوئية ذات ترددات أعلى بكثير من الأمواج الراديوية فإن كليهما يخضع لنفس القوانين ويشترك بالعديد من الخصائص. إن لجميع الأمواج الكهرومغناطيسية حقول كهربائية ومغناطيسية تلازمها وتنتشر جميعها بسرعة عالية. تنتشر الأمواج الكهرومغناطيسية في الفراغ بسرعة $3\times10^8[m/s]$.



الشكل (1-01)

وتخص هذه السرعة انتشار الموجة في الجو. أما في الأوساط الصلبة فتختلف سرعة الموجة وتعتمد قيمتها على المادة وعلى الشكل الهندسي لأي بنية موجهة للموجة قد تكون موجودة. يعطى طول موجة حزمة ضوئية بالعلاقة :

$$\lambda = v / f \qquad \textbf{(3-1)}$$

حيث v هي سرعة الحزمة وf ترددها.

مثال على ذلك: لنعتبر إشعاعاً بطول موجة $0.8[\mu m]$ وباعتبار أن $v=c$ يكون التردد: $f = 3.75\times10^{14}[Hz]$. أما الدور T هو: $T = 2.67\times10^{-15}[s]$.

تستعمل الطبيعة الموجية للضوء من أجل تحليل كيفية انتشار الحزم الضوئية خلال الألياف. تبين مثل هذه التحاليل الشروط الضرورية من أجل الضوء الذي سيوجه بوساطة الليف. وتبين هذه التحاليل السرعة التي تنتشر بها الأمواج. وضحنا أعلاه الضوء كموجة إلا أنه أحياناً لا يسلك الضوء مسلك الموجة وإنما مسلكاً كما لو كان مصنوعاً من جزيئات صغيرة جداً تدعى الفوتونات. تعطى طاقة الفوتون الواحد بالعلاقة:

$$w = h.f \qquad \textbf{(4-1)}$$

حيث $h = 6.626 \times 10^{-34}[J.s]$ ويدعى ثابت بلانك.

مثال 1 – 3

أوجد عدد الفوتونات الواردة في الثانية على كاشف إذا كانت القدرة الضوئية *1[μW]* وطول الموجة *0.8[μm]*.

الحل:

تحدد طاقة الفوتون عند *0.8[μm]* وفق ما يلي:

$$w_p = h.f = h\frac{C}{\lambda} = 2.48 \times 10^{-19}[J]$$

وحيث إن القدرة هي معدل تسليم الطاقة يمكن أن نكتب الطاقة الكلية كما يلي:

$$w = P.t$$

وبضرب القدرة *1[μW]* بالفترة الزمنية *1[sec]* ينتج طاقة *1[μJ]* ويكون عدد الفوتونات المطلوب للحصول على *1[μJ]*:

$$\frac{w}{w_P} = \frac{10^{-6}[J]}{2.48 \times 10^{-19}[J/photon]} = 4.03 \times 10^{12}[photons]$$

تقاس الطاقة بوحدة مناسبة هي (إلكترون فولت) *eV* وهي الطاقة الحركية التي يكتسبها إلكترون واحد عندما يسرع بوساطة فرق كمون مقداره واحد فولت. وتحدد العلاقة بين الإلكترون فولت و الجول كما يلي:

$$1[eV] = 1.6 \times 10^{-19}[J]$$

تعطى طاقة الفوتون عند طول الموجة *0.8[μm]* بالإلكترون فولت كما يلي:

$$\frac{2.48 \times 10^{-19}[J]}{1.6 \times 10^{-19}[J/eV]} = 1.55[eV]$$

1 – 6 بعض أجيال أنظمة الاتصالات البصرية

وضع الباحثون في الخدمة خمسة أجيال من نظم الاتصال بالأمواج الضوئية، ويمثل كل منها تقدماً رئيسياً لهذه التقانة، ويكون تردد الأمواج الضوئية المستخدمة في الاتصالات البصرية من مرتبة *10^{14}[Hz]*.

ظهرت نظم الجيل الأول من الاتصالات البصرية نحو عام 5791 تبين أنه باستطاعتها نقل معلومات أكثر بكثير مما كانت تستطيع نقله النظم التي تنقل إشارات كهربائية عبر الأسلاك النحاسية. وقد كانت الألياف البصرية في هذا الجيل تسبب ضياعاً (خسارة) بحدود *20[dB/km]*.

بحلول عام 8791 أصبح بالإمكان نقل مليار بت *(Gbits)* كل ثانية عبر نظام اتصالات لمسافة *10[km]* بحيث أصبحت سعة النقل *10[Gbit.km/s]* ومع ظهور الجيل الثاني نحو عام 0891 حققت نظم الاتصالات البصرية سعة تقارب *100[Gbit.km/s]* حيث تمكن العلماء من تحسين التقانة بطريقتين: الأولى بتغيير مواصفات الليف وتم الحصول على ألياف وحيدة النمط *(Single Mode)*، والثانية عبر تطوير مرسلات ومستقبلات يمكنها التعامل مع ضوء طول موجته *1.3[µm]*، وقد أدى هذا التغير إلى خفض التخامد إلى *4[dB/km]*.

وفي عام 2891 بدأ الجيل الثالث بالظهور عندما طور العلماء تقانات تصنيع أدت إلى زيادة نقاء زجاج السيلكا. وهكذا عزز العلماء بشكل أكبر شفافية الألياف ضمن مجال الأطوال الموجية من *1.2 [µm]* إلى *1.6[µm]* وللاستفادة من هذا المجال تم تصنيع منبع ضوء ليزري أحادي اللون *Monochromatic* وبشكل خاص فإن الثنائيات الليزرية تستطيع إصدار ضوء طول موجته *1.55[µm]* وهو طول الموجة الضوئية التي يكون عندها زجاج الليف قليل الفقد. وقد أدت هذه التحسينات إلى زيادة سعة النقل بشكل كبير.

مع بداية عام 4891 ظهر الجيل الرابع لنظم الاتصالات البصرية ويتكون هذا الجيل من نظم مبتكرة تقوم بتعديل تردد الضوء أو طوره بدلاً من شدته. تم لاحقاً تطوير نظم الاتصالات البصرية بحيث أصبح بالإمكان نقل أكثر من *1[Gbit/s]* عبر ليف بصري لمسافات تزيد عن *100[km]*.

1 – 7 تطبيقات الاتصالات بالألياف البصرية

إن الحجم الصغير والسعة الكبيرة لحمل المعلومات بالألياف البصرية يجعلها جذابة بوضعها بدائل للكابلات النحاسية التقليدية ذات أزواج الأسلاك المجدولة في الأنظمة الهاتفية. في واحد من أوائل الأنظمة المركبة كانت خطوط ربط رئيسية ليفية قد وصلت بين مكاتب الهاتف في *Chicago* كانت تبعد عن بعضها مسافة *1[km]* و*2.4[km]*. إن العمل بالمعدل T_3 قد أتاح لكل واحد من الأربع والعشرين ليفاً في الكابل أن يحمل *672* رسالة صوتية.

لقد تأكدت فاعلية خطوط ربط متواصلة (بدون محطات تكرار) بطول أكثر من *100[km]* وقد سمح هذا بإنشاء خطوط اتصالات رئيسية بين المدن. ويمكن بفضل المكررات أن نرسل رسائل بألياف يبلغ طولها عدة آلاف كيلومتر. تمكن المسافات الطويلة بين المكررات من تصميم وصلات تحت الماء تجتاز المحيط الأطلسي. تبلغ المسافة بين نيويورك ولندن *6500[km]* وتتطلب حوالي *200* مكرراً تفصلها عن بعضها مسافات من *30[km]* إلى *35[km]*. ويمكن استعمال المعدل T_4 *(274[Mbps])* حيث يرسل كل ليف *4000* مكالمة.

تشير عبارة المدينة المسلكة إلى تجمع سكاني يكون لكل منزل فيه نفاذ إلكتروني إلى عدد كبير من الخدمات المعلوماتية. وعندما تكون التوصيلات بصرية يصبح المصطلح المدينة المليفة أكثر دقة. تم تأسيس مثل هذا التجمع في اليابان وفق البرنامج *Higashi- Ikoma Optical Visual Information System (Hi-OVIS)* وكذلك تعني *Hi-Highly Interactive Optical Visual Information System OVIS*.

يتألف النظام من مركز عام ومركز فرعي ومطاريف منزلية متصلة بوساطة خطوط إرسال بصرية. وتوصل الخطوط تجهيزات الفيديو والحواسيب. لكل طرف منزلي جهاز تلفزيون وآلة تصوير وميكروفون ولوحة أزرار، ويتم الحصول على اتصالات تفاعلية بالاتجاهين. وصلت المطاريف مبدئياً إلى *158* منزل خاص. وقد وسعت تجمعات سكنية أخرى في أرجاء العالم مجال المدينة المليفة وأغراضها.

إن الاتصالات البصرية تتوافق مع خطوط السكك المكهربة بينما ليست كذلك الأنظمة السلكية، وذلك بسبب عدم تأثر الليف بالتداخل الكهرومغناطيسي *(EMI)* حتى إن الألياف يمكن أن تمر خلال مناطق توليد القدرة الكهربائية أو خلال محطاتها الفرعية من غير أن تتأثر. يمكن أن تعلق الكابلات البصرية مباشرة بأبراج خطوط القدرة أو الأعمدة إذا كانت الفراغات أو الأحمال تسمح بذلك. يوضع غالباً ناقل أرضي للحماية من الصواعق فوق مجموعة خطوط نقل القدرة ذات الجهد العالي وهذا مكان مناسب من أجل احتواء الليف. إن التطبيقات التي هي بالأصل فيديوية تشمل البث التلفزيوني والكابل التلفزيوني *(CATV)* والمراقبة والإشراف عن بعد. تستعمل صناعة البث التلفزيوني الإرسال الليفي في الوصلات القصيرة. يتنافس إرسال الفيديو بالألياف البصرية بنجاح مع الكابل المحوري في أنظمة الإشراف والمراقبة عن بعد. تظهر في هذه التطبيقات أهمية طرح الـ *EMI* والحساسية الضعيفة لضرر الصواعق.

وكأمثلة محدودة : مراقبة محطات توليد القدرة ونقاط التحكم الحرجة على طول سكة حديدية، وساحات وقوف السيارات، والحدود الخارجية لمنشآت عسكرية. تناسب على وجه الخصوص الأنظمة الليفية من أجل إرسال معطيات رقمية كالتي تولدها الحواسيب حيث يمكن أن يستخدم الليف في تنفيذ التوصيلات الداخلية بين وحدة المعالجة المركزية *(CPU)* والتجهيزات الطرفية وبين الـ *CPU* والذاكرة وبين وحدات المعالجة المركزية نفسها.

إن الإرسال بالألياف البصرية لمعطيات التحكم مفيد في المناطق حيث توجد الجهود العالية. ويوجد مثل هذا المحيط عند إجراء تجارب الصهر المستحث بالليزر. إن المعالجات الصغرية التي تتحكم بتتابع الإطلاق الليزري وبالمكبرات الليزرية توصل بوساطة الألياف من أجل حذف التداخل الذي تخلقه الجهود الكبيرة على النواقل المعدنية.

تكثر التطبيقات العسكرية بالألياف البصرية، وتتضمن وصلات الاتصالات والتحكم والقيادة على السفن والطائرات ووصلات المعطيات من أجل المحطات الأرضية وخطوط الإرسال واتصالات مراكز القيادة العسكرية.

إن خواص الليف المهمة هي الوزن الخفيف والحجم الصغير وطرح الـ *EMI* وعدم إشعاع الإشارة. وعلى الطائرات والسفن تظهر الفوائد المهمة لتناقص مصادفات حدوث الصدمات والنار والشرارة. تتراوح الاتصالات التكتيكية بدءاً من وصلات قصيرة المدى (التي توصل الملاجئ الحقلية) وحتى وصلات المسافات الطويلة (خطوط بطول *[60[km]*).

يوجد تطبيق حديث وهو الصاروخ ذو التوجيه الليفي. يجري فيه إرخاء الليف أثناء طيران الصاروخ ترسل الحساسات التي هي على الصاروخ معلومات فيديو خلال الليف إلى عربة متحكم أرضية. وتحول ثانية الأوامر من العربة إلى الصاروخ عبر الليف.

الفصل الثاني

محددات الليف البصري

Optical Fiber Parameters

2 – 1 مقدمة

يعدّ الليف الضوئي العنصر الأساسي في أنظمة الاتصالات بالألياف الضوئية، ويمثل هذا الليف خط النقل الأساسي للأمواج الضوئية التي تنقل من المرسل إلى المستقبل. يصنع الليف الضوئي ***Optic Fiber*** بشكل أساسي من ثاني أوكسيد السيلكون***(SiO_2)*** ويتكون من طبقتين أساسيتين الأولى ويطلق عليها اسم القلب ***Core*** وطبقة أخرى محيطة بالقلب تدعى الغلاف ***Cladding***. تنتشر الأشعة في الفراغ بسرعة $C = 3\times10^8[m/s]$، وتنتشر الأشعة في أي وسط آخر بسرعة أقل وتعطى بالعلاقة:

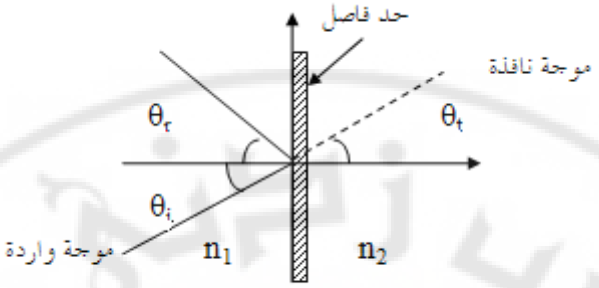
$$v = C/n \qquad \textbf{(1-2)}$$

يدعى العامل ***n*** دليل الانكسار للوسط. من أجل الهواء والغازات تكون سرعة الشعاع قريبة جداً من ***C*** وتكون ***n*** ***1*** =، وعند الترددات البصرية يكون دليل الانكسار ***1.33*** أما الزجاج فله عدة تراكيب ولكل واحدة منها سرعة شعاع مختلفة قليلاً. ويعدّ عامل الانكسار قيمة ***1.5*** رقماً ممثلاً لأنواع الزجاج المستعمل في الألياف. ويعطي الجدول (2–1) قائمة لأدلة الانكسار للعديد من المواد.

المادة (Material)	***Index of Refraction***
الهواء *Air*	1.0
ثاني أوكسيد الكربون *Carbon dioxide*	1.0
كحول الإيثيل *Ethyl Alcohol*	1.36
الماء *Water*	1.33
سيليكا منصهرة *Fused silica*	1.46
الزجاج *Glass*	~ 1.5
السيليكون *Silicon*	3.5
الجرمانيوم *Germanium*	4

الجدول (2–1)

تنتشر الأشعة وفق مسار مستقيم ما لم تنكسر نتيجة تغير ما في الوسط. عند المستوى الفاصل بين وسطين ينعكس الشعاع بزاوية تساوي زاوية الورود كما في الشكل (2–1).



الشكل (2–1)

لاحظ أن الزوايا تقاس بالنسبة إلى العمود على المستوي الفاصل (أي الاتجاه المتعامد مع السطح)، وهذا هو الاصطلاح المتفق عليه في العمل البصري. من الشكل (2–1) يمكن أن نكتب $\theta_r = \theta_i$ حيث ϑ_r زاوية الورود وϑ_t زاوية الانعكاس.

عندما تجتاز أي قدرة حداً فاصلاً يعطى اتجاه الشعاع النافذ بقانون *Snells* كما يلي:

$$\frac{\sin\theta_t}{\sin\theta_i} = \frac{n_1}{n_2} \qquad \textbf{(2-2)}$$

حيث ϑ_t هي زاوية النفاذ وn_1, n_2 هما دليلا الانكسار لمنطقتي الورود والنفاذ على التوالي.

يعتمد في الليف الضوئي الزجاج مادة أساسية للقلب، وتكون قرينة الانكسار في القلب هي n_1، بينما في الغلاف يصنع من الزجاج المضاف إليه بعض الشوائب وبقرينة انكسار n_2.

مثال 2 – 1

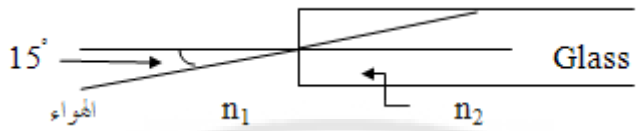
يعبر شعاع ضوئي من الهواء $n_1=1$ إلى الزجاج $n_2=1.5$ أوجد زوايا النفاذ عندما يكون الشعاع الوارد عمودياً على السطح الفاصل وعندما $\vartheta_i=15^o$.

الحل:

عندما تكون زاوية الورود صفراً يكون عندئذ $\sin\vartheta_i=0$ وبحسب قانون *Snell* ينتج $\sin\vartheta_i=0$ وأخيراً $\vartheta_t=0$ فلا ينحرف الشعاع وعندما تكون $\vartheta_i=15^o$ يكون:

$$\sin\theta_t = (1/1.5)\sin 15 = 0.17 \Rightarrow \theta_t = 9.94^o$$

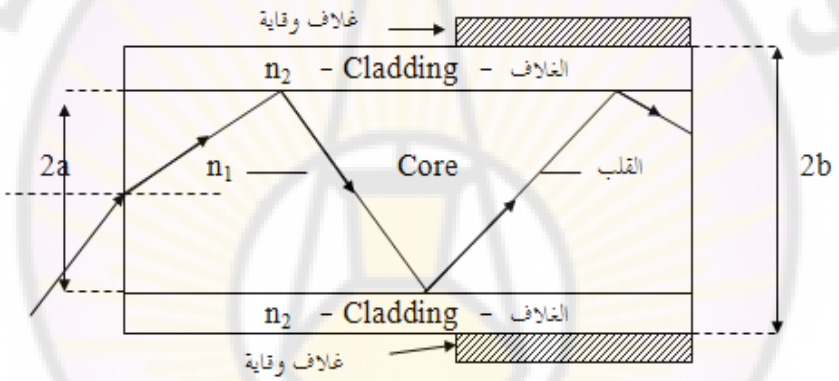
وكما هو متوقع يتجه الشعاع نحو العمود كما هو موضح بالشكل (2–2)



الشكل (2–2)

2 – 2 البنية النموذجية لليف البصري

يتكون الليف البصري من مادتين أساسيتين هما مادة القلب ومادة الغلاف، ويحيط بهما غلاف وقاية (حماية) *Protective Jacket* الشكل (2–3).



الشكل (2–3)

1- **القلب أو النواة** *(core)*: وهو القسم الذي ينتشر خلاله الضوء المرسل، ويصنع عادة من مادة عازلة شفافة (زجاج أو بلاستيك) ذات معامل انكسار n_1، ويرمز لقطر القلب بـ $2a$.

2- **الغلاف** *(cladding)*: وهو الوسط المحيط بالقلب، ويصنع من مادة عازلة شفافة كالزجاج أو البلاستك، ولها معامل انكسار n_2، ويرمز لقطر الغلاف بـ $2b$.

الشرط اللازم والكافي لكي تنتشر الأمواج الضوئية في مادة القلب من المرسل وإلى المستقبل هو أن يتحقق الشرط التالي:

$$n_1 > n_2 \qquad \textbf{(3-2)}$$

ولكي تنتشر الأمواج الداخلة إلى قلب الليف مباشرة يجب أن تكون ذات زاوية ورود أقل أو تساوي الزاوية الحرجة ϑ_c.

يتراوح قطر القلب بين *(5 – 150[μm])* أما قطر الغلاف فيتراوح بين *(100 – 300[μm])* وذلك حسب النوع الليف الزجاجي.

3- **غلاف الوقاية (الحماية):** وظيفته حماية القلب من الاهتزازات الميكانيكية وإعطاء الليف قوة ميكانيكية إضافية على سبيل المثال حددت اللجنة الدولية *CCITT* عام 0891 هذه الأبعاد لأحد أنواع الألياف الزجاجية:

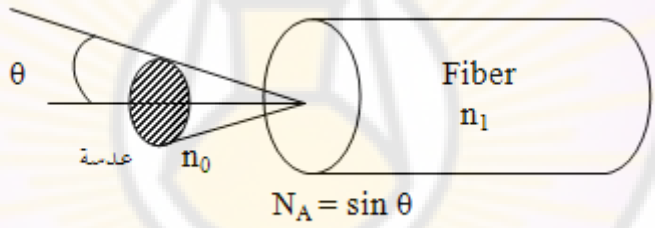
$$2a = 50[\mu m] \pm (6\%)$$
$$2b = 125[\mu m] \pm (2.4\%)$$

2 – 3 فتحة النفوذ العددية *Numerical Aperture*

يتمتع النظام البصري بميزة مهمة وهي قابليته لتجميع الضوء الوارد ضمن مدى كبير من الزوايا.

تتحدد فتحة النفوذ العددية (الفتحة العددية) كما يلي: $N_A = n_0 \sin\theta$.

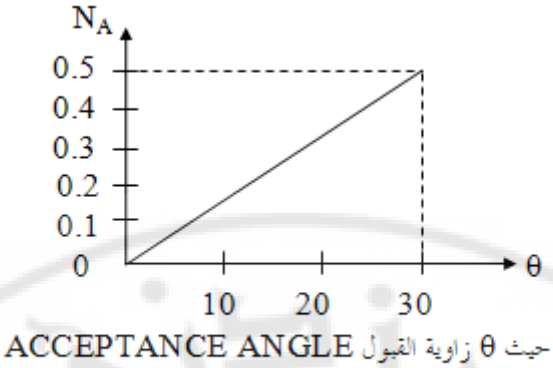
حيث n_0 هو دليل الانكسار للمادة بين العدسة والليف الضوئي،وϑ هي زاوية القبول العظمى.



الشكل (2–4)

إن الأشعة الضوئية التي ترد بزوايا تقع خارج هذا المخروط لن تنتشر في الليف بل ستتخامد بسرعة. تقاس الفتحة العددية عادةً بوجود الهواء أمام الليف فتكون n_0=1 وتكون $N_A = \sin\theta$.

يظهر الشكل (2–5) رسماً بيانياً لهذه المعادلة:



الشكل (2–5)

تشير قيمة صغيرة من N_A إلى زاوية قبول صغيرة وبسبب هذا يكون الاقتران مع ليف ضوئي ذي N_A منخفضة أكثر صعوبة (يكون التراصف الميكانيكي أكثر حساسية) وأقل كفاءة (تكون بعض الأشعة خارج زاوية القبول) من الاقتران مع ليف ضوئي ذي N_A عالية. يمكن أن تستعمل العدسات لتخفيض امتداد الحزمة ولتحسين كفاءة الارتباط نتيجة لذلك.

إن الألياف الضوئية المخصصة للاتصالات للمسافات الطويلة تكون قيمة الفتحة العددية عادة تمتد من *0.1* إلى *0.3*. أما الألياف من أجل المسافات الأقصر تكون قيم الفتحة العددية أعلى بقليل (قيمة نموذجية من *0.4* إلى *0.5*).

يبين الجدول (2–2) قيم الفتحة العددية لبعض أنواع الألياف الضوئية (متعددة الأنموذج) *Multi Mode* والمصنعة من الزجاج أو البلاستيك.

Construction	n_1	n_2	N_A	Θ
All-Glass	1.48	1.46	0.24	13.9°
PCS	1.46	1.4	0.41	24.2°
All-Plastic	1.49	1.41	0.48	29°

الجدول (2–2)

تُعرَّفْ الفتحة العددية بأنها مقدرة الليف على استيعاب معظم الحزمة الضوئية الواردة من المنبع الضوئي. وتعد الفتحة العددية من المواصفات الأساسية المهمة للألياف البصرية وذلك لأنها تربط بين المنبع الضوئي والليف البصري بالعلاقة:

$$N_A = \sin\theta_{in(\max)} = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} \qquad \textbf{(4-2)}$$

$$\sin^{-1} N_A = \theta_{in(\max)}$$

حيث $\theta_{in(\max)}$: هي أكبر زاوية يصنعها الشعاع مع محور القلب بحيث ينتشر الضوء خلاله نتيجة الانعكاسات الداخلية. ونجد أن الأشعة التي تدخل إلى الليف بزوايا أكبر من $\theta_{in(\max)}$ سوف تتابع طريقها إلى الغلاف وتضيع فيه. وتسمى كما سبق $\theta_{in(\max)}$ زاوية القبول ***ACCEPTANCE ANGLE*** أو نصف زاوية مخروط القبول ***ACCEPTANCE CONE***.

لذلك يمكن أن نصنف وفقاً لذلك الأمواج الصادرة عن المنابع الضوئية إلى ثلاثة أنواع رئيسية من الأمواج:

1- **الأمواج المفيدة:** وهي أمواج تنتشر في قلب الليف الضوئي وهي الأمواج الحاملة للمعلومات.
2- **أمواج الغلاف:** وهي الأشعة التي تنتشر في غلاف الليف الزجاجي وذلك لأنها ترد خارج مخروط القبول، وتعدّ بمنزلة الخسارات.
3- **الأمواج الهاربة:** وهي الأمواج التي تنتشر في الوسط المحيط بالليف الزجاجي أيضاً ولا تحقق $\theta_{in(\max)}$ (زاوية القبول)، وتعدّ أيضاً بمنزلة الخسارات.

ملاحظة:

لكي يتم توجيه كامل الأشعة في قلب الليف الزجاجي يجب أن تكون زاوية الانكسار θ مساوية للزاوية الحرجة أو أكبر منها بقليل وتعطى الزاوية الحرجة لليف عندئذ بالعلاقة:

$$\sin \theta_c = n_2 / n_1 \qquad \textbf{(5-2)}$$

ويطلق على هذه الانعكاسات التي تحققها المعادلة السابقة بانعكاسات الزاوية الحرجة أو ***Critical – Angle Reflection***. يبين الجدول (2-3) مقدار الزاوية الحرجة لبعض الأنواع من الألياف.

حد الفصل	n_1	n_2	ϑ_c
Glass – air	1.5	1	41.8°
Plastic – Plastic	1.49	1.39	68.9°
Glass - Plastic	1.46	1.4	73.5°
Glass - Glass	1.48	1.46	80.6°

الجدول (2-3)

2 – 4 أدلة انكسار الضوء في الليف البصري (معاملات انكسار الضوء)

لكي تنتشر جميع الأشعة الواردة من المنبع الضوئي إلى قلب الليف الزجاجي بشكل أعظمي يجب أن تتحقق علاقة مهمة وهي $n_2 < n_1$ أي أن معامل انكسار الضوء في القلب أكبر قليلاً من معامل انكسار الضوء في الغلاف. يتحقق ذلك بإضافة بعض الشوائب إلى مادة الزجاج التي يصنع منها الغلاف أثناء المعالجة التكنولوجية. بحيث نحصل في النهاية على ليف زجاجي له معاملان للانكسار: واحد للقلب n_1 والآخر للغلاف n_2.

واستناداً إلى قيم n_1 وn_2 يمكن أن نعرف حاصل الفرق النسبي لمعاملات الانكسار بالعلاقة التالية:

$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2} \qquad \textbf{(6-2)}$$

وبإجراء التقريب المناسب نحصل على:

$$\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \qquad \textbf{(7-2)}$$

وتعطى Δ أحيانا بالنسبة المئوية أي:

$$\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \times 100\%$$

إن قيمة Δ دائماً وأبداً هي قيمة نسبية أصغر من الواحد، وذلك لأن $n_1 > n_2$ دائماً. استناداً إلى قيم n_1-n_2 وشكل تغيرها يمكن أن نصنف الألياف الضوئية وفقاً لذلك إلى:

1- ألياف زجاجية ذات دليل درجي *Step – Index*.
2- ألياف زجاجية ذات دليل انكسار متدرج *Graded – Index*.

2 – 5 التخامد *Attunation*

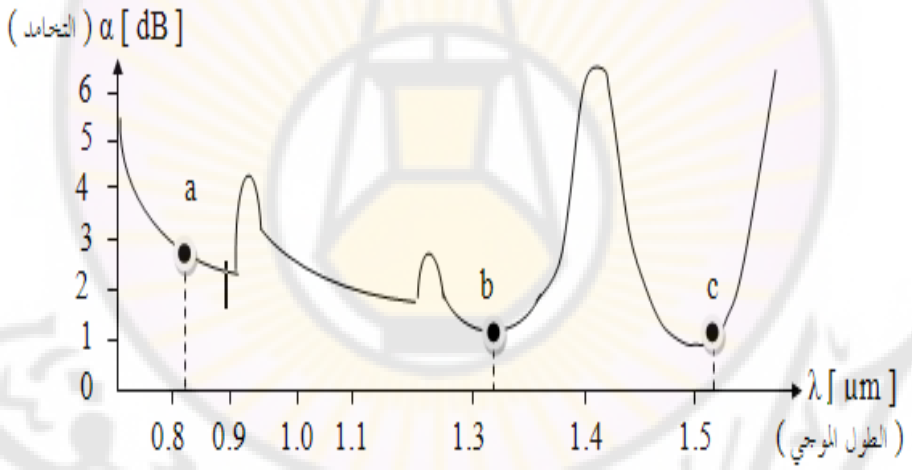
إن تخامد الإشارة الضوئية (الطاقة الضوئية) المنتشرة في الليف الزجاجي هو عامل مهم في تصميم أي نظام اتصالات. إذ تتطلب جميع المستقبلات أن تكون قدرة الدخل فيها فوق سوية دنيا .ويعدّ الديسبل *(dB)* مقياساً مناسباً لسويات القدرة النسبية في الاتصالات الضوئية. إذا كانت القدرة عند نقطة ما في نظام تساوي P_1 وات وعند نقطة أخرى أبعد في الوصلة كانت P_2 وات.تمثل عندئذ النسبة P_2/P_1 جزءاً من القدرة المرسلة بين النقطتين، وبكلمات أخرى P_2/P_1 تحدد كفاءة الإرسال بين نقطتين كما مر معنا سابقاً.

ويعبر عن هذه النسبة بالديسبل ويعطى معامل التخامد بالعلاقة:

$$\alpha = 10\log_{10}\frac{P_2}{P_1}[dB] \qquad \textbf{(8-2)}$$

بما أن $P_1 > P_2$ دائماً في خطوط النقل عندئذ تكون نتيجة α سلبية، وهذه هي الحالة التي يكون فيها للنظام فيها خسارات (مفاقيد) في الطاقة. نحتاج أن نعدّ أنفسنا معنيين فقط بخسارات الليف في مجال من أطوال موجة من حوالي *0.8[µm]* إلى *1.6[µm]*. وهذا هو المدى الذي تكون ضمنه الاتصالات الليفية أكثر عملية. تعود أسباب هذا إلى إمكانية بناء ألياف ضعيفة الخسارة ومنابع وكواشف ضوئية فعالة في هذا المدى. كما ذكر سابقاً تصنع الألياف من المواد البلاستيكية والزجاجية. تتضمن متطلبات المادة الخسارة الضعيفة وإمكانية تشكيلها إلى ألياف شعرية طويلة.إضافة إلى ذلك يجب أن تكون المادة قابلة لتغيرات طفيفة بحيث يمكن الحصول على دليلي انكسار واحد للنواة وآخر للكساء. فيما يخص الليف ذو دليل الانكسار المتدرج يجب أن يكون التغير المتواصل في دليل الانكسار ممكناً. يمكن أن تصنع الألياف ذات الدليل الدرجي من البلاستيك أو الزجاج، وتكون الألياف ذات الدليل المتدرج عادة من الزجاج. تملك الألياف الزجاجية عموماً أقل من الألياف البلاستيكية لذلك تفضل من أجل الاتصالات للمسافات الطويلة.

يبين الشكل (2–6) منحني التخامد للألياف الضوئية استناداً إلى الطول الموجي:



الشكل (2–6)

بالرجوع إلى الشكل المبين أعلاه نجد أن معامل التخامد α يبلغ قيمة دنيا في ثلاث مناطق *(a, b, c)* لذلك يتم استخدام إحدى المناطق الثلاث في تصميم أي نظام اتصالات ضوئي لذلك يطلق عليها بمناطق الإرسال الثلاث في الاتصالات البصرية.

2 – 6 النماذج في الألياف البصرية *Modes In Fiber*

تعدّ الألياف البصرية وسط انتشار الأمواج الكهرومغناطيسية وأن الأمواج الكهرومغناطيسية مؤلفة من نماذج (أنماط) مختلفة مثل *TE, TM, EH* ...الخ.

إن المحدد المهم والأساسي للألياف الزجاجية يسمى تردد المقياس المعياري ويعطى بالعلاقة:

$$V = \frac{2\pi.a}{\lambda} N_A \qquad \textbf{(9-2)}$$

أو بالصيغة:

$$V = \frac{2\pi.a}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

علماً أنه: a –نصف قطر قلب الليف الزجاجي.

λ – طول موجة الضوء في وسط الانتشار.

N_A– الفتحة العددية.

T_M, T_E – النموذج الكهربائي والمغناطيسي العرضي على التوالي.

H_E, E_H – نماذج هجينة يحتوي كل منها مركبات الحقلين الكهربائي والمغناطيسي، وتسلك منحى محور الليف.وعندما تكون $V > 10$ يُقَرَّب عدد الأساليب (النماذج) المتضمنة لجميع الاستطاعات بالعلاقة التالية:

$$N = V^2 / 2 \qquad \textbf{(10-2)}$$

مثال 2 – 2

احسب عدد الأساليب لليف ذي قطر نواة $50[\mu m]$ افترض أن $n_1=1.48$ وأن $n_2=1.46$ وعند الطول الموجي $\lambda=0.82[\mu m]$.

الحل:

يعطى تردد المقيس المعياري بالعلاقة التالية بالنسبة للألياف *SI*:

$$V = \frac{2\pi.a}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

بالتعويض نجد أن:

$$V = \frac{2\pi(25)}{0.82} \sqrt{1.48^2 - 1.46^2}$$

أما عدد النماذج فيحسب وفقاً للعلاقة:

$$N = 0.5V^2$$
$$N = 0.5 \times 46.45^2 = 1078$$

يبدو واضحاً من هذا المثال بأنه حتى الليف الصغير نسبياً يمكن أن يتحمل عدداً كبيراً من الأساليب (النماذج).

وحيث إن التردد المقيس المعياري يتناسب مع الفرق بين دليلي الانكسار لكل من النواة والكساء، فإن المحافظة على هذا الفرق صغيراً يقلل عدد أساليب الانتشار.

يمكن تصنيف الألياف الضوئية من حيث عدد النماذج وفقاً لقيمة التردد المقيس المعياري كما سنرى لاحقاً إلى:

1- ألياف ضوئية متعددة الأنموذج *Multi Mode*.
2- ألياف ضوئية وحيدة الأنموذج *Single Mode*.

2 – 7 تصنيف الألياف البصرية

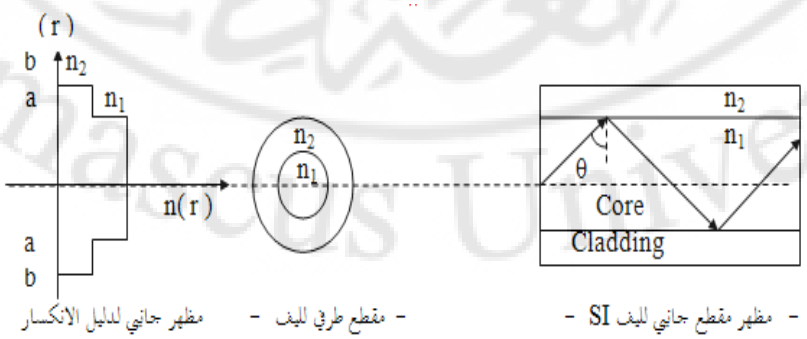
يوجد العديد من التصنيفات للألياف وذلك وفقاً للمعاملات التالية:

1- وفقاً لشكل دليل الانكسار في الليف الضوئي.
2- وفقاً لعدد النماذج المنتشرة في قلب الليف الضوئي.
3- وفقاً لقيمة الفقد أو الضياع في واحدة الطول لليف الضوئي.

توجد تصنيفات أقل أهمية، وذلك على سبيل المثال قيمة الفتحة العددية، معدل المعلومات، مسافة النقل، نوع التطبيق.

2 – 7 – 1 الليف ذو الدليل الدرجي *Step-Index Fiber (SI)*

يتألف هذا الليف من قلب مركزي ذات دليل انكسار n_1 يحيط به غلاف ذات دليل انكسار n_2 كما هو مبين في الشكل (2–7).



الشكل (2–7)

يتطلب التوجيه الكامل للأشعة في قلب الليف *SI*، وحتى يتحقق ذلك يجب أن تكون زاوية الانكسار ϑ مساوية للزاوية الحرجة ϑ_c وتعطى الزاوية الحرجة لليف بالعلاقة التالية:

$$\sin \theta_c = n_2 / n_1$$

أيضاً يعطى تغير دليل الانكسار الجزئي Δ (النسبي) الذي هو محددة ليفية مهمة بالعلاقة:

$$\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

تبلغ قيمة Δ النموذجية للألياف من نوع *SI* بحدود 0.01.

إن للألياف ذات الدليل الدرجي ثلاثة أشكال شائعة: نواة زجاجية مكسوة بزجاج ذي دليل انكسار أصغر بقليل، ونواة من زجاج سيليكا مكسوة ببلاستيك، ونواة بلاستيكية مكسوة ببلاستيك آخر.

عموماً فإن درجة دليل الانكسار تكون أصغر للألياف التي تتكون كلياً من الزجاج، وتكون أكبر بقليل للألياف المكونة من السيليكا والمكسوة بالبلاستيك *(PCS)*، وتكون أكبر من أجل البنى المكونة كلياً من البلاستيك.

يعود هذا المدى المحدود من أدلة الانكسار المتوافرة لأنواع الزجاج، وإلى المدى الأعلى بقليل لأنواع البلاستيك.

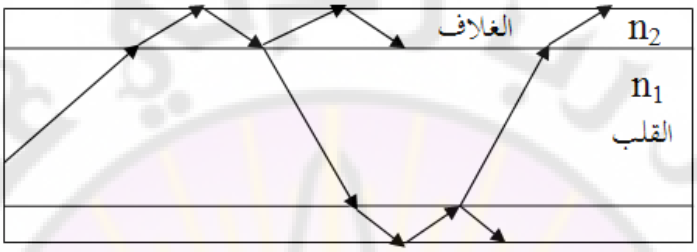
إن خسارة التخامد للألياف المكونة كلياً من الزجاج هي على العموم أقل من الخسارة في الألياف *(PCS)* أو في الألياف المكونة كلياً من البلاستيك. تتوفر ألياف مكونة كلياً من الزجاج ذات خسارات تبلغ بحدود بضعة *dB/km*، أو أقل وتبلغ خسارات ألياف *(PCS)* بحدود *8[dB/km]*، وتصل خسارات الألياف المكونة كلياً من البلاستيك الى بضعة مئات من الـ *dB/km*.

إن الألياف المكونة كلياً من الزجاج أقل خسارة وأصغر انبساط نبضة ظاهري. بسبب هذه الخصائص تفيد هذه الألياف من أجل معدلات عالية نوعاً ما من المعلومات أو من أجل مسافات طويلة إلى حد ما. إن قيمة N_A المنخفضة لليف *SI* زجاجي تنتج خسارات كبيرة عند الاقتران مع المنبع الضوئي وتعوض خسارة الإرسال المنخفضة هذه المشكلة جزئياً. إن الأقطار النموذجية للنوى تبلغ *((50[μm], 100[μm], 200[μm])*. تستخدم ألياف *(PCS)* ذات الخسارة الأكبر لوصلات أقصر. تؤدي فتحات نفوذها العددية الأكبر إلى زيادة كفاءة الاقتران بالمنبع، إلا أن هذه الميزة تؤدي إلى فقد في الليف الطويل بسبب الامتصاص المتزايد.

تستعمل ألياف *(PCS)* عندما تكون أطوال المسارات أقل من بضعة مئات من الأمتار وأن أقطار النوى من فئة *200[μm]* تكون نموذجية لهذه الألياف. يُحسِّن قطر النواة الكبير كفاءة الاقتران بالمنبع.

تستعمل الألياف المكونة كلياً من البلاستيك للمسافات القصيرة جداً فقط وذلك بسبب خسارات الانتشار العالية فيها. وتكون أطوال مساراتها عادة أقل من بضعة عشرات من الأمتار. إن أقطار نوى بمرتبة *1[mm]* تكون نموذجية.

إن نظرة إلى البنية ذات الدليل الدرجي تشير إلى أنه يمكن أيضاً التقاط الضوء بالانعكاس الداخلي الكلي عند حد الفصل الخارجي للغلاف. إذا كانت المادة التي تحيط بالغلاف ذات دليل انكسار أصغر من دليل انكسار الغلاف نفسه. يبين الشكل (2–8) مسارات الشعاع الممكنة. تكون زاوية الشعاع عند السطح البيني للقلب أقل من الزاوية الحرجة وهكذا يتم إرسال بعض الضوء إلى الغلاف. يصطدم هذا الضوء بالسطح الخارجي للغلاف بزاوية أكبر من الزاوية الحرجة لذلك الحد الفاصل، وينعكس كلياً عائداً نحو محور الليف الضوئي. إن الضوء الذي يمثله هذا الشعاع لن يغادر الليف أبداً وسيوجه بوساطة هذا الليف.



الشكل (2–8)

مثال 2 – 3

لدينا ليف زجاجي محاط بالهواء له المواصفات المبينة في الجدول (2–2). احسب الزاوية الحرجة عند الحد الفاصل بين القلب والغلاف الهوائي.

الحل:

باستعمال معادلة الزاوية الحرجة مرة ثانية نجد أن:

$$\theta_c = \sin^{-1}(1/1.46) = 43^o$$

بجب أن يقارن هذا بأسلوب النواة حيث:

$$\theta_c = \sin^{-1}(1.46/1.48) = 80.6^o$$

مع العلم أن θ_c هي زاوية الشعاع اعتباراً من العمود على حد الفصل، ويمكن أن نرى كيف تنتشر أشعة الغلاف بميل أكبر من أشعة القلب بالنسبة لمحور الليف.

2 – 7 – 2 الليف ذو الدليل المتدرج *Graded–Index Fiber (GRIN)*

يملك الليف ذو الدليل المتدرج *(GRIN)* مادة قلب ذات دليل انكسار يتغير تبعاً للبعد عن محور الليف.

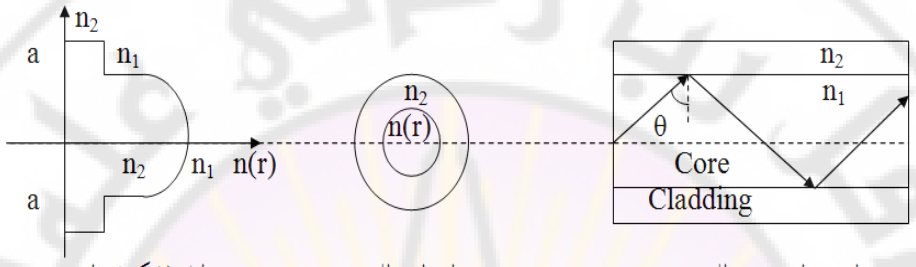
تعرف *(GRIN)* بأنها الألياف التي تصل فيها الأشعة الضوئية ذات المسارات المختلفة في اللحظة نفسها دون أي تأخير زمني.

يوصف تغير دليل الانكسار بما يلي:

$$n(r) = n_1\sqrt{1-2(r/a)^g\Delta} : r \le a \qquad \textbf{(11-2)}$$

$$n(r) = n_1\sqrt{1-2\Delta} = n_1 : r > a \qquad \textbf{(12-2)}$$

إن هذه البنية *GRIN* تختلف تماماً عن بنية *SI* كما هو مبين بالشكل (2-9):



- دليل الانكسار المتدرج - مقطع طرفي لليف - مظهر مقطع عرضي لليف -

الشكل (2-9)

حيث : n_1 دليل الانكسار على طول الليف.

n_2 دليل الانكسار للغلاف.

a نصف قطر القلب.

g ثابت الشكل الذي تغير المظهر الجانبي لدليل الانكسار.

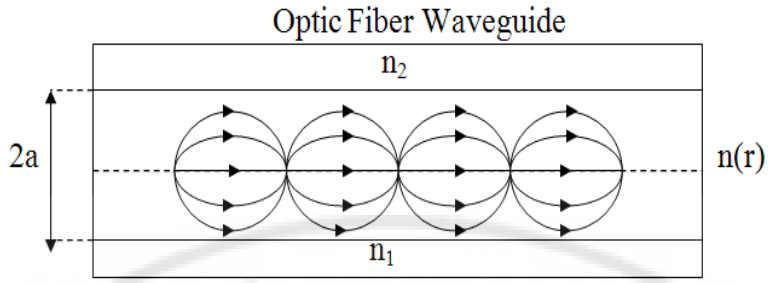
Δ حاصل الفرق النسبي لأدلة الانكسار وتعطى بـ:

$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2}$$

ومن أجل الحالة العادية حيث n_1 أكبر من n_2 نحصل على النتيجة التقريبية التالية كما مرت معنا سابقاً:

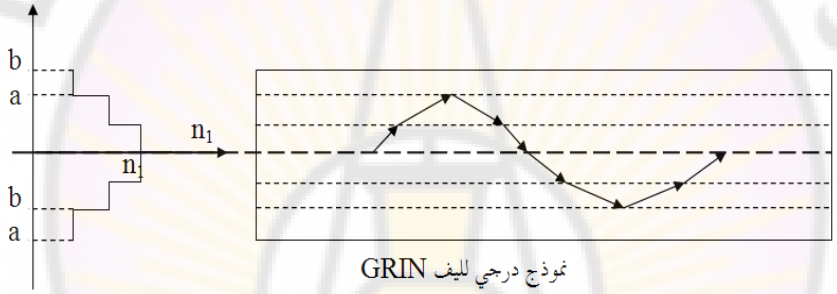
$$\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

تنتشر الأشعة الضوئية في الليف بطريقة التذبذب المبينة في الشكل (2-01).



الشكل(2-01)

يسبب دليل الانكسار المتغير أن تتوجه الأشعة من جديد وباستمرار نحو محور الليف، وتؤدي التغيرات الخاصة في المعادلتين (2-11)، (2-21) إلى إعادة توجيه الأشعة دورياً، ويمكننا أن نوضح هذا التمثيل الجديد بتمثيل التغير المتواصل في دليل الانكسار بسلسلة من التغيرات الدرجية الصغيرة كما يوضح الشكل (2-11):

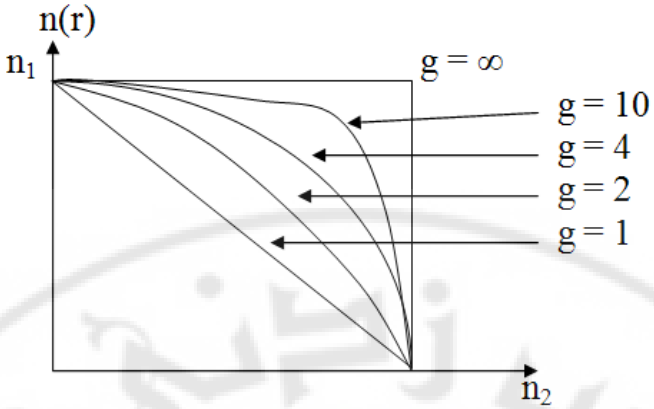


الشكل (2-11)

يمكن أن نصنع هذا النموذج بالدقة التي نرغبها وذلك بزيادة عدد الدرجات.

إن العديد من ألياف *GRIN* تشبه هذا النموذج الدرجي، وذلك لأن نواها قد صنعت على شكل طبقات.

يتبع انحناء الأشعة عند كل درجة صغيرة قانون *Snells* يأخذ ثابت الشكل g قيماً مختلفة، وذلك ضمن المجال $[1, \infty]$ وذلك كما هو مبين بالشكل (2-21).



الشكل (2–21)

عندما تكون $g = 2$ في المعادلة (2–11) يصبح دليل انكسار القلب ما يلي:

$$n(r) = n_1\sqrt{1-2(r/a)^2\Delta}$$

من أجل $\Delta << 1$ كما هو الحال عادة يمثل هذا التغير عادة على نحو ملائم بما يلي:

من أجل $r \le a$:

$$n(r) = n1[1-2(r/a)^2.\Delta]$$

ومن أجل $r > a$ تكون:

$$n_2 = n1(1-\Delta)$$

يدعى توزع دليل الانكسار هذا المظهر الجانبي ذي القطع المكافئ، وتكون فتحة النفوذ العددية من أجل المظهر الجانبي ذي القطع المكافئ كما يلي:

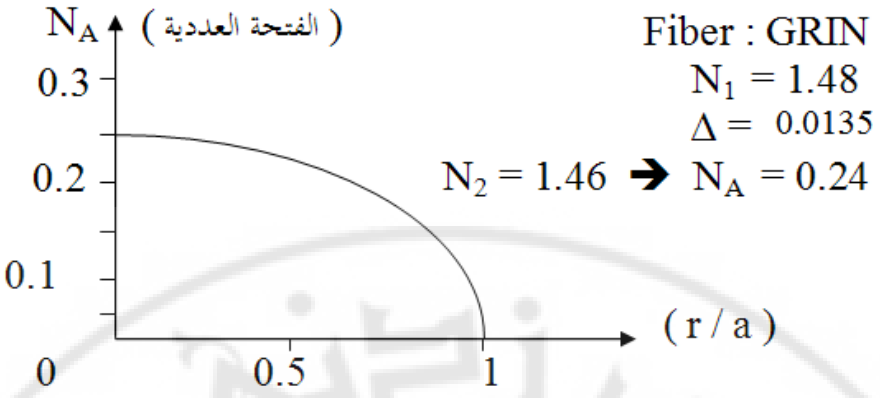
$$N_A = n_1.(2\Delta)^{1/2}\sqrt{1-(r/a)^2}$$

من أجل $n_1 = 1.48$ و$\Delta = 0.0135$ تعطي هذه النتائج القيم التالية $n_2 = 1.46$ و $N_A = 0.24$ في المحور. وهي القيم ذاتها من أجل الليف ذي الدليل الدرجي.

إن قيمة N_A المحورية لليف ذي قطع مكافئ هي $N_A = n_1\sqrt{2\Delta}$.

تكون فتحة النفوذ العددية لـ *SI*: $N_A = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$ عندما $g = \infty$ فينتج أن $n(r) = n_1$ ضمن القلب ويبقى دليل الانكسار عند n_2 في الغلاف. وهذا هو ليف من نوع *Step – Index*.

يبين الشكل (2–31) تغير N_A مع النسبة r/a ذي دليل انكسار قطع مكافئ n_1=1.48 وΔ= 0.0135.



الشكل (2–31)

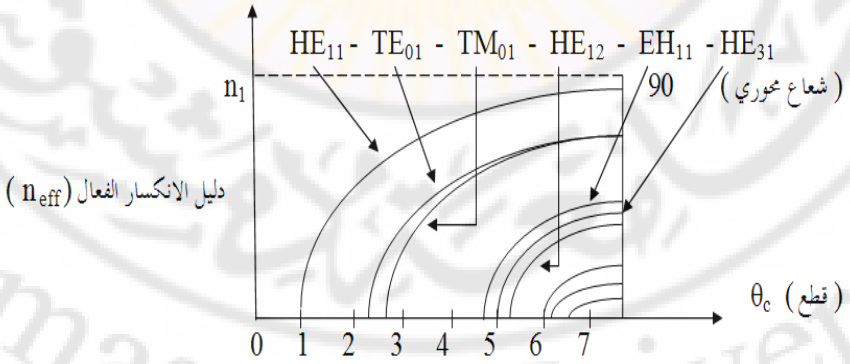
2 – 7 – 3 النماذج في الألياف ذات الدليل الدرجي *Modes In Step–Index Fibers*

يتم تحديد عدد النماذج المنتشرة في قلب الليف الزجاجي من نوع *SI* استناداً إلى *V*، وهو التردد المقيس المعياري والذي يعطى بالعلاقة التالية:

$$V = \frac{2\pi.a}{\lambda}\sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

حيث a هو نصف قطر القلب وλ طول موجة الضوء.

باستعمال *V* يمكن رسم مخطط واحد يطبق على مجموعة من القيم $(\lambda,\ a,\ n_1,\ n_2)$ بدلالة دليل الانكسار الفعال n_{eff} كما في الشكل (2–41):



الشكل (2–41)

يبين المخطط وجود عدة نماذج *(Modes)*.

إن الأساليب (النماذج) T_E, T_M هي أساليب مغناطيسية عرضية وكهربائية عرضية.

إن الأساليب H_E, E_H هي أساليب هجينة يحتوي كل منها على مركبات الحقلين الكهربائي والمغناطيسي وتسلك منحى محور الليف.

عند قيمة ثابتة من V يمكن أن تنتشر عدة أساليب، ولكل واحد منها دليل انكسار مختلف ويؤدي هذا الشرط إلى التشوه الظاهري.

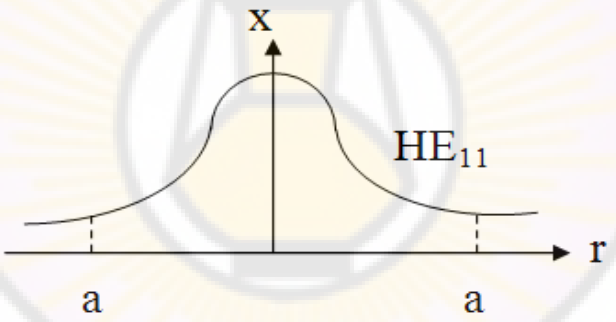
وكما هو الحال في الدليل الموجي الطبقي تقطع *(Cut-off)* الأساليب عندما تنتشر أشعتها عند الزاوية الحرجة.إن الأشعة البعيدة عن القطع تنتشر تقريبا مباشرة في الليف و بقرب 90°.

وعند قسم كبيرة من V ستنتشر عدة أساليب أخرى. تطابق قيمة كبيرة من V نصف قطر نواة كبير نسبياً.

وعندما تكون $V > 10$ يقرَّب عدد الأساليب (المتضمنة لجميع الاستقطابات) كما مر معنا سابقاً بالعلاقة التالية:

$$N = 0.5V^2$$

إن الأسلوب ذا المرتبة الأدنى لليف *SI* هو الأسلوب H_{E11}، وإن نمط حقله العرضي ذو شكل غاوسي تقريباً. وإن النمط متناظر دائرياً كما في الشكل (2-51):



النمط $H_{E_{11}}$ ذي المرتبة الأدنى في ليف من نوع SI

الشكل (2-51)

وكما في دليل الموجة الطبقي يوجد حقل سريع الزوال مضمحل خارج النواة ولجميع الأساليب. وكلما كان الأسلوب أقرب إلى القطع كان اختراق الموجة في الغلاف أعمق. بعيداً عن حالة القطع تملا موجة منتشر بكاملها تقريباً في النواة. يسمى الليف الزجاجي وحيد الأنموذج (الأسلوب) إذا قطعت جميع الأساليب ما عدا الأسلوب H_{E11}.

يحدث هذا اذا كانت $V < 2.405$ أي وفقاً للعلاقة التالية:

$$\frac{a}{\lambda} < \frac{2.405}{2\pi\sqrt{n_1^2 - n_2^2}} = \frac{2.405}{2\pi.N_A} \qquad \textbf{(13-2)}$$

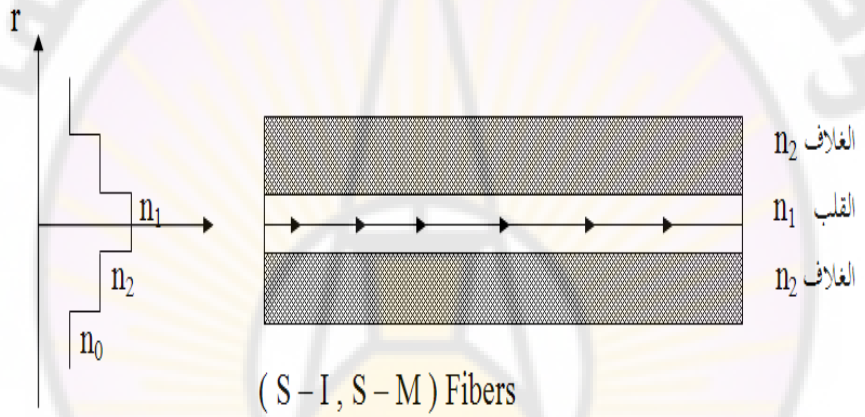
كشرط للانتشار وحيد الأنموذج *Single – Mode*.

مثال 2 – 4

ما أنصاف الأقطار العظمى المسموح لها لليف مكون كلياً من الزجاج إذا كان للدليل الموجي أن يتحمل أسلوبا وحيداً *0.82[μm]* وأن *n_1*= 1.48 و*n_2*=1.46.

الحل:

وفقاً للمعادلة (2–31) نجد أن *a* = 1.3*[μm]*. ونستنتج أن الألياف وحيدة الأسلوب ستكون صغيرة جداً، وبجعل *n_2* أقرب إلى *n_1* وبالعمل عند أطوال موجية أطول يمكن عندها أن يزداد قطر القلب. إن الألياف وحيدة الأنموذج *Single - Mode* العملية ذات أقطار قلب تتراوح بين *4[μm]* و*12[μm]*. يبين الشكل (2–61) هذا النوع من الألياف والذي يسمى *Step Index – Single Mode*.



الشكل (2–61)

إن قطر الغلاف لهذا النوع من الألياف يكون عملياً بحدود *125[μm]*.

مثال 2 – 5

المطلوب تحديد طول موجة القطع لليف بصري قطره *5[μm]* مع العلم أن معامل الانكسار للقلب هو *n_1=1.5* و*n_2=1.48*.

الحل:

لدينا:

$$\lambda_c = \frac{2\pi.a}{2.405} N_A$$

$$N_A = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \sqrt{1.50^2 - 1.48^2} = 0.224$$

$$\lambda_c = \frac{2\pi \times 2.5}{2.405} \times 0.224 = 1.59[\mu m]$$

وهذا الطول الموجي يقع تقريباً في منطقة الإرسال الثالثة.

2 – 7 – 4 النماذج في الألياف البصرية ذات الدليل المتدرج *(GRIN)*

يوصف الليف الضوئي ذو الدليل المتدرج بالعلاقة (2–11) وعندما $g = 2$ أي أن المظهر الجانبي ذو قطع مكافئ.

يعطى دليل الانكسار الفعال للأسلوب (الأنموذج) الموصوف بالأعداد الصحيحة p و q بالعلاقة:

$$n_{eff} = \frac{\beta.p.q}{K_0} = n_1 - (p+q+1)\frac{\sqrt{2\Delta}}{K_0 a} \qquad \textbf{(14-2)}$$

حيث : β عامل الانتشار الطولي

K_0 عامل الانتشار في الفراغ الحر .

في النموذج الأدنى يكون $p = q = 0$ تتزايد الأعداد الصحيحة p, q بشكل منفصل لكل أسلوب جديد.

بدلالة التردد المقيس المعياري يقرَّب العدد الكلي للأساليب في ليف *(GRIN)* متعدد الأساليب $N=V^2/4$ من أجل قيم كبيرة من V، وهذا هو نصف عدد النماذج في الليف *SI*.

على سبيل المثال من أجل نواة (قلب) $2a = 50[\mu m]$ و $n_1 = 1.48$ و $n_2 = 1.46$ سيكون عدد النماذج 539 عند $0.82[\mu m]$ وسيكون للأسلوب ذي المرتبة الأدنى حقل كهربائي يعطى بالعلاقة التالية:

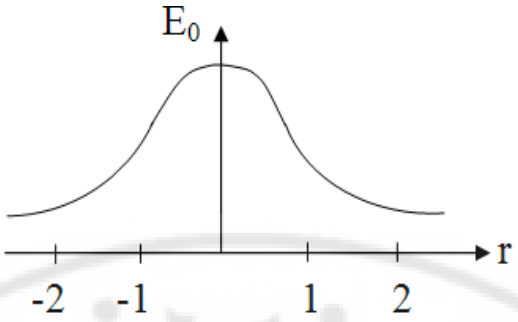
$$E_{00} = E_0.e^{-\alpha^2 r^2/2} \sin(wt - \beta_{00}.Z) \qquad \textbf{(15-2)}$$

حيث:

$$\alpha = (K_0.n_1/\beta)^{1/2}(2\Delta)^{1/4}$$

و $r^2 = x^2 + y^2$

إن النمط المرسوم في الشكل (2–71) متناظر دائرياً وذو شكل غاوصي



الشكل (2–71)

نلاحظ في هذا الشكل نمطاً عرضياً للنموذج ذي المرتبة الأدنى في ليف *GRIN* ذي مظهر جانبي على شكل قطع مكافئ.

إن جميع الأدلة الموجية العازلة لها أدلة انكسار فعالة مقيدة بالعلاقة التالية:

$$n_2 \le n_{eff} \le n_1$$

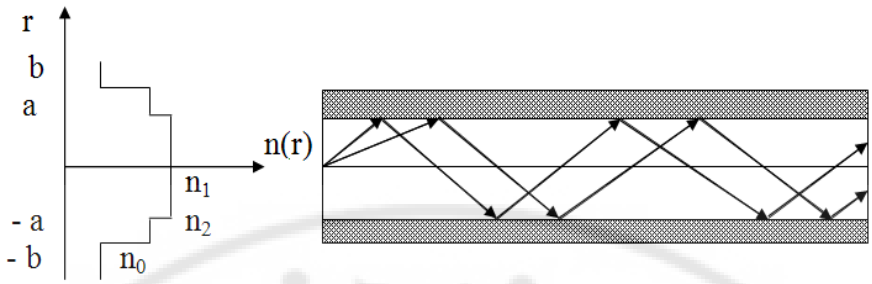
يحدث قطع أي نموذج عندما يساوي دليل انكساره n_2، ويمكن أن نحدد من هذه المعلومات العلاقة بين حجم القلب وطول الموجة وأدلة الانكسار عند القطع. وإذا فعلنا هذا للأنموذج *(0 , 1)* أي *(p = 1, q = 0)* فإننا نجد شرط الانتشار وحيد الأنموذج. نحقق هذا بأن نضع $n_{eff}=n_2$ و*p=1* و*q=0* في المعادلة (2–41) علماً بأن $K_0 = 2\pi/\lambda$. وبإجراء الحل من أجل القيمة a/λ ينتج شرط الاسلوب الوحيد وهو:

$$\frac{a}{\lambda} < \frac{1.4}{\pi\sqrt{n_1(n_1 - n_2)}} \qquad \textbf{(16-2)}$$

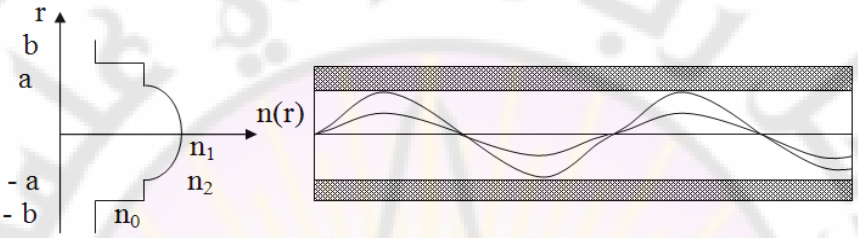
إن تحليلاً أكثر دقة يغير العامل 1.4 إلى العدد 1.2 ومرة ثانية إذا جعلنا n_1 قريبة إلى n_2 وبالعمل عند أطوال موجة أطول، سيسمح هذا بحجم قلب أكبر لأجل ليف وحيد الأنموذج.

بالمقارنة بين المعادلتين (2–31) و(2–61) نجد أن القيمة العظمى لـ a/λ من أجل انتشار وحيد الانموذج هي أكبر بـ 1.6 مرة لألياف قطع مكافئ مما هي عليه لألياف *SI*.

يبين الشكل (2–81) أليافاً ضوئية متعددة الأنموذج ذات شكل قرينة انكسار درجي وشكل قرينة انكسار متدرج.



– ليف ضوئي متعدد النماذج ذو قرينة انكسار درجي –



– ليف ضوئي متعدد النماذج ذو قرينة انكسار متدرج –

الشكل (2–81)

مثال 2 – 6

لدينا ليف زجاجي نوع *GRIN* ذو مظهر جانبي بشكل قطع مكافئ فيه $n_1=1.48$ و$n_2=1.46$ والمطلوب: احسب التغير الجزئي لدليل الانكسار، وأكبر حجم نواة من أجل انتشار وحيد الأنموذج، ومن ثم احسب قيمة n_{eff} للأسلوب المنتشر باستخدام حجم النواة المحسوب علماً بأن طول الموجة المستخدم يساوي $0.82[\mu m]$.

الحل:

$$\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1} = \frac{1.48 - 1.46}{1.48} = 0.0135$$

وبتطبيق المعادلة (2–61) نجد أن:

$$\frac{a}{\lambda} < \frac{1.4}{\pi\sqrt{n_1(n_1 - n_2)}} = 2.6$$

$$a = 2.6 \times \lambda = 2.6 \times 0.82 = 2.1[\mu m]$$

نضع $p = q = 0$ و $K_0 = 2\pi / \lambda$ في المعادلة (2–41) فنحصل على ما يلي من أجل النموذج $(0,0)$:

$$n_{eff} = n_1 - \frac{\sqrt{2\Delta}}{2\pi(a/\lambda)} = 1.47$$

استناداً إلى كل ما سبق يمكن أن نصنف الألياف الضوئية إلى العديد من الأنواع وذلك وفقاً لشكل عامل الانعكاس ووفقاً لعدد النماذج المنتشرة إلى ما يلي:

1- ليف ضوئي أحادي النموذج ذو شكل قرينة انكسار درجية *Single Mode Step-Index Fiber* أو *SM-SI*.

2- ليف ضوئي متعدد الأنموذج ذو شكل قرينة انكسار درجية *Multi Mode Step-Index Fiber* أو *MM-SI*.

3- ليف ضوئي متعدد الأنموذج ذو شكل قرينة انكسار متدرجة بشكل قطع مكافئ *Multi Mode Graded-Index Fiber* أو *MM-GI*.

4- ليف ضوئي وحيد الأنموذج ذو شكل قرينة انكسار متدرجة بشكل قطع مكافئ وهذا النوع قليل في التطبيقات نظراً إلى عدم وجود الحاجة إلى التدرج في شكل قرينة الانكسار *Single Mode Graded-Index Fiber* أو *SM-GI*.

2 – 7 – 5 التأخير الزمني في الألياف متعددة الأنموذج ذات شكل قرينة الانكسار الدرجي

تنتشر النماذج في الليف الضوئي نوع *(MM – SI)* بطرق متعددة كما في الشكل (2-81). واحد من هذه النماذج أو الأشعة ينتشر في قلب الليف الضوئي وفق محور الليف *l* وهو أقصر هذه الطرق، وبقية الأشعة تنعكس وتنكسر بزوايا مختلفة في القلب حيث تقع ضمن الزاوية الحرجة $\vartheta_{max} = \vartheta_c$ كما هو مبين سابقاً عند نهاية الليف الضوئي تصل هذه الأشعة بشكل متتابع بعد تأخير زمني يمكن حسابه وفقاً للعلاقة التالية:

$$t = \frac{L.n_1}{C.n_2}(n_1 - n_2) = \frac{L.n_1.\Delta}{C} \qquad \textbf{(17-2)}$$

حيث:

t مقدار التأخير الزمني.

C سرعة انتشار الضوء.

L طول الليف الضوئي.

Δ حامل الفرق النسبي لمعاملات انكسار الضوء حيث: $\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$.

بالنسبة إلى قيم معيارية عندما n_1= 1.5 وΔ=1% نحصل عندئذ على تأخير زمني بالنسبة إلى قيم معيارية عندما n_1= 1.5 وΔ=1% نحصل عندئذ على تأخير زمني قدره $t / L=50[ns/km]$.

استناداً إلى التأخير الزمني t هذا تم التوجه إلى تصنيع الألياف الضوئية المتدرجة بقرينة الانكسار *(GRIN)*.

2 – 7 – 6 تصنيف الألياف البصرية وفقاً لمعامل التخامد α

يعدّ عامل التخامد α من العوامل المهمة لتحديد نوعية الألياف، حيث إن هذا العامل يحدد نوع التطبيق الذي يستخدم فيه الليف الضوئي. استناداً إلى ذلك يمكن تصنيف الألياف الضوئية من وجهة نظر هذا المحدد إلى ثلاثة أنواع أساسية:

1- ألياف زجاجية منخفضة التخامد وهي تستخدم في الاتصالات البعيدة المدى حيث إن مرتبة التخامد بحدود بضعة *dB/km* وعرض حزمة ارسال *B≥1000[MHz]* وتصنع هذه الألياف بشكل كامل من الزجاج.

2- ألياف زجاجية متوسطة التخامد وهي تستخدم في الشبكات المحلية ومعدل التخامد *α≥6[dB/km]*، وبعرض حزمة تتجاوز *500[MHz]* حيث تصنع من السيليكا والبلاستيك للقلب والغلاف على التوالي.

3- ألياف زجاجية عالية التخامد والتي تستخدم للأغراض الخاصة حيث عرض حزمة الإرسال لا يتجاوز *200[MHz]* وتصنع من البلاستيك لكل من القلب والغلاف. يبين الجدول التالي (2-4) بعض مواصفات الليف الزجاجي من قبل الـ *CCITT* عام 1980 عند الطول الموجي *0.8 – 0.9[μm]*.

القيمة العددية	خواص الألياف الضوئية
B ≥ 200[MHz]	$\alpha \le 10[dB/km]$
B ≥ 500[MHz]	$\alpha \le 6[dB/km]$
B ≥ 1000[MHz]	$\alpha \le 3[dB/km]$
0.15 – 0.24 ± 0.02	N_A
قطع مكافئ	معامل الانكسار
50 μm ±6% , 125 μm ±24%	*a – b*

الجدول (2-4)

2 – 8 التشتت وتشوه النبضة ومعدل المعلومات ***Distortion, Puls Distortion, and Information Rate***

اعتمدنا في دراستنا السابقة أن المنابع الضوئية المستخدمة في الأنظمة الليفية تبث ضوءاً بطول موجة وحيد (أي تردد وحيد)، وهذا يخالف الواقع، فالمنابع الحقيقية تنتج إشعاعاً ضمن مدى من أطوال الموجة، وهذا المدى هو عرض خط

المنبع أو العرض الطيفي. وكلما كان عرض الخط أصغر كان المنبع أكثر تماسكاً. يبث المنبع المتماسك بشكل كامل ضوءاً بطول موجة وحيد، وهكذا يكون أحادي اللون تماماً. يبين الجدول (2–5) عرض الخط $\Delta\lambda$ الطيفي لبعض المنابع المستخدمة في الاتصالات الضوئية.

المنبع	عرض الخط
ثنائي باعث للضوء *LED*	*20 – 100 nm*
ثنائي ليزري *LD*	*1 – 5 nm*
ليزر *Nd : YAG*	*0.1 nm*
ليزر *HeNe*	*0.002nm*

الجدول (2–5)

يعطى التحويل بين العرض بأطوال الموجة $\Delta\lambda$ وبين عرض الحزمة بالتردد كما يلي:

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \qquad \textbf{(18-2)}$$

حيث:

f التردد المركزي.

λ طول الموجة المركزي.

Δf مدى الترددات المشعة.

Δλ عرض الخط لطول الموجة.

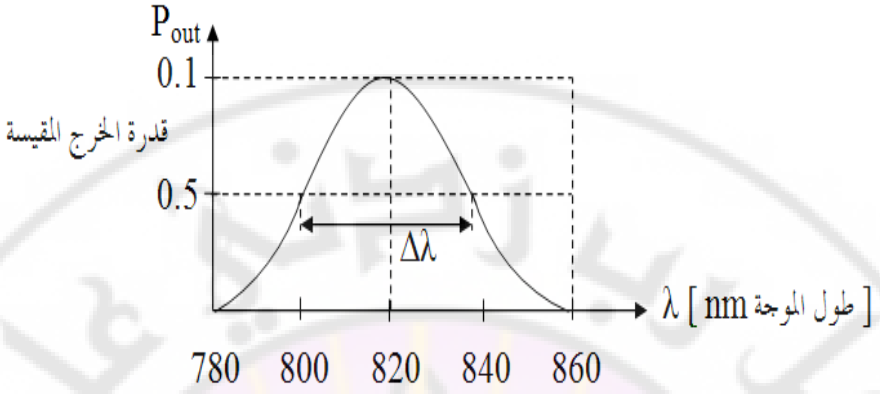
إن هذا التحويل هو بكل بساطة التعبير الرياضي حيث عرض البث الجزئي هو ذاته سواء حُسِبَ على أساس توزع طول الموجة أو توزع ترددي. يبين الشكل (2–91) رسم بياني لتوزع طول الموجة لقدرة مُشعّة بواسطة ثنائي *LED*.

يسمى محتوى الإشارة من طول الموجة أو التردد بطيف الإشارة. طول الموجة المركزية لهذا الثنائي *(0.82[μm]) or 820[nm]* ويؤخذ عادة عرض الخط بما يساوي العرض عند نقطتي نصف القدرة وهكذا في هذا المثال تكون:

Δλ = (805 – 835[nm]) أو *Δλ = 30[nm]*

ويكون عرض الحزمة الكسري:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{30}{820} = 0.037 = 3.7\%$$



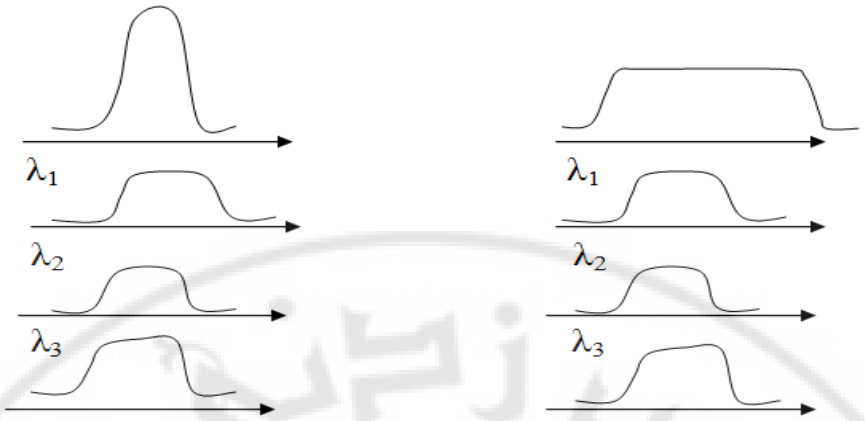
الشكل (2–91) طيف الثنائي الباعث للضوء *LED*

تعدّ ثنائيات الليزر بموجب الجدول (2–5) أكثر تماسكاً من ثنائيات الـ *LED* حتى أن ليزريات أنصاف النواقل نوع *Nd YAG* وهي اختصار للعبارة التالية: *(NeodYminumYttium Aluminum – Garnet Laser)* تكون أفضل.

وعلى أي حال إن الحجم الصغير ومتطلبات القدرة المنخفضة لمنابع *LED* و*LD* يجعلها الأفضل من الناحية العملية من أجل الأنظمة الليفية. إن العرض الطبيعي للمنبع يحد من سعة المعلومات لنظام ليفي، وإنه يمكن إهمال عدم التماسك إذا كانت سعة التحديد أكبر مما هو مطلوب.

2 – 9 تشتيت المادة وتشوه النبضة

يعرَّف التشتيت بأنه تغير السرعة مع تغير طول الموجة. عندما يكون التغير ناتجاً عن خواص المادة تدعى النتيجة تشتيت المادة وبالنسبة للألياف وأدلة الموجة الأخرى يمكن أن يحدث التشتيت بوساطة البنى نفسها. يبين الشكل (2–02) انبساط النبضة الذي يسببه الانتشار خلال وسط متشتت. تحتوي النبضة كاملةً أطوال موجة λ_1, λ_2, λ_3 وكل واحدة منها تنتشر بسرعة مختلفة.



الشكل (2–02)

يمكن إنقاص التشوه الذي يسببه تشتيت المادة (أو تشتيت دليل الموجة) باستعمال منابع ذات حزم أضيق أي باستعمال منابع أكثر تماسكاً. وبهذا الشأن يتميز ثنائي الليزر عن ثنائي الـ *LED*.

عندما نجمع بين تشتيت المادة وتشتيت دليل الموجة يؤخذ بعين الاعتبار إشارة انبساط النبضة.

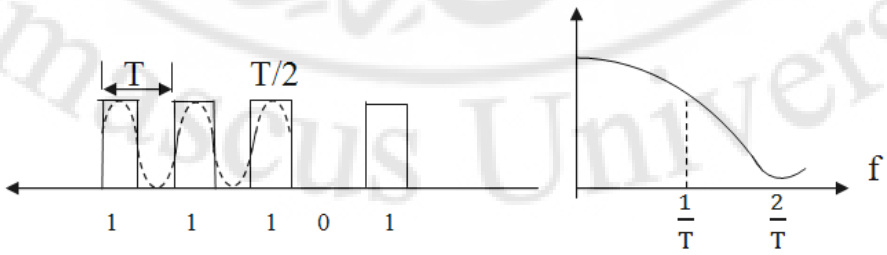
عند *1.3[μm]* يكون تشتيت المادة صفراً للسيليكا النقية، ويختفي انبساط النبضة الناتج عن تشتيت المادة عند طول الموجة هذا. إن الزجاج المستخدم في الاتصالات البصرية والتي أساسها السيليكا ذات تشتيت مادة معدوم (صفر) عند طول موجة بقرب *1.3[μm]* وأكبر.

إن إضافة الشوائب (التطعيم) يمكن أن يغير طول الموجة ذات التشتيت الصفري بحوالي *0.1[μm]*.

2 – 01 معدل المعلومات *Information Rate*

يحدد انبساط النبضة سعة المعلومات لأي نظام إرسال وإن الانبساط يعتمد بشكل رئيسي على تشتيت المادة.

يمكن تطبيق المعادلات التي تربط انبساط النبضة $\tau\Delta$ على كل من الوصلات الرقمية والوصلات التماثلية وعلاقتها بمعدل المعلومات. لنعتبر إشارة عودة إلى الصفر رقمية *(RZ)* كما يبينها الشكل (2–12).



الشكل (2–12)

الزمن يحدد لكل خانة *(bit)* موقع زمني *T* ويكون معدل المعطيات:

$$R = \frac{1}{T}[bps]$$

تشغل النبضات في هذه الصيغة نصف الفترة الزمنية وتكون مدة النبضة *T/2*. ترسل إشارة *RZ* بشكل مناسب بوساطة نظام ذي عرض نطاق *1/T[Hz]*، وذلك لأن معظم قدرة هذه الإشارة تقع تحت هذا التردد. للاستخراج الصحيح للعلاقة سنستخدم التردد *3[dB]* الكهربائي من أجل عرض نطاق النظام:

$$R_{RZ} = \frac{1}{T} = f_{3dB}(electrical) = \frac{0.35}{\Delta\tau}$$

حيث $f_{3dB} = 0.35/\Delta\tau$ هو التردد عند *3[dB]* وهو قيمة معيارية. إذاً معدل المعطيات خلال الطول *L* يعطى بالعلاقة:

$$R_{RZ} \times L = \frac{0.35}{\Delta(\tau / L)}$$

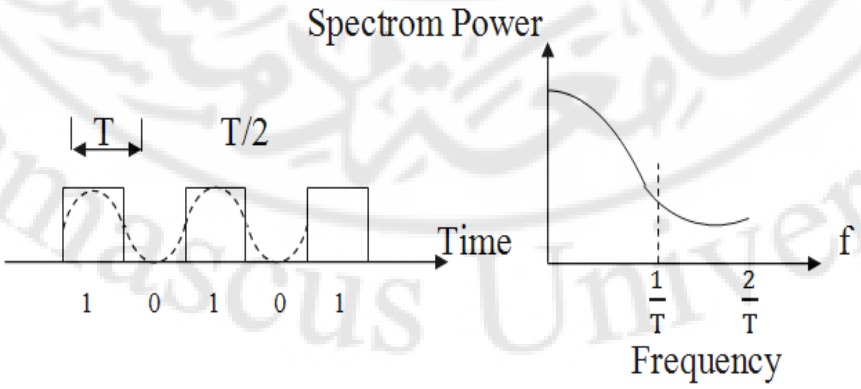
يمكننا أيضاً أن نحصل على هذه النتيجة الأخيرة بافتراض انبساط نبضي مسموح مساوٍ % 70 من مدة النبضة. حيث إن مدة نبضة *RZ* هو نصف دور التكرار فإن هذا الشرط يعطي:

$$\Delta\tau = 0.7 \times T/2 = 0.35T$$

أي أن:

$$R = 1/T = 0.35/\Delta\tau$$

أما في حالة إشارة *NRZ* فإن الزمن المخصص لكل خانة هو *T* وإن معدل المعطيات هو *1/T* كما هو موضح في الشكل (2-22):



الشكل (2-22)

إن عرض النطاق المطلوب للإرسال هو *1/2T* وهو مساوٍ نصف ما هو مطلوب في نظام *RZ*. يعود ذلك بسبب أن نبضات *NRZ* أطول بمرتين من نبضات *RZ* وأن عرض نطاق النبضة يتناسب عكسياً مع مدة النبضة. إن معدل المعطيات الأعظمي المسموح هو:

$$R = 1/T = 2f$$

حيث f هو عرض النطاق القديم.

باستعمال عرض النطاق الكهربائي *3[dB]* ينتج:

$$R_{NRZ} = \frac{1}{T} = f_{3dB}(electrical) = \frac{0.7}{\Delta\tau}$$

أو هي بعلاقة أخرى:

$$R_{NRZ} \times L = \frac{0.7}{\Delta(\tau / L)}$$

إن انبساط النبضة المسموح به هو **70 %** من مدة النبضة من أجل قطار نبضي *NRZ*.

يبين الجدول (2–6) أمثلة عن سعة المعلومات (محددة بتشتيت المادة في السيليكا).

كهربائي		**بصري**					**المنبع**
$R_{RZ}\times L$	$f_{3dB}\times L$	$R_{NRZ}\times L$	$f_{3dB}\times L$	$\Delta(\tau / L)$	$\lambda\Delta$	λ	
Gbps×km	*Gbps×km*	*GHz×km*		*ns/km*	*nm*	*μm*	
0.16	0.16	0.32	0.23	2.2	20	0.82	*LED*
0.47	0.47	0.94	0.67	0.75	50	1.5	*LED*
3.2	3.2	6.4	4.55	0.11	1	0.82	*LD*
23.3	23.3	46.7	33.33	0.015	1	1.5	*LD*

الجدول (2–6)

مثال 2 – 7

ما حدود التردد والمعطيات من أجل وصلة *10[km]* من أجل المنابع *LED* و*LD* والمذكورة في الجدول (2–6).

الحل:

نقوم بقسمة حاصل جداء كلٍ من (التردد × الطول) و(المعدل × الطول) على القيمة 01 أي على القيمة *.10[km]*

1- من أجل ثنائي *LED* عند *0.82[μm]*:

$$f_{3dB} = 23[MHz] \rightarrow R_{NRZ} = 32[Mbps]$$
$$f_{3dB}(electrical) = 16[MHz] \rightarrow R_{RZ} = 16[Mbps]$$

2- من أجل ثنائي *LED* عند *1.5[μm]*:

$$f_{3dB} = 67[MHz] \rightarrow R_{NRZ} = 94[Mbps]$$
$$f_{3dB}(electrical) = 16[MHz] \rightarrow R_{RZ} = 47[Mbps]$$

3- من أجل ثنائي *LD* عند *0.82[μm]*:

$$f_{3dB} = 455[MHz] \rightarrow R_{NRZ} = 637[Mbps]$$
$$f_{3dB}(electrical) = 320[MHz] \rightarrow R_{RZ} = 320[Mbps]$$

4- من أجل ثنائي *LD* عند *1.5[μm]*:

$$f_{3dB} = 3.3[GHz] \rightarrow R_{NRZ} = 4.7[Gbps]$$
$$f_{3dB}(electrical) = 2.33[GHz] \rightarrow R_{RZ} = 2.33[Gbps]$$

تشير القيم السابقة إلى تفوق ثنائيات الليزر *LD* على الثنائيات الباعثة للضوء من أجل معدل معطيات أعلى. إن الأنظمة التي تستعمل ثنائيات ليزر في منطقة طول الموجة الطويلة تكون أكثر تعقيداً وكلفة من أنظمة *LED* في مجال طول الموجة الأقصر *(0.8[μm]-0.9[μm])* ولذلك يكون استعمالها فقط حيث يحتاج الأمر تحقيق أداء أعلى.

مسائل محلولة:

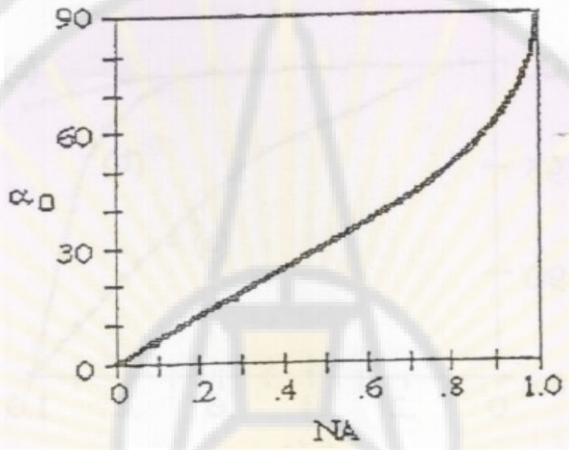
1- ارسم بيانياً زاوية القبولة بدلالة فتحة النفوذ العددية NA للمدى: $0 \leq NA \leq 1$ بافتراض أن $n_o = 1$.

Solution:

$NA = n_0 \sin \alpha_0, n_0 = 1$

NA	α_0
0.05	2.87
0.10	5.70

0.30	17.5
0.50	30.0
0.70	44.4
0.80	53.1
0.90	64.0
0.95	71.8
1.00	90.0



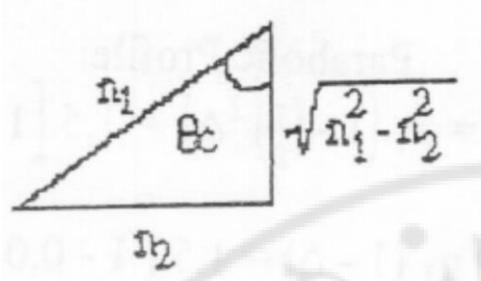
2- برهن أنّ: $\cos\theta c = \frac{\sqrt{n1-n2}}{n1}$

Solution:

$$\sin\theta_c = n_2 / n_1$$

$$\cos\theta_c \sqrt{1-\sin^2\theta_c} = \sqrt{1-(n_2/n_1)^2} = \frac{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{n_1}$$

Or from Figure,



$$\cos\theta_c = \frac{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{n_1}$$

3-اعتبر ليف SI ذا : $n_1 = 1.5$ و $n_2 = 1.485$ عند $0.82\ \mu m$= . اذا كان نصف قطر النواة $50\ \mu m$ فكم عدد الأساليب التي يمكن أن تنتشر ؟ كرر ماسبق اذا تغير طول الموجة الى $1.2\ \mu m$.

Solution:

$n_1=1.5$, $n_2=1.485$

$$V = \frac{2\pi a}{\lambda}\sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \frac{2\pi a}{0.82}\sqrt{1.5^2 - 1.485^2} = 81$$

$$N = V^2/2 = 81^2/2 = 3286\ modes$$

If $\lambda=1.2[\mu m]$, $V=55.35$, $N=V^2/2=1531$ *modes*.

4-في ليف متدرج (GRIN) ، ليكن , $n_1= 1.5$ و$\Delta = 0.01$ و $\alpha=2$. $a=50\ \mu m$

أ-ارسم بيانياً بمقياس رسم $n(r)$ ضمن النواة.

ب_ كرر ماسبق على نفس الرسم بعد تغيير a الى 10.

ج- كرر ماسبق على نفس الرسم بعد تغيير Δ الى 0.001 وباعتبار .$\alpha=2$.

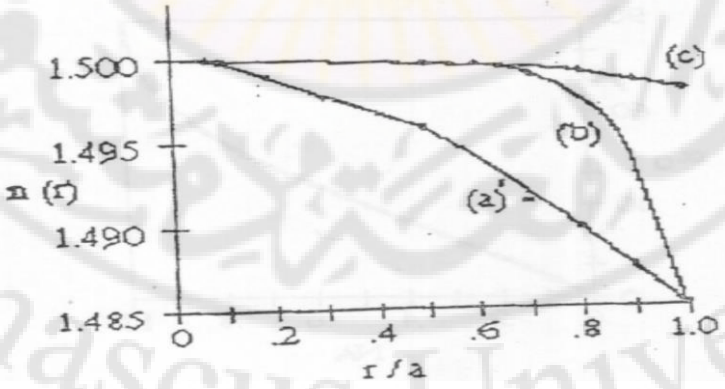
Solution:

a) $$n(r) = n_1\sqrt{1 - 2(r/a)^{\alpha}\Delta} = 1.5\sqrt{1 - 2(r/50)^2(0.01)}$$

b) $n(r) = 1.5\sqrt{1-2(r/50)^{10}(0.01)}$

c) $n(r) = 1.5\sqrt{1-2(r/50)^{2}(0.01)}$

r/a	(a)	(b)	(c)
0	1.5	1.5	1.5
0.1	1.4998	1.5	1.4999
0.2	1.4994	1.5	1.4999
0.3	1.4986	1.5	1.4999
0.4	1.4976	1.5	1.4998
0.5	1.4962	1.5	1.4996
0.6	1.4946	1.4999	1.4995
0.7	1.4926	1.4996	1.4993
0.8	1.4904	1.4984	1.4990
0.9	1.4878	1.4948	1.4988
1	1.4849	1.4849	1.4985



5- برهن أن القيمة العظمى لـ a/λ بالنسبة لليف ذي دليل قطع مكافئ وحيد الأسلوب هي أكبر ب 1.6 لليف SI وحيد الأسلوب.

Solution:

Step-index single-mode condition:

$$\left(\frac{a}{\lambda}\right)_{SI} < \frac{2.405}{2\pi\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}$$

GRIN single-mode condition:

$$\left(\frac{a}{\lambda}\right)_{GRIN} < \frac{1.4}{\pi\sqrt{n_1(n_2 - n_1)}}$$

Then

$$\frac{\left(\frac{a}{\lambda}\right)_{GRIN}}{\left(\frac{a}{\lambda}\right)_{SI}} = \frac{2(1.4)\sqrt{(n_1 + n_2)(n_1 - n_2)}}{2.405\sqrt{n1(n_1 - n_2)}}$$

Use n_1 close to n_2, so that $n_1 + n_2 = 2n_1$

$$\frac{\left(\frac{a}{\lambda}\right)_{GRIN}}{\left(\frac{a}{\lambda}\right)_{SI}} = 1.164\sqrt{2} = 1.646$$

الفصل الثالث

الاتصالات الميكروية وكسب النظام GAIN

مقدمة:

تغطي حاليا الاتصالات اللاسلكية الميكروية الأرضية أقل من نصف طول خطوط الاتصالات في الولايات المتحدة. إلا أنه في يوم ما كانت هذه الاتصالات تحمل كتلة الاتصالات بعيدة المدى لشبكة الاتصالات العامة وللوكالات العسكرية والحكومية ولشبكات الاتصالات الخاصة.

يوجد أنواع من أنظمة الاتصالات الميكروية التي تعمل على مسافات بين (15) ميلا و (4000) ميل.

تتراوح سعات أنظمة الاتصالات الميكروية بين (12) قناة صوتية و (22000) قناة صوتية. كانت الأنظمة الميكروية الأولى تحمل إشارات صوتية بتنضيد مع تقسيم التردد وكانت تستخدم التعديل الترددي غير المترابط non coherent أما الأنظمة الميكروية الحديثة فتحمل إشارات ذات تعديل نبضي مرمز وتنضيد بتقسيم الزمن للأقنية الصوتية وتستخدم طرائق تعديل رقمية حديثة مثل التعديل بزحزحة الطور PSK والتعديل المطالي التربيعي QAM. يتعلق هذا الفصل فقط بالأنظمة الميكروية ذات تعديل التردد والتنضيد بتقسيم التردد بينما يتعلق الفصل الثامن بالأنظمة الأحدث ذات التعديل النبضي المرمز والتعديل بزحزحة الطور PCM/PSK.

نظام ميكروي مبسط:

يبين الشكل (1.3) مخططا صندوقيا لنظام لاسلكي ميكروي وعصبة القاعدة هي الإشارة المركبة التي تعدل موجة حاملة ترداديا ويمكن أن تكون إحدى الإشارات التالية:

1) أقنية صوتية منضدة بتقسيم التردد.

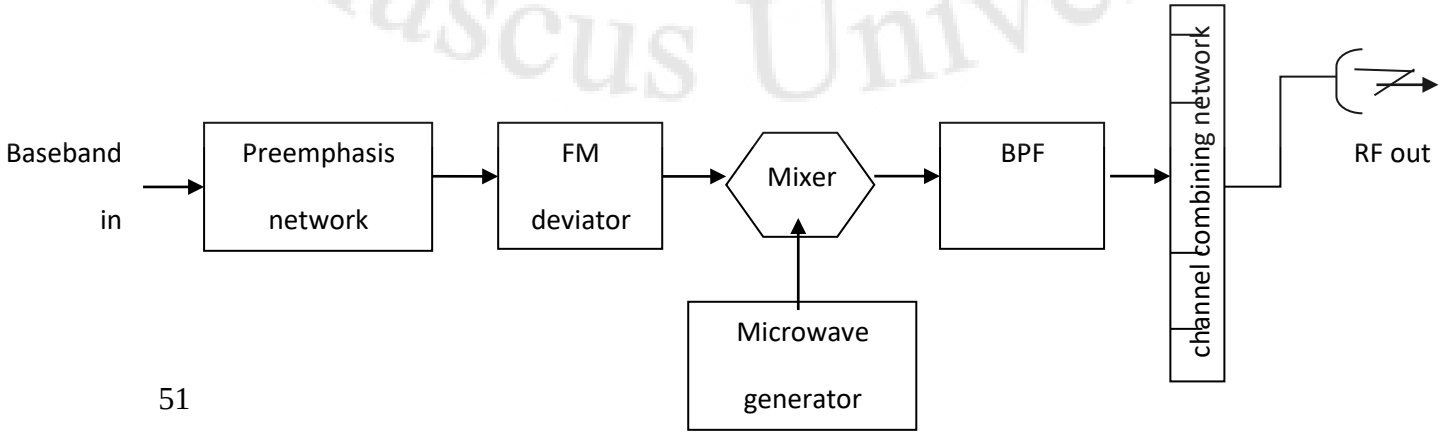
2) أقنية صوتية منضدة بتقسيم الزمن.

3) إشارة فيديو مركبة ذات جودة إذاعية وهاتف مرئي.

المرسل الميكروي:

توجد في الشكل (1.3 – a) دارة تركيز مسبق Preemphasis قبل تعديل التردد.

تؤمن هذه الدارة تكبيرا اصطناعيا في المطال للترددات الأعلى لعصبة القاعدة. وهذا يسمح للترددات الدنيا من عصبة القاعدة بالتعديل الترددي للموجة الحاملة بينما تقوم الترددات العليا من العصبة بالتعديل الطوري للموجة الحاملة. تؤمن هذه الطريقة نسبة اشارة الى ضجيج ثابتة خلال كامل طيف عصبة القاعدة. يقوم معدل ترددي بتعديل التردد الحامل الوسيط (IF) الذي يصبح لاحقا التردد الحامل الأساسي الميكروي. يكون التردد الميكروي الوسيط لمجال 60 – 80 ميغاهيرتز الأكثر شيوعا. يستخدم تعديل ترددي ذو عامل تعديل منخفض Low – Index في المعدل الترددي ويحافظ عادة على عامل التعديل بين (0.5) والواحد مما يولد إشارة تعديل ترددي ضيقة عند مخرج المعدل. ونتيجة لذلك فإن عرض المجال الوسيط (IF) يشبه التعديل المطالي ويساوي تقريبا ضعف أعلى تردد لعصبة القاعدة.



(a)

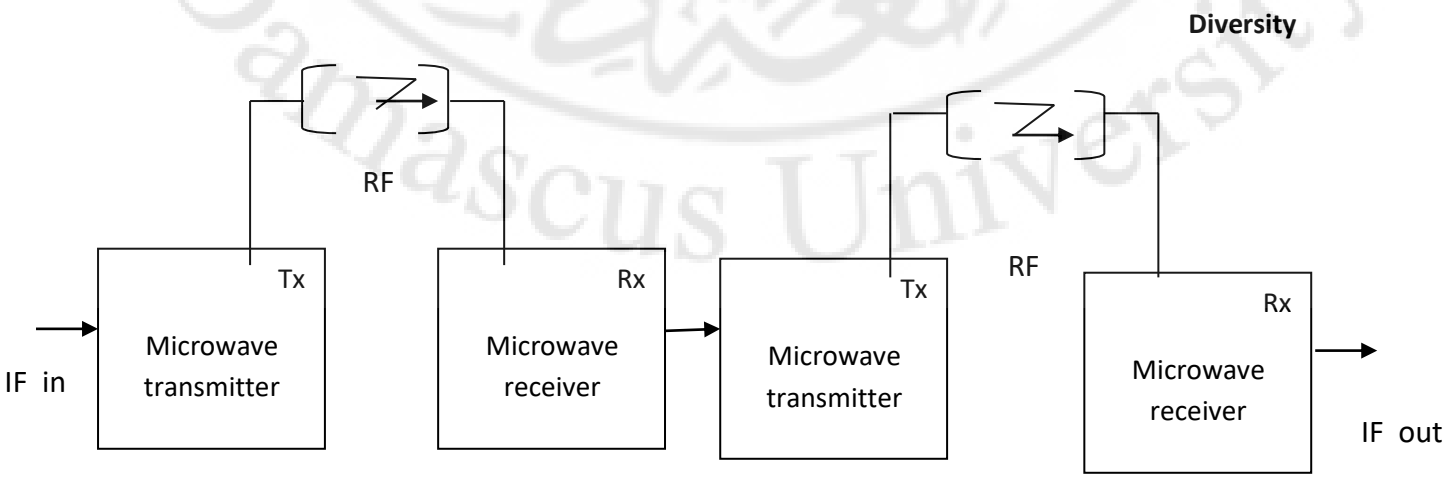
يتم رفع التردد الوسيط مع الحزمة الجانبية إلى المجال الميكروي بوساطة مازج تعديل مطالي ومهتز Oscillator ومرشح مرور موجة. يستخدم المزج بدلا عن الضرب لنقل التردد الوسيط إلى التردد العالي لأن عامل التعديل لا يتغير في طريقة المزج. أما عملية ضرب التردد الحامل الوسيط فسيضرب انحراف التردد وعامل التعديل مما يزيد من عرض المجال. تعد عادة الترددات الأعلى من (1000) ميغاهيرتز ترددات ميكروية. توجد حاليا أنظمة ميكروية تعمل بترددات بحدود (18) غيغاهيرتز. إن أكثر مجالات الترددات المستخدمة لهذا الغرض حاليا هي 2 - 4 - 6 - 12 - 14غيغاهيرتز. توجد دارة جمع أقنية تسمح بربط أكثر من مرسل ميكروي واحد إلى خط نقل واحد يغذي الهوائي antenna .

المستقبل الميكروي:

تؤمن في الشكل (b-1.3) دارة تفريق الأقنية العزل والترشيح اللازمين لتفريق عدة أقنية ميكروية لتوجيهها إلى المستقبلات المناسبة لها. يقوم مرشح مرور المجال ومازج التعديل المطالي والمهتز الميكروي بتخفيض التردد الميكروي إلى تردد وسيط ثم إلى كاشف التعديل الترددي. هذا الكاشف هو كاشف ترددي عادي غير مترابط (أي مميز discriminator) أو كاشف نسبة ratio detector. توجد في مخرج الكاشف دارة رفع تركيز deemphasis لإعادة إشارة عصبة القاعدة إلى خصائصها المطالية الترددية الأساسية.

المقويات الميكروية:

تعتمد المسافة المسموح بها بين مرسل ميكروي والمستقبل من الجهة المقابلة على متغيرات متعددة مثل استطاعة مخرج المرسل, عتبة ضجيج المستقبل, طبيعة تضاريس الأرض. الشروط الجوية. سعة النظام. أهداف الوثوقية وتوقعات الأداء. تكون هذه المسافة عادة بين (15) ميلا و (40) ميلا, يمكن للأنظمة الميكروية بعيدة المدى أن تغطي مسافات أكبر من ذلك بكثير جدا. لذلك فإن نظاما بقفزة واحدة كالمبين في الشكل (3-1) لا يناسب الكثير من التطبيقات العملية. عندما تكون المسافة أكثر من (40) ميلا أو عند وجود عائق مثل جبل على مسار الاتصال فإنه يستخدم مايسمىrepeaters. إن المقوي الميكروي هو مرسل موضوعات ومستقبل لها ظهرا لظهر ويبين الشكل (3-2) مخططا صندوقيا لمقوي ميكروي, يستقبل المقوي الإشارة ويضخمها ويعيد تشكيلها ثم يعيد إرسال الإشارة إلى المقوي التالي أو إلى المحطة الانتهائية.



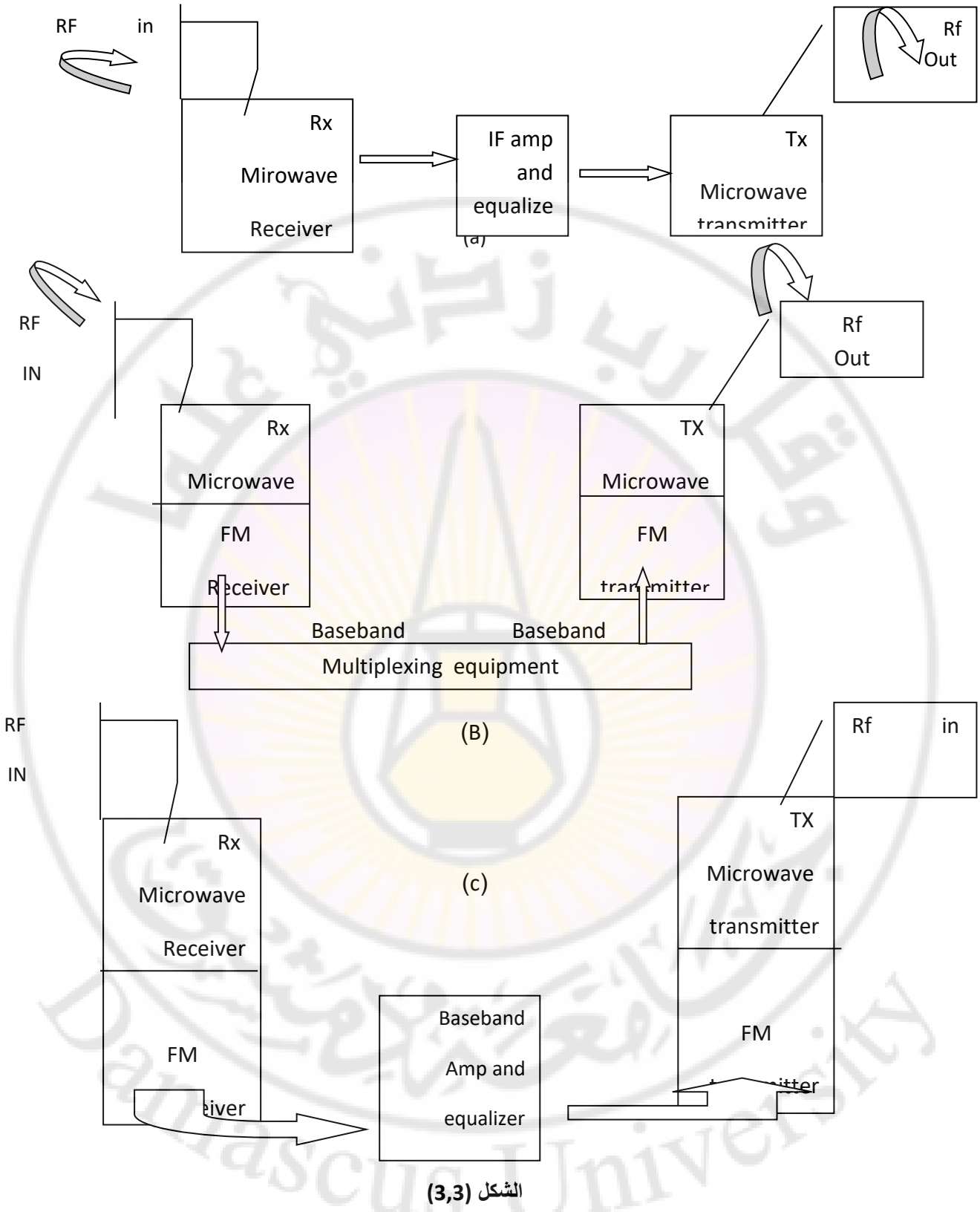
Microwave repeater الشكل (2.3)

يوجد نوعان من المقويات الميكروية: مقوي العصبة الأساسية ومقوي التردد الوسيط كما يبين الشكل (3-3) . يتم في مقوي التردد الوسيط الشكل (3-3 _ a) تخفيض التردد الحامل إلى تردد وسيط وتضخم إشارته ويعاد تشكيلها ثم يتم رفع التردد الحامل إلى تردد الإرسال المطلوب. لا يتم إطلاقا في هذه الطريقة كشق الإشارة وبالتالي فإن معلومات العصبة الأساسية تبقى كما هي. يتم في حالة مقوي عصبة أساسية الشكل (3-3 _ b) تخفيض التردد الحامل للإشارة المستقبلة إلى تردد وسيط ويضخم ويرشح ثم يتم كشف العصبة الأساسية. تكون هذه العصبة عادة إشارة تنضيد بتقسيم التردد لأقنية صوتية ولذلك يتم استخلاص المجموعات الرئيسية ثم المجموعات الكبيرة ثم المجموعات وأحيانا الأقنية. وهذا يسمح بإعادة تشكيل العصبة الأساسية بما يلائم حاجات الشبكة الكاملة للاتصالات. يتم بعد ذلك تعديل ترددي لتردد وسيط يتم رفعه إلى تردد الإرسال.

يبين الشكل (3-3 c) شكلا آخر لمقوي العصبة الأساسية. يقوم المقوي بكشف الإشارة الميكروية إلى العصبة الأساسية التي تضخم ويعاد تشكيلها ثم يتم تعديلها على تردد الإرسال. تقوم هذه الطريقة بالشيء نفسه الذي يقوم به مقوي التردد الوسيط فيما عدا أنه في طريقة العصبة الأساسية يعمل المضخم والمسويequalizer على العصبة الأساسية بدل عملهما على التردد الوسيط .تكون ترددات العصبة الأساسية عادة أقل من (9) ميغاهيرتز بينما يكون التردد الوسيط بحدود (70) ميغاهيرتز. وبالتالي فإن المرشحات والمضخمات في مقويات العصبة الأساسية أسهل في التصميم وأرخص سعرا من تلك المطلوبة لمقويات التردد الوسيط. وسيئة مقوي العصبة الأساسية هي ضرورة وجود أجهزة انتهائية للتعديل الترددي.

التباين DIVERSITY :

تستخدم الأنظمة الميكروية النقل ضمن خط النظر. إذ يجب أن يكون هناك خط نظر مباشر بين هوائي المرسل والمستقبل. وبالتالي فإذا حصل لمسار الاتصال هبوط حاد في مواصفاته فستنقطع الخدمة. يعني التباين وجود أكثر من مسار واحد أو أكثر من طريقة اتصال بين المرسل والمستقبل. يهدف في النظام الميكروي استخدام التباين إلى زيادة وثوقية النظام بزيادة توافره. عند وجود أكثر من مسار اتصال واحدا أو أكثر من طريقة إرسال فإن النظام يستطيع اختيار المسار أو الطريقة التي تولد الإشارة ذات الجودة الأعلى. يتم تحديد الجودة الأعلى بتقويم نسبة الموجة الحاملة إلى الضجيج (C / N) عند الاستقبال أو ببساطة بقياس مستوى استطاعة الموجة الحاملة المستقبلة, ومع وجود طرائق متعددة للتباين فإن أكثرها استعمالا هي التباينات : الترددي, الفراغي, الاستقطابي



الشكل (3,3)

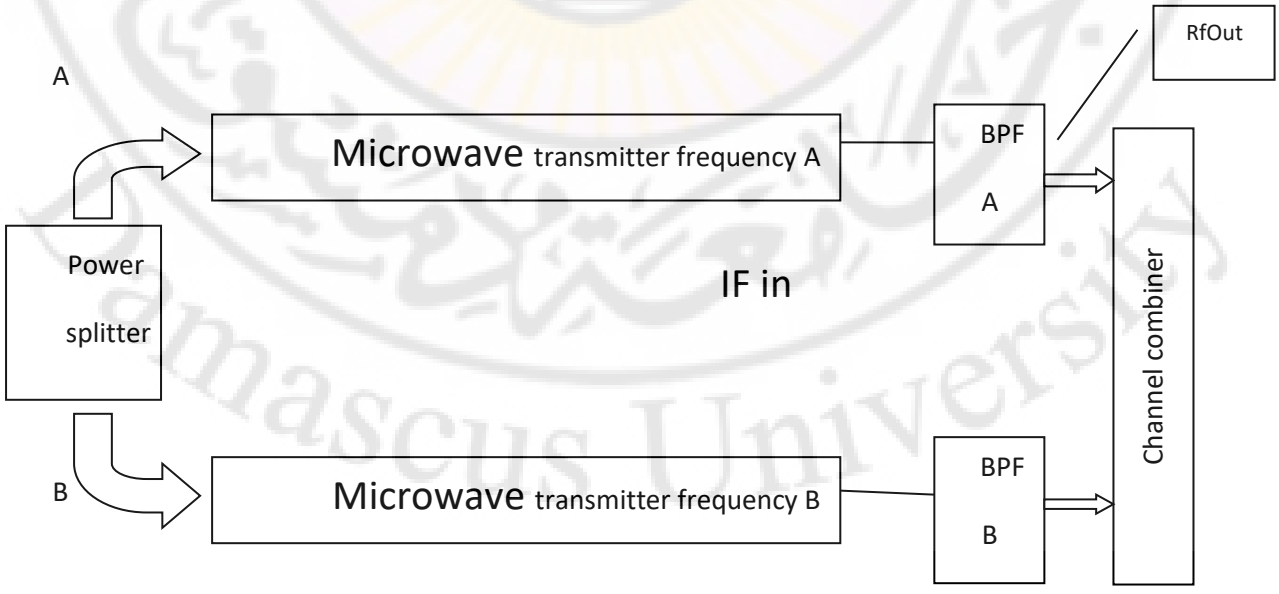
Microwave repeaters : (a) IF ; (b) and (c) baseband .

التباين الترددي :

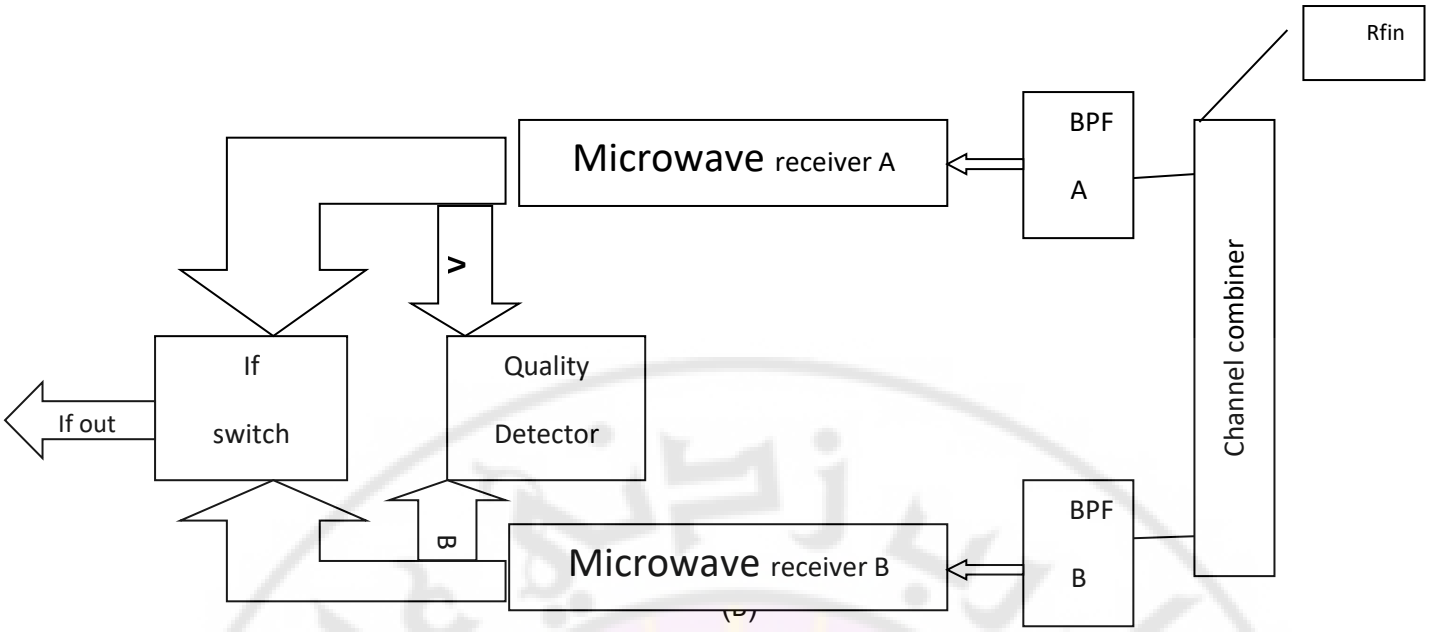
يتم هذا التباين بتعديل موجتين حاملتين مختلفتين بالمعلومات نفسها ثم إرسال الإشارتين اللاسلكيتين إلى المرسل إليه يتم في الاستقبال كشف الموجتين الحاملتين وتلك التي تعطي إشارة تردد وسيط أفضل يتم انتقاؤها . بين الشكل (4,3) نظاماً ميكروياً ذا قناة واحدة مع تباين ترددي .

يتم في الشكل (4,3 a) إدخال إشارة المدخل ذات التردد الوسيط إلى فالق استطاعة Power splitter يوجه الإشارة إلى جهازي الإرسال (A) أو (B) . يتم جمع مخرجي جهازي الإرسال في دارة جمع لأخذهما إلى هوائي الإرسال و في طرف الاستقبال الشكل (4,3 b) يقوم فاصل القناة channel separator بفصل الترددين الحاملين (A) و (B) إلى جهازي استقبال الخاصين بهما حيث يتم إنزال تردد كل منهما إلى التردد الوسيط .

يقوم كاشف الجودة quality بتحديد أي من القناتين (A) أو (B) لها جودة أفضل وتقوم بعد ذلك بتوجيه تلك الإشارة عبر مفتاح للتردد الوسيط لكي يتم كشف الإشارة إلى عصبة القاعدة . إن كثيراً من الأحوال الجوية المعاكسة التي تؤثر في الإشارة الميكروية هي ذات تأثير انتقائي ترددي frequency selective إذ أنها قد تؤثر في تردد واحد أكثر من التردد الأخر . لذلك وخلال مدة زمنية محددة يمكن لمفتاح التردد الوسيط أن ينتقل من جهاز استقبال (A) إلى جهاز استقبال (B) و بالعكس مرات متعددة .



(A)



الشكل (4,3)

Frequency diversity microwave system : (a) transmitter; (b) receiver .

التباين الفراغي :

يتم في هذا التباين تطبيق مخرج المرسل على هوائيين أو أكثر يتباعدان عن بعضهما بعدد جيد من أطوال الموجات ويمكن في الاستقبال أن يكون هناك أكثر من هوائي يؤمن الإشارة إلى مدخل الاستقبال . يجب استعمال هوائيات استقبال متعددة فيجب أن تتباعد عن بعضها بعدد معين من أطوال الموجة ويبين الشكل (5,3) نظام اتصال مايكروي باستخدام التباين الفراغي .
ومن الهام عند استخدام التباين الفراغي أن تكون المسافة الكهربائية من المرسل إلى كل من هوائياته ومن المستقبل إلى كل من هوائياته عدداً متساوياً من أطوال الموجات إن هذا يضمن وصول إشارتين أو أكثر بالتردد نفسه إلى مدخل الاستقبال متوافقة في زاوية الطور وقابلة للجمع فإذا استقبلت متعاكسة في الطور فإنها ستلغي بعضها بعضاً وبالتالي ستكون الإشارة المستقبلة أقل مما لو كان هناك هوائي واحد . تتركز الأحوال الجوية السيئة عادة في منطقة جغرافية صغيرة وفي التباين الفراغي يوجد أكثر من مسار انتشار واحد بين المرسل والمستقبل فعند وجود أحوال سيئة على أحد المسارات فمن غير المحتمل أن يكون مسار أخر عليه الأحوال السيئة نفسها . وبالتالي فإن احتمال استقبال الإشارة أعلى عند استخدام تباين فراغي من عدم استخدامه . طريقة أخرى في التباين الفراغي يستخدم فيها هوائي إرسال واحد وهوائيا استقبال متباعدان شاقولياً وحسب الشروط الجوية في لحظة ما يجب أن يستقبل أحد الهوائيين إشارة كافية . وهنا أيضاً يوجد مسارين للانتشار من الصعب أن يتأثرا في وقت واحد بالخفوت نفسه fading .

التباين ألاستقطابيpolarization Diversity :

تنتشر في هذا النوع موجة حاملة مفردة بقطبيتين كهرطيسيتين مختلفتين

(شاقوليةvertical وأفقية horizontal) . إن الموجات الكهرطيسية ذات القطبية المختلفة لا تتأثر بالوقت نفسه بشروط الانتشار السيئة نفسها . يستخدم التباين الاستقطابي عادة مع التباين الفراغي .
يضبط استقطاب زوج من هوائيات الإرسال والاستقبال شاقولياً ويضبط استقطاب الزوج الثاني أفقياً . يمكن أيضاً استخدام كل أنواع التباين المذكورة في أن واحد .

كسب النظام System Gain :

في أبسط تصور فإن كسب النظام هو الفارق بين استطاعة المخرج الاسمية للمرسل والاستطاعة الدنيا لمدخل المستقبل . يجب أن يكون كسب النظام أكبر من حاصل جمع كل المكاسب والفقد أو يساويه والذي يحصل على الإشارة أثناء انتشارها من المرسل إلى المستقبل . وبشكل حقيقي فإنه يمثل الفقد الصافي في النظام اللاسلكي . يستخدم كسب النظام للتنبؤ من وثوقية النظام عند ثوابت Parameters معينة يعبر عن كسب النظام رياضياً كما يلي :

$$G_s = P_t - C_{min}$$

حيث G_s = كسب النظام ديسبيل .
P_t = استطاعة مخرج المرسل ديسبيل (dBm) .
C_{min} = الاستطاعة الدنيا عند مدخل المستقبل بالنسبة لهدف جودة معين (dBm) .
وحيث المكاسب + الفقد $\geq P_t - C_{min}$ المكاسب هي :
A_t = كسب هوائي المرسل (ديسبيل) بالمقارنة مع مشع ايزوتروبي (لا اتجاهي) .
A_r = كسب هوائي الاستقبال (ديسبيل) بالمقارنة مع مشع ايزوتروبي .

الفقد :
L_p= الفقد في المسار بين الهوائين (ديسبل) .

L_f = الفقد في دليل الموجة (ديسبل) بين دارة التوزيع (دارة ربط الأقنية أو دارة فصل الأقنية) و الهوائي (انظر الجدول 1.3) .

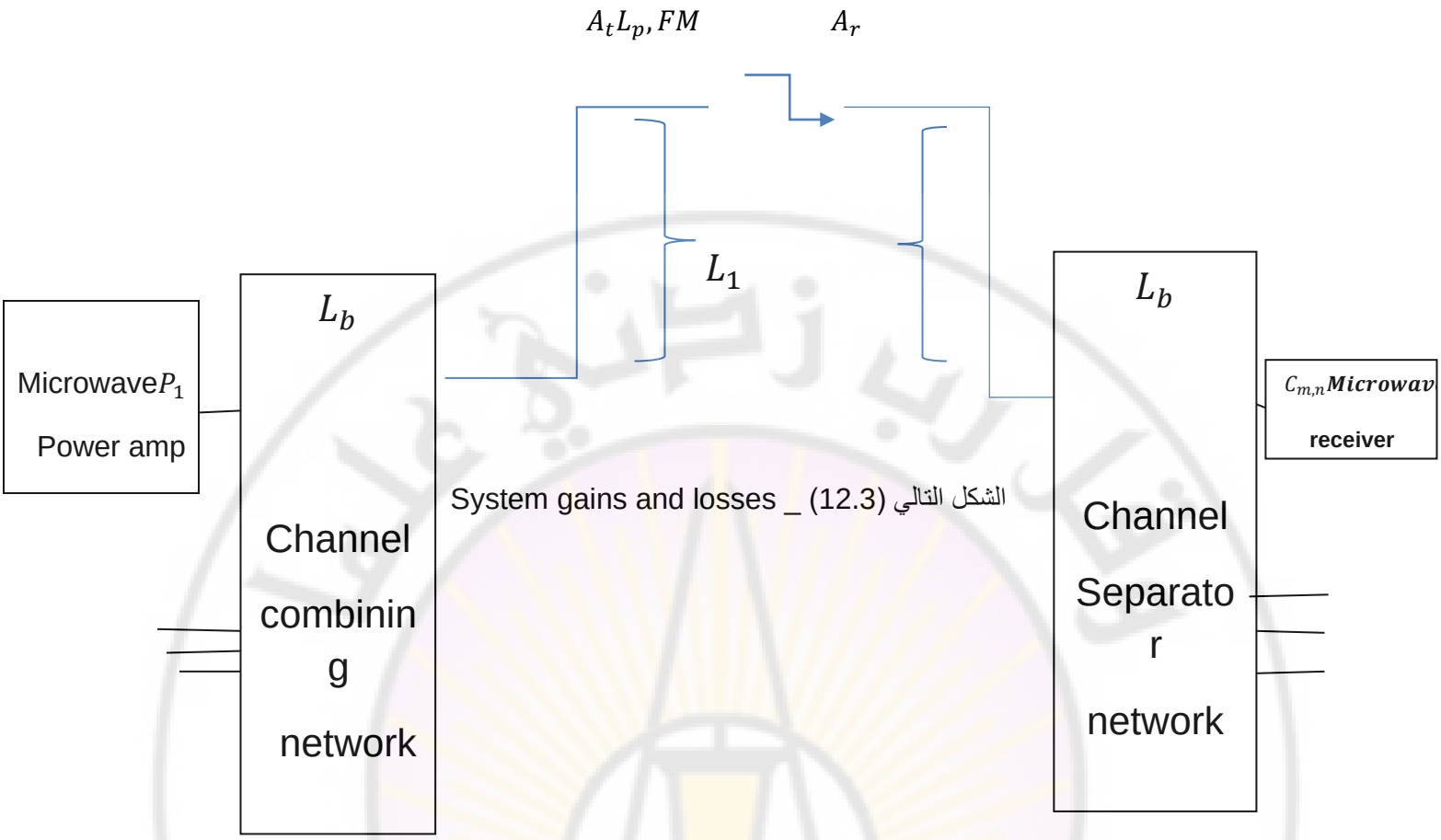
L_b = الفقد الإجمالي للمزاوجةcoupling أو للتوزيع (ديسبل) في المداورات circulators و المرشحات و دارات التوزيع بين مخرج المرسل أو مدخل المستقبل و دليل الموجة الخاص به

FM = حدود الخفوت لغرض وثوقية معين .

رياضياً يكتب كسب النظام كما يلي :

$$G_S = P_t - C_{min} \geq FM\, L_p + L_p + L_b - A_t - A_r$$

ويعبر عن كل القيم بالديسبل أو بالdB_m. بما أن كسب النظام يدل على فقد صاف فإنه يعبر عن الفقد بديسبل موجب و عن الكسب بديسبل سالب . يبين الشكل (12.3) مخطط نظام مكروي كامل و يدل على مكان الفقد و الكسب .



الشكل التالي (12.3) _ System gains and losses

الجدول 1.3 : ثوابت كسب النظام

كسب الهوائي A_t , A_r الأبعاد (متر) – الكسب (ديسبل)	الفقد في التوزيع L_b ديسبل تباين ترددي – فراغي	الفقد في المغذي L_f Feader less نوعه الفقد (ديسبل100 م)	التردد غيغا هرتز
25.2 – 1.2 31.2 – 2.4 33.2 – 3 34.7- 3.7	2 – 5	كابل محوري مملوء هواء 5.4	1.8

7.4	دليل موجي (64 Ewp) – قطع ناقص elliptical	2 – 3	38.8 – 1.5 43.8 – 2.4 44.8 – 3 46.5 – 3.7
8	6.5– (69 Ewp)	2 – 3	43.8 – 2.4 45.6 – 3 47.3 – 3.7 49.8 – 4.8

الفقد في الفراغ الحر free _ space :

يعرف الفقد في الفراغ الحر بأنه الفقد الذي يطرأ على الموجة الكهرطيسية و هي تنتشر في خط أفقي vacuum في فراغ ليس فيه امتصاص absorption أو انعكاس للقدرة عن أجسام محيطة .

و يعطى التعبير عن الفقد في الفراغ الحر كما يلي :

$$L_p = \left(\frac{4\pi D}{\lambda}\right)^2 = \left(\frac{4\pi FD}{C}\right)^2$$

حيث :

L_p = الفقد في المسار الفراغ الحر .

D= المسافة .

F= التردد .

λ= طول الموجة .

C = سرعة الضوء في الفراغ الحر (3×10^8 m/s)

بالتحويل إلى ديسبل نحصل على :

$$L_P(dB) = 20\ \log\frac{4\pi FD}{C} = 20\log\frac{4\pi}{C} + 20\log F + 20\log D$$

و عند إعطاء التردد بالميغا هيرتز و المسافة بالكيلومتر يكون :

$L_P(dB) = 32.4 + 20\ log\ F\ (MHz) + 20\ log\ D\ (km)$ ديسبل

عند إعطاء التردد بالغيغا هيرتز و المسافة بالكيلومتر فإن :

$L_P(dB) = 92.4 + 20\ log\ F\ (GHz) + 20\ log\ D\ (km)$ديسبل

المثال (2.3) :

إذا كان التردد الحامل (6) غيغا هيرتز و المسافة (50) كيلو متر المطلوب تحديد فقد المسار في الفراغ الحر .

الحل :

$$L_P(dB) = 32.4 + 20\ log\ 6000 + 20\ log\ 50 = 32.4 + 75.6 + 34 = 142\ dB$$

أو

$$L_P(dB) = 92.4 + 20\ log\ 6 + 20\ log\ 50 = 92.4 + 15.6 + 34 = 142\ dB$$

حد الخفوت :

إن حد الخفوت هو عامل factor غير فعلي يضاف إلى علاقة كسب النظام عند اعتماد الخصائص غير المثالية و الأقل تنبؤاً في انتشار الموجة اللاسلكية مثل الانتشار متعدد المسارات multipath loss و الحاسبة لطبيعة الأرض terrain بسبب هذه الخصائص أحوالاً جوية غير طبيعية و تغير بشكل مؤقت الفقد في مسار الفراغ الحر و هي أمور حاسمة عادة لأداء النظام بكامله يضاف حد الخفوت كفقد في معادلة كسب النظام .

بحل معادلات الوثوقية الخاصة ببارنيت Barnett _ فيغانت Vignant و المتعلقة بمعادلات نظام محدد السنوية و لنظام غير محمي و غير تباييني فإننا نحصل على العلاقة التالية :

$$FM = 30\,log\,D + 10\,log\,(6ABF) - 10\,log\,(1-R) - 70$$

ثابت أهداف الوثوقية الحساسية للتضاريس تأثير تعدد المسارات

حيث :

FM = حد الخفوت (ديسبل) .

D = المسافة (كيلومتر) .

F = التردد (غيغا هيرتز) .

R = الوثوقية معبراً عنها بكسر عشري (أي أن 0.9999 = % 99.99 وثوقية) .

1 - R = هدف الوثوقية بالنسبة لمسافة () كيلو متر ذات اتجاه واحد .

A = عامل الخشونة .roughness

= 4 فوق الماء أو أرض ناعمة جداً .

= 1 فوق أرض متوسطة التضاريس .

B- عامل يحول احتمال أسوأ شهر إلى احتمال سنوي .

= (1) لتحويل التوافر السنوي إلى أسوأ شهر .

= (0.5) للمساحات الحارة الرطبة .

= (0.25) للمساحات الداخلية المتوسطة .

= (0.125) للمساحات الجافة جداً أو الجبلية .

المثال (3.3) :

يعمل نظام ميكروي مع تباين فراغي على تردد حامل قدره (1.8) غيغا هيرتز لكل محطة هوائي قطع مكافئparabolic بقطر (2.4) متر متصل بكابل محوري طوله (100) متر مملوء بالهواء ، الأرض ناعمة و للمنطقة طقس رطب ، المسافة بين المحطتين (40) كيلو متر و الوثوقية المطلوبة % 99.99، المطلوب تحديد كسب النظام .

الحل :

نعوض في العلاقة (4.3) لنجد أن حد الخفوت هو :

$$FM = 30\log 40 + 10\log(6)(4)(0.5)(1.8) - 10\log(1 - 0.9999) - 70$$

$$\text{dB} = 31.4$$

بالتعويض في العلاقة (3.3) يكون فقد المسار :

$$L_P = 92.4 + 20\log 1.8 + 20\log 40$$

$$= 129.55\ dB$$

من الجدول (1.3) :

$$L_P = 4\ dB\ (2 + 2 = 4)$$

$$L_f = 10.8\ dB\ (100\ m + 100\ m = 200\ m)$$

$$A_t = A_r = 31.2\ dB$$

بالتعويض في العلاقة (1.3) نحصل على كسب النظام:

$$G_s = 31.4 + 129.55 + 10.8 + 4 - 31.2 - 31.2 = 113.35\ \text{dB}$$

تدل النتيجة على أن استطاعة مخرج المرسل يجب أن تكون أعلى من المستوى الأدنى لإشارة المستقبل بمقدار (113.35) ديسيبل.

عتبة المستقبل Threshold :

إن نسبة استطاعة الموجة الحاملة إلى الضجيج (C/N) هي ربما أهم عامل يتم عده عند تقويم أداء نظام اتصال ميكروي.

إن استطاعة الموجة الحاملة عريضة المجال والدنيا (Cmin) عند مدخل المستقبل والتي تولد مخرج عصبة أساسية مفيدة يسمى عتبة الاستقبال وأحياناً حساسية المستقبل.

تعتمد عتبة المستقبل على استطاعة الضجيج عريض المجال الذي يتواجد عند مدخل جهاز الاستقبال وعلى الضجيج الذي يتولد ضمن جهاز الاستقبال وعلى حساسية الضجيج لكاشف العصبة الأساسية.

قبل أن يتم حساب Cmin يجب تحديد استطاعة ضجيج المدخل.

يعبر عن استطاعة ضجيج المدخل بالعلاقة :

$$N = KTB$$

حيث :N = استطاعة الضجيج.

K = ثابت بولتزمان (1.38×10^{-23})

T = درجة حرارة الضجيج المكافئة لجهاز الاستقبال بالكيلفين

(درجة حرارة الغرفة هي 290 كيلفين)

B = عرض مجال الضجيج (هيرتز).

إذا عبرنا عن العلاقة بالديسيبل dBm يكون :

$$N\ (dBm) = 10 \log \frac{KTB}{0.001} = 10 \log \frac{KT}{0.001} = 10 \log B$$

ولعرض مجال قدره (1) هيرتز وعند درجة حرارة الغرفة يكون :

$$N = 10 \log = \frac{(1.38 \times 10^{-23})(290)}{0.001} + 10 \log 1$$

$$= -174\ dBm$$

$$N\ (dBm) = -174\ dBm + 10 \log B$$

المثال (4.3):

المطلوب من أجل عرض مجال ضجيجي مكافئ قدره (10) ميغا هيرتز تحديد استطاعة الضجيج.

الحل : بالتعويض في العلاقة (5.3)

$$N = -174\ dBm + 10 \log (10 \times 10^6)$$

$$= -174\ dBm + 70\ dB = -104\ dBm$$

إذا كان متطلب الحد الأدنى للنسبة C / N لجهاز استقبال له عرض مجال ضجيج قدره (10) ميغاهيرتز هو (24) ديسيبل فإن استطاعة الموجة الحاملة الدنيا في الاستقبال هي :

$$C_{min} = \frac{C}{N}\ (dB) + N\ (dB)$$

$$= 24\ dB + (-104\ dBm) = -80\ dBm$$

بوجود كسب نظام قدره (113.35) ديسيبل فإن الاستطاعة المطلوبة للموجة الحاملة للإرسال (Pt) هي:

$$P_t = G_s + C_{min}$$

= 113.35 dB + (-80 dBm) = 33.35 dBm

وهذا يدل على أن استطاعة الإرسال الدنيا المطلوبة على نسبة موجة حاملة إلى ضجيج قدرها (24) ديسيبل مع كسب نظام قدره (113.35) ديسيبل وعرض مجال (10) ميغا هيرتز هي (33.35 dBm)(2.16 واط).

نسبة الموجة الحاملة إلى الضجيج مقابل نسبة الإشارة إلى الضجيج :

إن نسبة الموجة الحاملة إلى الضجيج (C / N) هي نسبة الموجة الحاملة عريضة المجال (عملياً ليس فقط الموجة الحاملة ولكن الموجة الحاملة مع الحزم الجانبية) إلى استطاعة الضجيج عريض المجال (عرض مجال الضجيج للمستقبل).

يمكن تحديد (C / N) على مستوى التردد الراديوي (RF) أو على مستوى التردد الوسيط (IF) في جهاز الاستقبال.

عملياً إن (C / N) هي نسبة إشارة إلى ضجيج قبل الكشف (قبل كاشف التعديل الترددي).

أما نسبة الإشارة S/N فهي نسبة بعد الكشف (بعد كاشف التعديل الترددي) يمكن عند نقطة عصبة أساسية في جهاز الاستقبال تفريق قناة صوتية واحدة عن باقي العصبة الأساسية ويتم القياس بشكل مستقل.

أما عند نقطة تردد راديوي أو تردد وسيط في المستقبل فمن المستحيل تفريق قناة صوتية عن إشارة التعديل الترددي فمثلاً إن عرض مجال قناة ميكروية واحدة هو (30) ميغاهيرتز.

أما عرض مجال قناة صوتية فهو (4) كيلو هيرتز.

إن النسبة (C / N) هي نسبة استطاعة الإشارة الراديوية المركبة إلى كامل استطاعة الضجيج في عرض المجال (30) ميغاهيرتز.

أما النسبة (S / N) فهي نسبة استطاعة قناة صوتية واحدة إلى استطاعة الضجيج في عرض المجال (4) كيلوهيرتز.

رقم الضجيج Noise Figure :

في أبسط شكل له فإن رقم الضجيج (F) هو نسبة الإشارة إلى الضجيج في جهاز مثالي خال من الضجيج مقسوماً على نسبة الإشارة إلى الضجيج عند مخرج مضخم أو مستقبل يمكن عملياً تعريف رقم الضجيج كنسبة من نسبة الإشارة إلى الضجيج عند مدخل الجهاز مقسوماً على نسبة الإشارة إلى الضجيج عند المخرج.

رياضياً رقم الضجيج هو :

$$F = \frac{(S/N)_{in}}{(S/N)_{out}}$$

أو بالديسيبل :

$$F\ (dB) = 10 \log \frac{(S/N)_{in}}{(S/N)_{out}}$$

إن رقم الضجيج هو نسبة لنسبتين.

إن رقم ضجيج جهاز خال من الضجيج هو الواحد (أو صفر ديسيبل).

لتذكر أن الضجيج الموجود على مدخل مضخم يتم تضخيمه بالكسب منه مثل الإشارة.

وبالنتيجة فإن الضجيج الذي يضاف في المضخم يخفض نسبة الإشارة إلى الضجيج عند المخرج ويزيد من رقم الضجيج.

(يجب أن نتذكر أنه كلما كان رقم الضجيج مرتفعاً كانت نسبة الإشارة إلى الضجيج أسوأ عند المخرج).

يدل رقم الضجيج على الزيادة النسبية لاستطاعة الضجيج على زيادة استطاعة الإشارة.

إن رقم الضجيج بمقدار (10) يعني أن الجهاز أضاف ضجيجاً كافياً لتقليل نسبة الإشارة إلى الضجيج بعامل قدره (10) أو زيادة استطاعة الضجيج بمقدار عشر مرات بالنسبة لزيادة استطاعة الإشارة.

يكون عند ربط مضخمين أو أكثر مع بعضهما (الشكل 13.3) رقم الضجيج الإجمالي هو تراكم أرقام الضجيج الانفرادية.

رياضياً يكون رقم الضجيج الإجمالي هو :

$$\text{etc.}NF = F_1 + \frac{F_2 - 1}{A_1} + \frac{F_3 - 1}{A_1 A_2} + \frac{F_4 - 1}{A_1 A_2 A_3}$$

حيث :

NF = رقم الضجيج الإجمالي.

F_1 = رقم الضجيج للمضخم الأول

F_2 = رقم الضجيج للمضخم الثاني.

F_3 = رقم الضجيج للمضخم الثالث.

A_1 = كسب المضخم الأول.

A_2 = كسب المضخم الثاني.

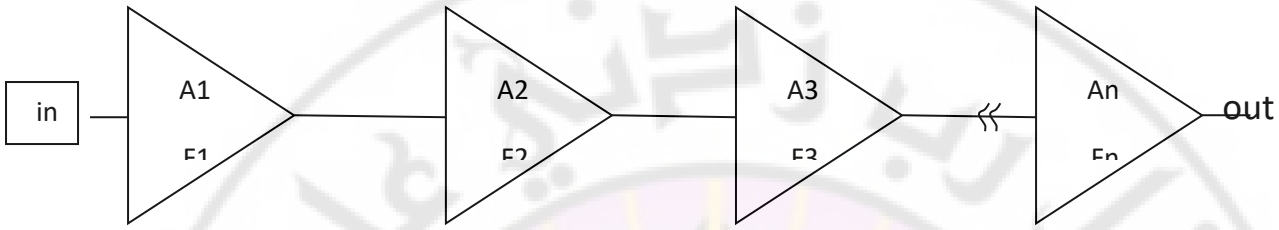
ملاحظة:

يعبر عن رقم الضجيج وعن الكسب بأرقام مطلقة بدلاً عن الديسيبل.

تبين لنا أن رقم الضجيج للمضخم الأول (F1) يساهم أكثر من غيره في رقم الضجيج الإجمالي.

فالضجيج الذي يدخل في المرحلة الأولى يضخم في كل من المضخمات التالية.

لذلك وعند المقارنة مع الضجيج الداخل في المرحلة الأولى فإن الضجيج المضاف



الشكل (13.3) Total noise figure

في كل المضخمات التالية يتم تخفيضه بشكل فعال بعامل يساوي حاصل ضرب الكسب لكل من المضخمات السابقة والأنسب بشكل عام عند الحاجة لحسابات ضجيج دقيقة (0.1 ديسيبل أو أقل) التعبير عن رقم الضجيج بدرجة حرارة الضجيج أو بدرجة حرارة الضجيج المكافئة بدلاً عن الاستطاعة المطلقة (انظر الفصل الثامن).

نظراً لأن استطاعة الضجيج متناسبة مع درجة الحرارة فإن الضجيج الموجود على مدخل الجهاز يمكن أن يعبر عنه كتابع لدرجة حرارة بيئة الجهاز (T) ودرجة حرارة الضجيج المكافئة(Te) لتحويل رقم الضجيج إلى تعبير يعتمد على درجة الحرارة فقط انظر الشكل (14.3)

ليكن Nd = استطاعة الضجيج المضافة من قبل مضخم واحد.

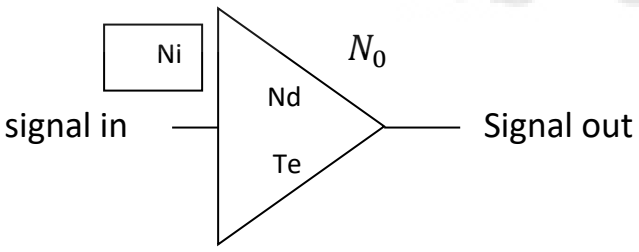
عندئذ $Nd = KTeB$

حيث Te هي درجة الحرارة المكافئة.

ليكن No = استطاعة الضجيج الإجمالية للمضخم .

Ni = استطاعة ضجيج المدخل الإجمالية للمضخم.

A = كسب المضخم.



الشكل (14.3) - Noise figure as a function of temperature.

عندئذ يكون $No = ANi + ANd$

$No = AKTB + AKToB$

وبالتبسيط نحصل على $N_o = AKB\ (T + T_e)$

ويكون رقم الضجيج الإجمالي NF هو :

$$=\frac{(T + T_e)}{T}= 1 + \frac{T_e}{T} NF = \frac{(S/N)_{in}}{(S/N)_{out}} = \frac{S/N_i}{AS/N_o} = \frac{N_o}{AN_i} = \frac{AKB\ (T+T_e)}{AKTB}$$

مثال (5.3) :

في الشكل (13.3) ليكن dB 3=F3 =F2=F1 و dB 10=A3=A2=A1

المطلوب رقم الضجيج الإجمالي .

الحل :

بالتعويض في المعادلة (6.3)لاحظ إن كل الكسب وأرقام الضجيج تم تحويله إلى قيم مطلقة) نحصل على :

$$NF = F_1 + \frac{F_2-1}{A_1} + \frac{F_3-1}{A_1A_2}$$

$$= 2 + \frac{2-1}{10} + \frac{2-1}{100} = 2.11$$

أو 3.24 ديسيبل

إن رقم ضجيج إجمالي قدره (3.24) ديسيبل يدل على نسبة إشارة إلى الضجيج في مخرج A3 هو اقل بمقدار (3.24) ديسيبل من النسبة على مدخل (A1) .

من الواجب وضع رقم الضجيج في الحسبان عند تحديد Cmin يدخل رقم الضجيج في معادلة كسب النظام كفقد مكافئ (شكل أساسي يعادل الكسب في استطاعة الضجيج الإجمالية فقداً مماثلاً في استطاعة الإشارة)

المثال (6.3)

المطلوب في الشكل (15.3) عند وجود كسب نظام قدره (122) ديسيبل ورقم ضجيج إجمالي قدره (6.5) ديسيبل واستطاعة ضجيج مدخل قدرها (104-) ديسيبل ونسبة إشارة إلى ضجيج

دنيا (S/N) out عند مخرج كاشف التعديل الترددي قدرها (32) ديسيبل ، المطلوب حساب استطاعة الموجة الحاملة الدنيا للمستقبل واستطاعة المرسل الدنيا .

الحل :

للحصول على نسبة S/N قدرها (32) ديسيبل من مخرج الكاشف الترددي ، يجب أن تكون النسبة C/N على المدخل (15) ديسيبل بالحل نحصل على :

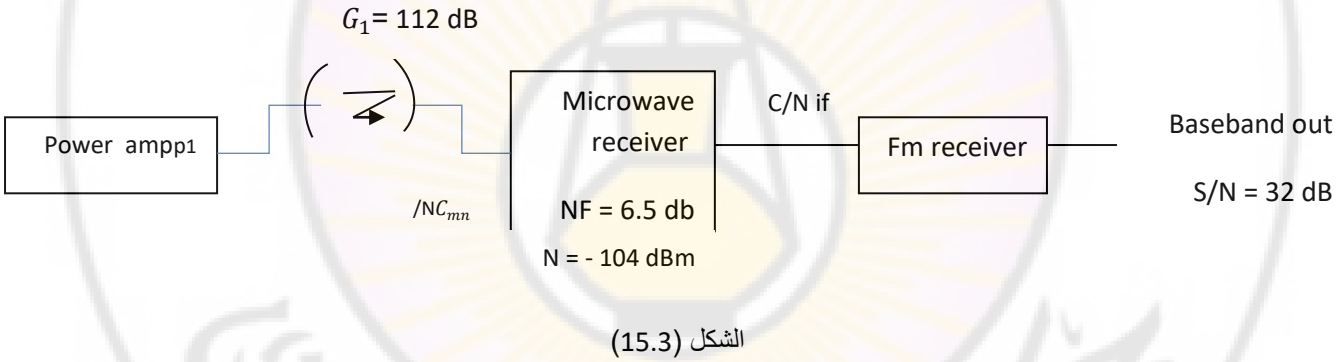
$$\frac{C_{min}}{N} = \frac{C}{N} + NF = 15dB + 6.5dB = 21.5dB$$

$$C_{min} = \frac{C_{min}}{N} + N$$

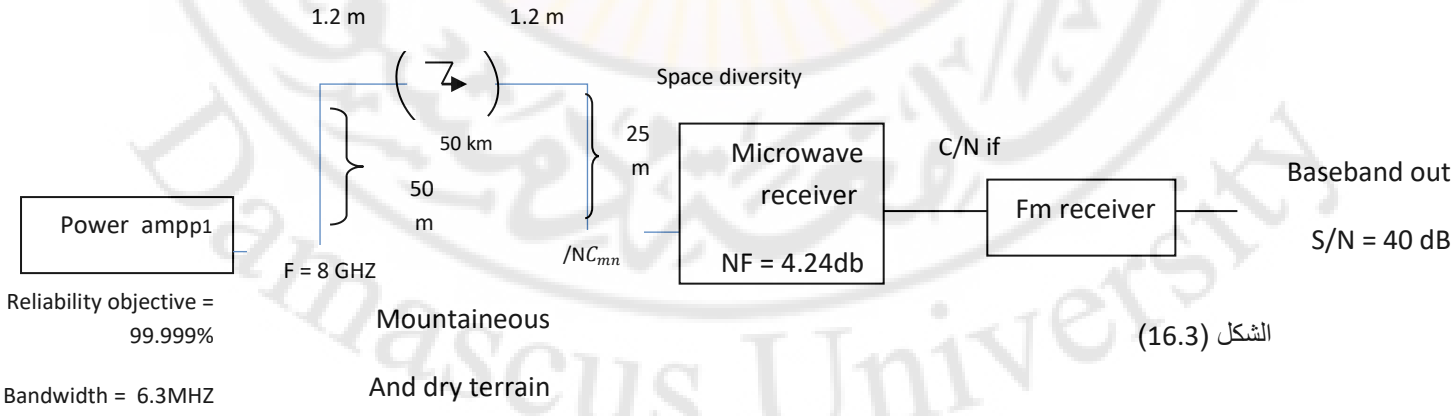
$$= 21.5dB + (-104dBm) = -82.5dBm$$

$$p_1 = G_s + C_{min}$$

$$= 112dB + (-82.5dBm) = 29.5dBm$$



الشكل (15.3)



الشكل (16.3)

المثال 7.3 :

المطلوب في النظام المبين في الشكل (16.3) تحديد

Cmin ,cmin N , Gs

الحل : pt , Gs , N

القيمة الدنيا للنسبة C/N عند مدخل المستقبل (23) ديسيبل

$$=\frac{C}{N} + NF\frac{Cmin}{N}$$

=23dB +4.24 dB =27.24 Db

بالتعويض بالمعادلة (5.3) :

$$N= -174\ dbm + 10\log B$$

$$= -174\ \text{dBm} + 68\ dB = -106\ dBm$$

$$c_{m\,in} = \frac{Cmin}{N} + N$$

= 27.24 db + (- 106 dBm) = - 78.76 dBm

بالتعويض في المعادلة (4.3) :

FM = 30 Log 50 + 10 log [(6) (0.25) (0.125) (8)]

$$-10\log(1-0.99999) - 70$$

= 32.76 db

بالتعويض في المعادلة (3.3) :

$$l_p = 92.4\ dB + 20\log 8 + 20\log 50$$

$$= 92.4\ dB + 18.06dB + 33.98dB = 144.44\ dB$$

من الجدول (1.3)

$$L_P = 4\ dB$$

$$L_F = 0.75(6.5dB) = 4.875\ \text{dB}$$

$$A_t = A_r = 37.8\ dB$$

ملاحظة :

يزداد كسب هوائي أو يقلب التناسب مع مربع قطره. بالتعويض في المعادلة (1.3):

$$G_S = 32.76 + 144.44 + 4.875 + 4 - 37.8 - 37.8 = 110.475dB$$

$$p_t = G_s + C_{min}$$

$$= 110.475dB + (-78.76dBm) = 31.715dBm$$

الأسئلة :

1.3- ماذا يشكل نظام ميكروي قصير المدى ؟ ونظام ميكروي بعيد المدى ؟

2.3- المطلوب وصف إشارة الحزمة الأساسية في نظام ميكروي .

3.3- لماذا تستخدم الأنظمة الميكروية ذات التعديل الترددي والتراكم بتقسيم الزمن تعديلاً ترديا له معامل تعديل منخفض .

4.3- المطلوب وصف محطة تقوية ميكروية ميز بين محطة إعادة بالحزمة الأساسية وبالتردد المتوسط .

5.3- المطلوب تعريف التباين . وتوصيف الأنواع الرئيسية الثلاثة .

6.3- المطلوب وصف نظام انتقال للحماية . قارن بين نوعي الانتقال للحماية .

7.3- المطلوب وصف مختصر للأقسام الرئيسية الأربعة في محطة ميكروية انتهائية

8.3- عرف الالتفاف ringaround

9.3- المطلوب وصف مختصر لنظام ميكروي عال / منخفض

10.3–المطلوب تعريف كسب النظام

11.3–المطلوب تعريف ما يلي : الفقد في مسار الفراغ الحر ، الفقد في التفرع والفقد في خط تغذية الهوائي .

12.3–المطلوب : تعريف حد الخفوت وكذلك توصيف الفقد متعدد المسارات والأهداف الخاصة بطبيعة الأرض والحساسية و الوثوقية وكذلك يؤثر كل ذلك في حد الخفوت

13.3- المطلوب : تعريف عتبة المستقبل

14.3- قارن بين نسبة الموجة الحاملة إلى الضجيج ونسبة الإشارة إلى الضجيج

15.3- المطلوب : تعريف رقم الضجيج

المسائل :

1.3– المطلوب حساب استطاعة الضجيج عند مدخل مستقبل له تردد حامل قدره (4) غيغاهيرتز وعرض مجال (30) ميغا هيرتز (افترض درجة حرارة الغرفة).

2.3- احسب الفقد في مسار إشارة ترددها (3.4) غيغا هيرتز تنتشر (20) كم .

3.3- المطلوب تحديد حد الخفوت لمسار اتصال ميكروي قدره (60) كم .التردد الحامل هو

(6) غيغا هيرتز ، الأرض مستوية جدا وجافة ومتطلبات الوثوقية هي 99.95%

4.3- المطلوب حساب استطاعة الضجيج لعرض مجال قدره (20) ميغاهيرتز عند مدخل المستقبل له درجة حرارة ضجيج عند المدخل قدرها 290 مئوية .

5.3- عند كسب نظام قدره (120) ديسيبل ونسبة C/N دنيا عند المدخل قدرها (30) ديسيبل واستطاعة ضجيج مدخل قدرها 115dbm- المطلوب تحديد الاستطاعة الدنيا للمرسل (p_t)

6.3- المطلوب تحديد مقدار الفقد المقدم لغرض وثوقية 99.98%

7.3- المطلوب تحديد حساب التضاريس لتردد حامل قدره (4) غيغاهيرتز ينتشر على ارض جبلية جافة جدا

8.3- يعمل نظام ميكروي ذو تباين ترددي بتردد حامل قدره (7.4) غيغاهيرتز . التردد الوسيط هو حامل معدل ترديدا ذو عامل تعديل منخفض إشارة إلى عصبة القاعدة هي تلك الخاصة بنظام التنضيد بتقسيم الزمن (1800) قناة كما هي موصوفة في الفصل السادس (564-8284 كيلو هيرتز) الهوائيات هي هوائيات قطع مكافئ بقطر (4.8) متر .تبلغ أطوال مغذي الهوائي

(150) متر عند محطة و(50) متر عند محطة أخرى . الوثوقية المطلوبة هي 99.999 % تنتشر الموجات فوق تضاريس متوسطة ذات مناخ جاف جدا. المسافة بين المحطتين (50) كيلو متر النسبة الدنيا للموجة الحاملة إلى الضجيج عند مدخل المستقبل هي (30) ديسيبل

المطلوب :

- تحديد حد الخفوت , كسب الهوائي , الفقد في مسار الفراغ الحر, الفقد الاجمالي للتوزيع وللمغذيات
- استطاعة الضجيج عند مدخل المستقبل
- cmin
- الاستطاعة الدنيا للمرسل وكسب النظام .

9.3- المطلوب تحديد رقم الضجيج الإجمالي لمستقبل له مضخات للترددات الراديوية لكل منها رقم ضجيج (6) ديسيبل وكسب قدره (10) ديسيبل ومازج لتخفيض التردد له رقم ضجيج (10) ديسيبل وكسب تحويل conversion gain قدره (6-) ديسبيل وكسب تردد وسيط قدره

(40) ديسيبل مع رقم ضجيج (6) دسيبل .

10.3- لمستقبل ميكروي استطاعة ضجيج مدخل قدرها 102 dBm-

ورقم ضجيج إجمالي (4) ديسيبل من اجل نسبة موجة حاملة إلى ضجيج دنيا قدره (20) ديسيبل عند مدخل الكاشف الترددي

المطلوب : تحديد استطاعة الموجة الحاملة الدنيا عند الاستقبال .

الأسئلة النظرية

1. **ماذا يشكل نظام ميكروي قصير المدى؟ ونظام ميكروي بعيد المدى؟**

النظام الميكروي قصير المدى يشكل المرسل الميكروي والمستقبل الميكروي أما النظام البعيد المدى يضاف إليه المقويات الميكروية وذلك لتكبير المسافة بين للإشارات المنقولة بين المرسل والمستقبل.

2. **المطلوب وصف إشارة الحزمة الأساسية في نظام ميكروي؟**

عادة تكون إشارات الحزمة الأساسية هي:

أ. أقنية صوتية منضدة بتقنية التردد.

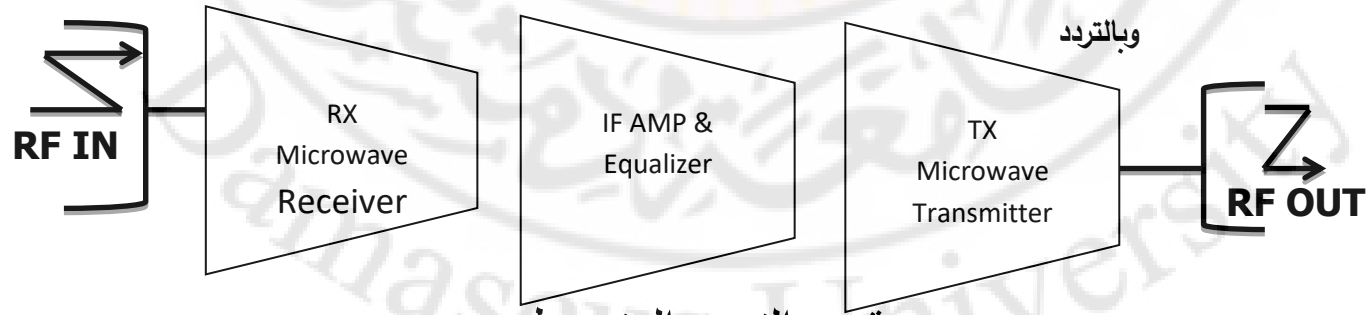
ب. أقنية صوتية منضدة بتقسيم الزمن.

ج. إشارة فيديو مركبة ذات جودة إذاعية وهاتف مرئي.

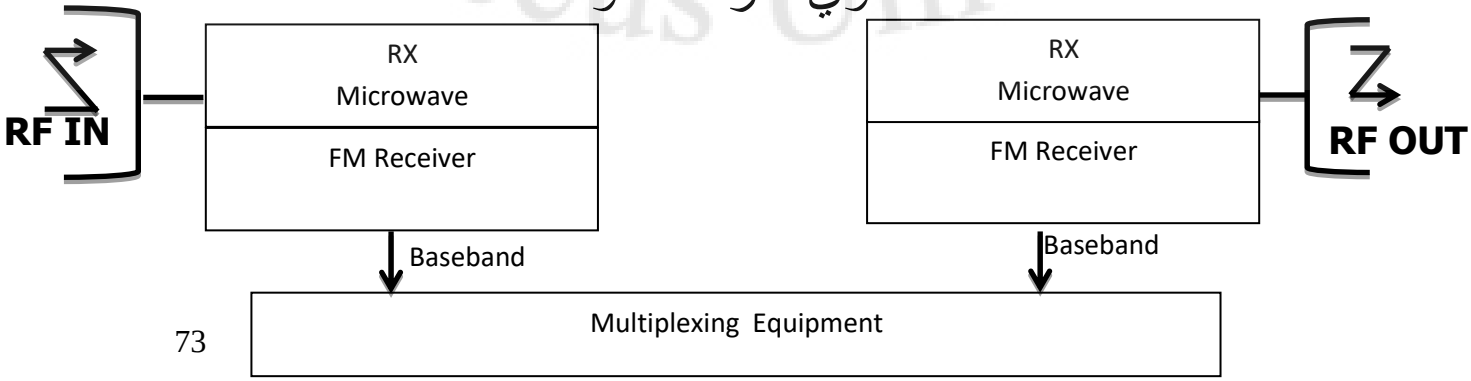
3. **لماذا نستخدم الأنظمة الميكروية ذات التعديل الترددي والتراكم بتقسيم الزمن تعديلاً ترددياً له معامل تعديل منخفض؟**

لتوليد إشارة تعديل ترددي ضيقة عند مخرج المعدل ونتيجة لذلك فإن عرض المجال الوسيط شبه التعديل المطالي ويساوي تقريباً ضعف أعلى تردد لعصبة القاعدة.

4. **المطلوب وصف محطة تقوية ميكروية ، ميز بين محطة إعادة بالحزمة الأساسية وبالتردد**



مقوي التردد المتوسط



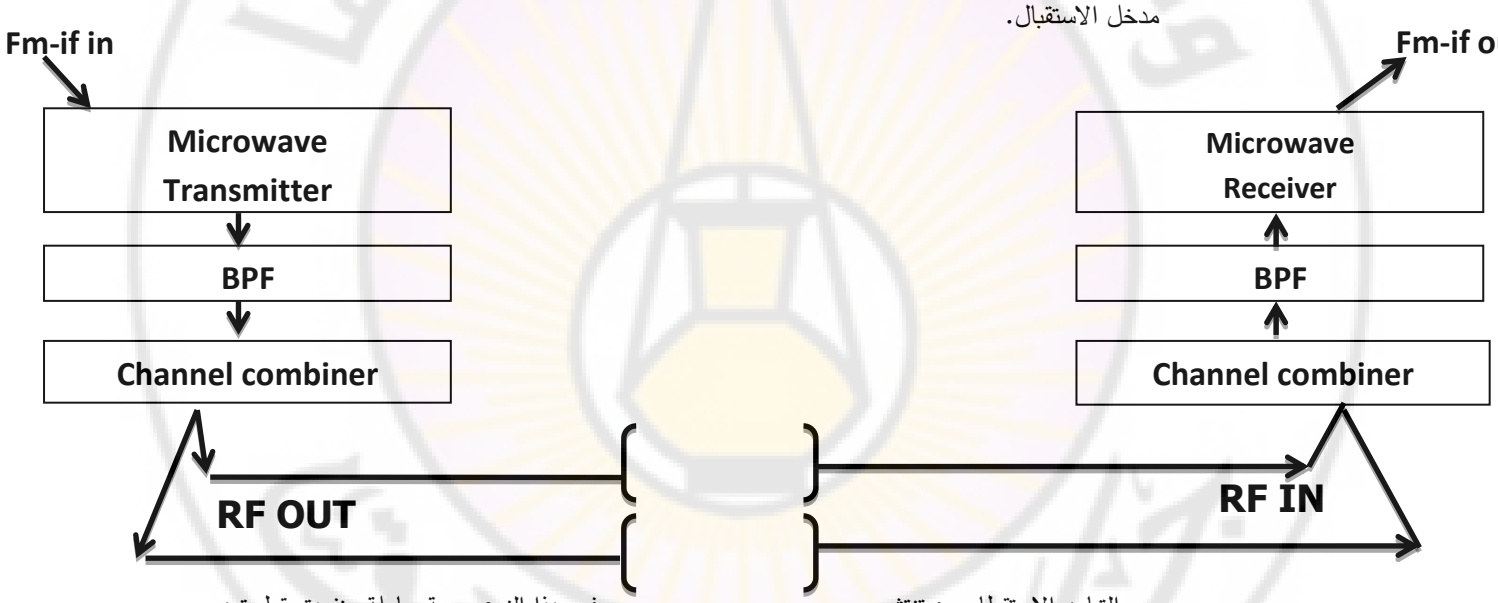
مقوي حزمة أساسية

5. المطلوب تعريف التباين وتوصيف الأنواع الرئيسية الثلاثة؟

التباين يعني وجود أكثر من مسار واحد أو أكثر من طريقة اتصال بين المرسل والمستقبل.

هناك ثلاث أنواع رئيسية للتباين:

أ. التباين الفراغي: يتم في هذا التباين تطبيق مخرج المرسل على هوائيين أو أكثر يتباعدان عن بعضهما بعدد جيد من أطوال الموجات ويمكن في الاستقبال أن يكون هناك أكثر من هوائي يؤمن الإشارة إلى مدخل الاستقبال.



ب. التباين الاستقطابي : تنتشر في هذا النوع موجة حاملة منفردة بقطبيتين كهرطيسيتين مختلفتين (شاقوليه وأفقية).

ج. التباين الترددي:يتم هذا التباين بتعديل موجتين حاملتين مختلفتين بالمعلومات نفسها ثم إرسال الإشارتين إلى المرسل إليه ، يتم في الاستقبال كشف الموجتين الحاملتين وتلك التي تعطي إشارة تردد بسيط أفضل يتم انتقاؤها.

6. المطلوب وصف نظام انتقال للحماية. قارن بين نوعي الانتقال للحماية؟

نظام الحماية هو نظام يستخدم لتفادي خفوت الإشارة العميق أو في حال تعطل الأجهزة يتم تأمين أجهزة تبادلية بشكل مؤقت . بشكل أساسي هناك نوعان من الانتقال للحماية.

أ. الاحتياطي الساخن:

يكون لكل قناة لاسلكية قناة أخرى لدعمها أو قناة احتياطية ويؤمن % 100 حماية لكل قناة لاسلكية عاملة.

ب. التباين:

يجري توفير قناة دعم واحدة لكل قناة عاملة ، يؤمن حماية % 100 فقط للقناة اللاسلكية العاملة التي تتعطل فإذا تعطلت قناة في وقت واحد فإنه يحصل انقطاع في الخدمة.

7. المطلوب وصف مختصر للأقسام الرئيسية الأربعة في محطة ميكروية انتهائية.

أ. وصلة دخول الخط السلكي:

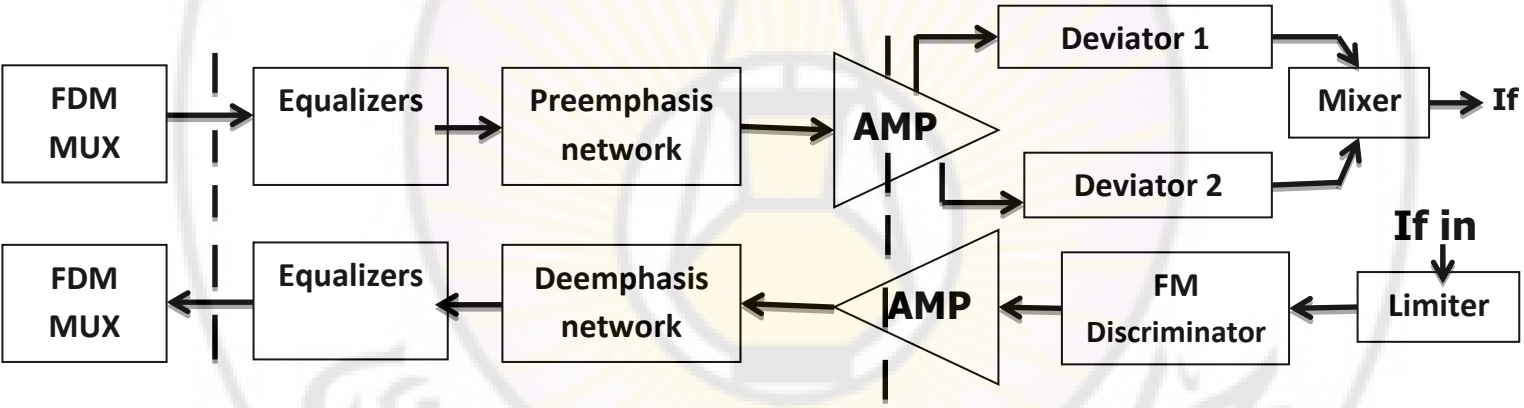
تؤمن هذه الوصلة التوافق بين أجهزة التضيد الانتهائية وأجهزة التردد الوسيط ، تتألف من مضخم ومسوٍ ودارة تركيز مسبق ودارة رفع تركيز.

ب. قسم التردد الوسيط:

تولد الأجهزة الانتهائية للتردد الوسيط تردد حاملاً وسيطاً لمعدل التردد ويتم ذلك بمزج مخرج مذبذبين يزحزح ترددهما ويكون الفارق بين ترددهما هو التردد الوسيط الحامل.

ج. قسم التردد الراديوي.

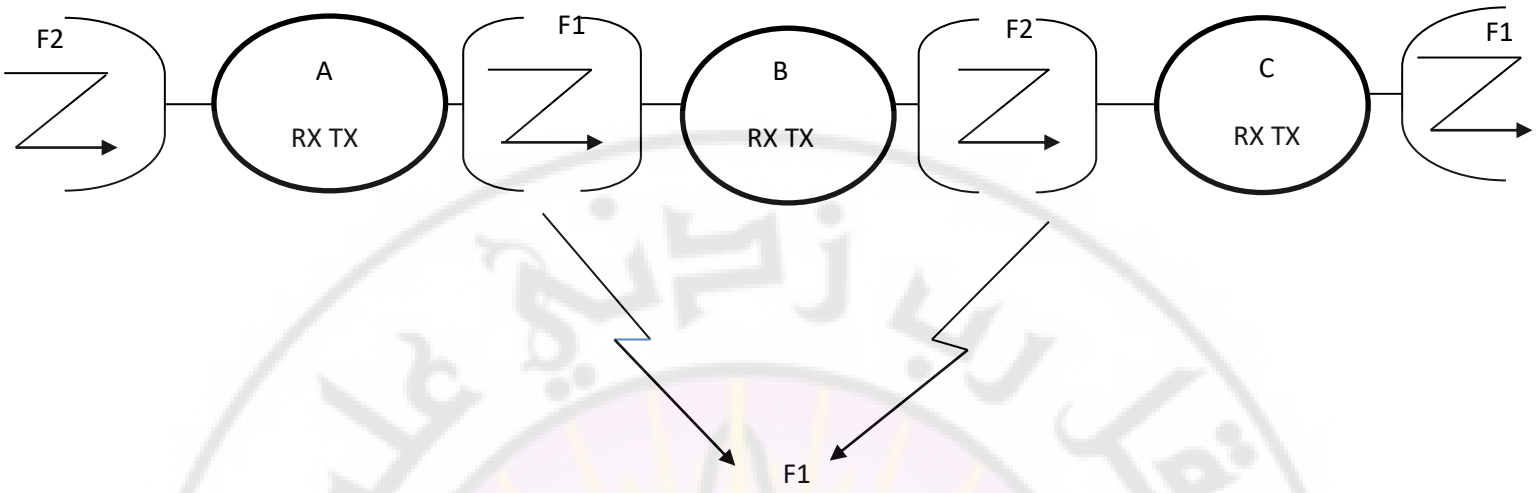
د. العصبة الأساسية.



8. عرف الالتفاف Ring around ؟

إذا استقبلت محطة تقوية تردد حامل راديوي في المجال المنخفض فإنها تعيد إرسال تردد حامل راديوي في المجال العالي والعكس بالعكس. والحالة الوحيدة التي يمكن فيها استقبال حوامل متعددة هي استقبال محطة من أخرى تبعد عنها ثلاث قفزات hope وهذا أمر مستبعد والسبب الآخر لاستخدام خطة ترددات عالية / منخفضة هو لمنع الاستطاعة التي تتسرب من جوانب هوائي الإرسال و خلفه من التداخل مع الإشارة الداخلة إلى مدخل هوائي استقبال مجاور و يدعي ذلك بالالتفاف ويمكن منع الالتفاف إذا كان تردد الإرسال و الاستقبال مختلفين ويتم ذلك في دارة الفصل.

9. **المطلوب وصف مختصر لنظام ميكروي عال / منخفض؟**



10. **المطلوب تعريف كسب نظام؟**

هو الفارق بين استطاعة الخرج الاسمية للمرسل و الاستطاعة الدنيا لمدخل المستقبل وبشكل حقيقي فإنه يمثل الفقد الصافي في النظام اللاسلكي.

رياضياً: Gs=Pt - Cmin

Gs: كسب النظام [ديسبل].

Pt: استطاعة مخرج المرسل [ديسبل].

Cmin: الاستطاعة الدنيا عند مدخل المستقبل.

11. **المطلوب تعريف ما يلي :**

الفقد في مسار الفراغ الحر ، الفقد في التفرع ، الفقد في خط تغذية الهوائي؟

أ-**الفقد في مسار الفراغ الحر** :هو الفقد الذي يطرأ على الموجة الكهرطيسية وهي تنتشر في خط أفقي في فراغ ليس فيه امتصاص أو انعكاس للقدرة على أجسام محيطة

$$L_p = \left(\frac{4\pi D}{\lambda}\right)^2 = \left(\frac{4\pi F D}{C}\right)^2$$

D :المساحة ،λ:طول الموجة ، F : التردد ، C : سرعة الضوء في الفراغ الحر.

ب_ الفقد في التفرع:هو الفقد في المداورات والمرشحات ودارات التوزيع بين مخرج المرسل أو مدخل المرسل ودليل الموجه الخاص به.

ج – الفقد في خط تغذية الهوائي :الفقد في دليل الموجة بين دارة التوزيع والهوائي.

12. **المطلوب تعريف حد الخفوت وكذلك توصيف الفقد متعدد المسارات والأهداف الخاصة بطبيعة الأرض والحساسية والوثوقية وكيف يؤثر كل ذلك في حد الخفوت؟**

إن حد الخفوت هو عامل غير فعلي يضاف إلى علاقة كسب النظام عند اعتماد الخصائص الغير مثالية و الأقل تنبؤاً في انتشار الموجة اللاسلكية مثل الانتشار المتعدد المسارات والحساسية لطبيعة الأرض تسبب هذه الخصائص أحوالا جوية غير طبيعية وتغير بشكل مؤقت الفقد في مسار الفراغ الحر وهي أمور حاسمة عادة لأداء النظام بكامله يضاف حظ الخفوت كفقد في معادلة كسب النظام ثابت أهداف الوثوقية الحساسية للتضاريس تأثير تعديل المسارات.

$$FM= 30\log(D) +10\log(6ABF) -10\log(1-R) -70$$

$$Cmin = CN + N\ [dB]\ N = KTB$$

$$[dBm] = 10\log KTB0.001=10\log KT0.001+10\log B$$

13. **المطلوب تعريف عتبة المستقبل؟**

هي استطاعة الموجة الحاملة العريضة المجال و الدنيا عند مدخل المستقبل والتي تولد مخرج عصبة أساسية مفيدة.

14. **قارن بين نسبة الموجة الحاملة إلى الضجيج ونسبة الإشارة إلى الضجيج؟**

إن نسبة الموجة الحاملة إلى الضجيج C/N هي نسبة الموجة الحاملة عريضة المجال (عملياً ليس فقط الموجة الحاملة ولكن الموجة الحاملة مع الحزم الجانبية) إلى استطاعة الضجيج العريض المجال (عرض مجال الضجيج للمستقبل) يمكن تحديد هذه النسبة على مستوى التردد الراديوي أو على مستوى التردد الوسيط في جهاز الاستقبال. عملياً ان هذه النسبة هي نسبة إشارة إلى الضجيج قبل الكشف أما نسبة الإشارة S/N فهي نسبة بعد الكشف.

15. **المطلوب تعريف رقم الضجيج؟**

رقم الضجيج F هو نسبة الإشارة إلى الضجيج في جهاز مثالي خالٍ من الضجيج مقسوماً على نسبة الإشارة إلى الضجيج عند مخرج مضخم أو مستقبل رياضياً.

$$F = (SN/)in(SN/)out\ F[dB] = 10\log(SN/)in(SN/)out$$

المسائل

1. **المطلوب حساب استطاعة الضجيج عند مدخل مستقبل له تردد حامل قدره 4 غيغاهيرتز وعرض مجال 30 ميغاهيرتز ؟**

$$N=KTB=(1.38)(10\text{-}23)(290)(30)(10^6)$$

$$[dBm]=10\log(1.38)(10\text{-}23)(290)0.001+10\ \log 30x10^6=-99.2$$

2. **احسب الفقد في مسار إشارة ترددها 3.4 غيغاهيرتز تنشر 20 كم؟**

$$[dB]= 20\log\pi C+20\log D=92.4+20\log 3.4+20\log 20=129.65\ dB$$

3. **المطلوب تحديد حد الخفوت لمسار اتصال ميكروي قدره 60 كم، التردد الحامل هو 6 غيغاهيرتز، الأرض مستوية جداً وجافة ومتطلبات الوثوقية هي 99.95%؟**

$$FM=30\log D+10\log(6ABF)-10\log(1-R)-70$$
$$FM=30\log 60+10\log(6x4x0.125)-10\log(1-99.95)-70=196.3548\ dB$$

4. **المطلوب حساب استطاعة الضجيج لعرض مجال قدره 20 ميغاهيرتز عند مدخل مستقبل له درجة حرارة ضجيج عند المدخل قدرها 290 مئوية؟**

أولا درجة الحرارة بالكلفن: 291+273=563

5. **عند كسب نظام قدره (120) ديسيبل ونسبة C/N دنيا عند المدخل وقدرها (30) ديسيبل واستطاعة ضجيج مدخل قدرها (-115dBm) المطلوب تحديد الاستطاعة الدنيا للمرسل (Pt)؟**

$$GS = Pt - Cmin \qquad N=KTB$$
$$[dBm]=10\log KTB0.001=10\log KT0.001+10\log B=-98.0858\ [dBm]$$
$$Cmin = CN + N[dB]$$
$$Cmin = 30 + (-115) = -85(dBm)$$

6-3 المطلوب تحديد مقدار الفقد المقدم لغرض وثوقيه 99.98%؟

$$FM = 30\log(D) + 10\log(6ABF) - 10\log(1 - R) - 70$$

7-3 المطلوب تحديد حساسية التضاريس لتردد حامل قدره (4) غيغا هيرتز ينتشر على أرض جبلية جافة جداً؟

$$FM = 30\log(D) + 10\log(6ABF) - 10\log(1 - R) - 70$$

6.
$$X = 10\log(6ABF) = 10\log(6 \times 1 \times 0.125 \times 4) = 4.77$$

8-3 يعمل نظام ميكروي ذو تباين ترددي بتردد حامل قدره (7.4) غيغاهيرتز. التردد الوسيط هو حامل معدل ترددياً ذو عامل تعديل منخفض إشارة الى عصبة القاعدة هي تلك الخاصة بنظام التنضيد بتقسيم الزمن (1800) قناة كما هي موصوفة في الفصل السادس (564–8284 كيلو هيرتز) الهوائيات هي هوائيات قطع مكافئ بقطر (4.8) متر . تبلغ أطوال مغذي الهوائي (150) متر عند محطة و(50) متر عند محطة أخرى الوثوقية المطلوبة هي 99.999% تنتشر الموجات فوق تضاريس متوسطة ذات مناخ جاف جداً المسافة بين المحطتين (50) كيلو متر النسبة الدنيا الموجة الحاملة إلى الضجيج عند مدخل المستقبل هي (30) ديسيبل.

المطلوب:

أ–تحديد حد الخفوت – – الفقد في مسار الفراغ الحر – **استطاعة الضجيج** الفقد الإجمالي للتوزيع وللمغذيات.

$$FM=30\log D+10\log(6ABF)-10\log(1-R)-70$$

$$FM= 30\log 50+10\log(6*1*0{,}125*7.4)-10\log(1-0.99999)-70 = 38.412 \text{ dB}$$

كسب الهوائي : نجد أن كسب الهوائي الذي أبعاده 4 متر هي 49 ديسبل من الجدول7

الفقد في مسار الفراغ الحر:

$$dB=20\log 4\pi C +20\log F+20\log D = 92.4+20\log 7.4+20\log 50=139.82 \text{ dB}$$

الفقد الإجمالي للتوزيع والمغذيات: أيضا من الجدول نجد أنه من أجل نظام تباين ترددي تكون:

$$LP=3dB$$

$$N[dBm]= 10\log KTB/0.001= 10\log KT /0.001+10\log B$$

$$B= 8284-564= 7720 \text{ KHZ}$$

$$N[dBm]= -174dBm+10\log 7720*103 = -75.12 \text{ [dBm]}$$

استطاعة الضجيج:

حساب الاستطاعة الدنيا وكسب النظام:

$$GS=PT-Cmin>=LP+LB+LF+FM-AT-AR$$

$$GS=LP+LB+LF+FM-AT-AR=102.27dB$$

$$Pt=GS+Cmin=\ 27.15\ dBm$$

9-3 المطلوب تحديد رقما لضجيج الإجمالي لمستقبل له مضخمات التردد الراديوية لكل منها رقم ضجيج قدره (6) ديسبل وكسب قدره (10) ديسبل ومازج لتخفيض التردد له رقم ضجيج (10) ديسبل وكسب تحويل conversion gain قدره(6-) ديسبل وكسب تردد وسيط قدره (40) ديسبل له رقم ضجيج (6) ديسبل ؟

$$NF=F1+F2-1A1+F3-1A1A2$$

$$NF=6+10-110+6-110\times-6=6.8dB\cong 7dB$$

3-10 لمستقبل ميكرو باستطاعة ضجيج مدخل قدرها (102-)dBm ورقم ضجيج إجمالي(4) ديسبل من اجل نسبة موجة حاملة إلى ضجيج دنيا قدرها(20) ديسبل عند مدخل الكاشف الترددي؟

المطلوب تحديد استطاعة الموجة الحاملة الدنيا عند الاستقبال.

$$Cmin\ N=CN+NF=20+4=24dB$$

⇨

$$Cmin=CminN+N=24Cmin=-78dBm$$

الفصل الرابع

الاتصالات عبر التوابع الصنعية SATELLITE

مقدمة:

أصدرت شركة AT&T في أوائل الستينات دراسة تدل أن عددا قليلا من التوابع الصنعية المقتدرة ذات التصميم المتقدم يمكنها أن تتولى حركة اتصالات أكثر من كل الاتصالات البعيدة لشبكة هذه الشركة. تم حساب كلفة هذه التوابع الصنعية و تبين أنها تشكل جزءاً من شبكة أرضية ميكروية مكافئة . و لكن من سوء الحظ نظراً لكون الشركة شركة خدمات فلم تسمح الأنظمة الحكومية لها بتطوير نظم التوابع الصنعية. ترك أمر تطوير هذه النظم إلى شركات استثمار أصغر بكثير واستمرت شركةAT&T في توظيف مليارات الدولارات كل عام على الأنظمة الميكروية الأرضية التقليدية.

لذلك جاءت التطورات الأولى في تقانة التوابع الصنعية بطيئة ازدادت خلال السنوات أسعار أكثر البضائع والخدمات بشكل كبير إلا أن خدمات الاتصالات عبر التوابع الصنعية أصبحت أرخص مع كل عام . تعطي أنظمة التوابع الصنعية في أكثر الأحوال مرونة أكبر من الكوابل البحرية والكوابل الأرضية والأنظمة الميكروية ذات خط النظر المباشر واللاسلكي التروبوسفيري المتناثر SCATTERوأنظمة الألياف الزجاجية.

ان التابع الصنعي هو محطة تقوية معلقة في السماء وتسمى (transponder) يتألف نظام التابع الصنعي ومحطة أرضية للتحكم في عمله وشبكة مستثمرين من المحطات الأرضية تؤمن إرسال حركة الاتصالات واستقبالها عبر التابع الصنعي. تصنف اتصالات التوابع الصنعية إما كباص (bus)أو كحمل (payload). يتضمن الباص اليات التحكم التي تدعم عملية الحمل.ان الحمل هو معلومات المستثمر الفعلية التي تنتقل عبر النظام. ومع ان خدمات نقل المعلومات والبرامج التلفزيونية ازدادت بالفترة الأخيرة الا ان نقل المكالمات الهاتفية لا يزال(بالشكل التمثيلي او الرقمي) يشغل حيز الأكبر من الحمل في التوابع الصنعية.

تاريخ التوابع الصنعية:

ان ابسط طراز من التوابع الصنعية هو العاكس السلبي passive reflector وهو أداة تعكس الإشارة ببساطة من مكان الى اخر. ان التابع الصنعي هو تابع طبيعي للأرض وبالتالي ففي نهاية اربعينات واوائل الخمسينات كان تابع هو اول محطة إعادة بث transponder فضائية. وفي عام 1954 استطاعت البحرية الأميركية بنجاح ارسال اول رسائل عبر مسار الأرض_التابع_الارض. وفي عام 1965 أقيمت خدمة ربط بين واشنطن العاصمة وجزيرة هاواي واستمر هذا الاتصال المضمون حتى عام 1962 ولم يكن يعيقه سوى عدم وجود التابع نفسه. في عام 1957أطلق الاتحاد السوفييتي التابع الصنعي سبوتنيك الأول وكان اول تابع صنعي فعال active. يستطيع التابع الصنعي الفعال استقبال المعلومات وتكبيرها ثم إعادة ارسالها بين محطتين أرضيتين. أرسل التابع الصنعي هذا معلومات قياس عن بعد telemetry لمدة 21 يوما. بعد ذلك أطلقت الولايات المتحدة التابع الصنعي exploreti الذي استمر في ارسال معلومات القياس عن بعد لمدة 5أشهر.

في عام 1958أطلقت وكالة الفضاء الأميركية (ناسا) التابع score ذا ال 150 رطلا وذا الاسقاط المخروطي الشكل وكان عليه مسجلة وقد أعاد بث رسالة الميلاد للرئيس ايزنهاور. وكان هذا التابع اول تابع صنعي لإعادة ارسال المعلومات فقد كان يستقبل المعلومات من الأرض ويخزنها على شريط مغناطيسي ثم يعيد إرسالها الى المحطات الأرضية.في عام 1960أطلقت ناسا مع مخابر بيل للهاتف ومخبر الدفع النفاث get propulsion التابع echo الذي كان بالونا بلاستيكيا بقطر 100قدم ومغطى بطبقة من الالمنيوم. كان هذا التابع يعكس الإشارات اللاسلكية القادمة من هواء ارضي كبير.

كان هذا التابع بسيطا وموثوقا ولكنه تطلب استطاعة عالية جدا من المحطة الأرضية. فقد تم اول اتصال فضائي عبر المحيط الأطلسي باستخدام هذا التابع. كذلك أطلقت وزارة الدفاع الأميركية في عام 1960 التابع courier الذي كان يرسل 3 واط واستمر عمله 17يوم.

في عام 1962أطلقت شركة at&t التابع Telstar وكان اول تابع يستقبل ويرسل في ان واحد. تعطلت الأجهزة الالكترونية في هذا التابع بسبب الاشعاع الناتج عن حزم فان الين van Allen المكتشفة حديثا وبالتالي استمر عمله فقط بضعة أسابيع. ثم تم إطلاقTelstar ii وكان يماثل التابع السابق الكترونيا ولكنه كان أكثر صمودا للإشعاع. تم هذا الاطلاق في عام 1963 وقد استخدم هذا التابع لإرسال المكالمات الهاتفية والاشارات التلفزيونية والصور facsimile ونقل المعطيات. وبهذا التابع تم اول انجاز لإرسالتلفزيوني فضائي. كانت التوابع الصنعية الأولى من النوعين السلبي والفعال يقوم التابع السلبي بوساطة بعكس الإشارة الى الأرض ولا توجد أجهزة تضخيم او مقويات لإعادة ارسال على متنه. أما التابع الصنعي الفعال فهو يقوم بإعادة الارسال الكترونيا (أي يستقبل ويقوي ويعيد الإرسال). ان ميزة التوابع السلبية هي إنها لا تحتاج الى أجهزة الكترونية معقدة على متنها وان كانت تحتاج أحيانا الى تغذية لان بعض التوابع السلبية تتطلب ارسال إشارة منارة beacon لاسلكية لأغراض الملاحقة وقياس المسافة. المنارة هي موجة حاملة غير معدلة تستطيع ان ترتبط بها المحطة الأرضية وان تستعملها لتوجيه الهوائي او لتحديد موقع التابع بدقة. سيئة التابع السلبي هي في سوء كفايته عند تداوله للاستطاعة المرسلة. فمثلا في تابع أجنبيecho كان يعود جزء من استطاعة المحطة الأرضية الى الهوائي الأرضي.

التوابع الصنعية المدارية orbital:

ان كل التوابع التي ذكرناها حتى الآن هي من النوع المداري أي غير المتزامن nonsynchronous. أي إنها تدور حول الأرض على ارتفاع منخفض وبمدار بيضاوي elliptical أو دائري وبسرعة زاوية angular velocity سباقة prograde او تراجعيةretrograde عن سرعة الأرض. وبالتالي فأنها إما ان تسبق دوران الأرض أو تتأخر عنه بحيث لا تبقى ثابتة بالنسبة لأية نقطة على الأرض. وبالتالي تستخدم فقط في أثناء توافرها والذي لا يزيد على 15 دقيقة لكل مدار. السيئة الأخرى للتوابع المدارية هي الحاجة الى أجهزة ملاحقة معقدة وغالية في المحطات الأرضية. فكل محطة أرضية يجب ان تجد التابع الصنعي وهو يشرق عند كل مدار ثم تلاحقه بهوائي حتى مغيبه. توجد لهذه التوابع ميزة أساسية وهي عدم ضرورة وجود صواريخ دفع على متنها لإبقائها في مدارها. من أكثر نظم التوابع الصنعية المدارية اهتماما النظام السوفييتي (مولينا). وهو حاليا النظام التجاري غير المتزامن الوحيد في

العالم. يستخدم هذا النظام مدارا بيضاويا يبلغ فيه أقصى ارتفاع apogee أربعين ألف كيلومتر وأقل ارتفاع perigee ألف كيلومتر (انظر الشكل 1.4). في نظام مولينا يكون الارتفاع الأقصى فوق نصف الكرة الشمالي والارتفاع الأقل فوق نصف الكرة الجنوبي.تم اختيار المدار البيضاوي بحيث يكون الدور period مساويا تماما نصف اليوم الفلكي للأرض ولذلك فإن شكل المدار متزامن مع دوران الأرض. وخلال دور المدار في (12) ساعة يبقى التابع الصنعي لمدة(11) ساعة فوق نصف الكرة الشمالي.

التوابع الصنعية الثابتة في المدارgeostationary :

هذه التوابع تدور في مدار دائري حول الأرض بسرعة زاوية تساوي سرعة الأرض ولذلك يبقى هذا التابع في نقطة ثابتة بالنسبة لأي نقطة على الأرض . ميزة هذه الطريقة هي توافر التابع الصنعي للمحطات الأرضية الموجودة في خياله 100% من الوقت. يتضمن ظل التابع الصنعي كل المحطات الأرضية التي تستطيع رؤية التابع الصنعي وتقع ضمن مخطط اشعاع هوائية. إما سيئة هذه الطريقة فهي ضرورة وجود أجهزة معقدة وأجهزة دفع ثقيلة لإبقاء التابع الصنعي في مدار ثابت. إن زمن دوران التابع الثابت حول الأرض هو 24ساعة مثل زمن دوران الأرض حول نفسه. كانت المحاولة الأولى لوضع تابع صنعي متزامن هي في شهر شباط عام 1963بالتابع syncom I ولكنها فشلت. ثم تم بنجاح syncomII وsyncomIII في عامي 1963 و 1964واستخدم ثانيهما لنقل الألعاب الأولمبية من طوكيو. وقد بين هذا المشروع إمكان نجاح التوابع الصنعية ذات المدار الثابت. بعد هذا المشروع قامت دول متعددة وشركات خاصة بنجاح بإطلاق توابع صنعية تستخدم حاليا لتامين اتصالات وطنية او إقليمية او دولية. يوجد الان ما يزيد على ثمانين نظام اتصال فضائي. تؤمن هذه الأنظمة مكالمات هاتفية ودارات نقل معطيات ونقل تلفزيوني واذاعي اتصالات هاتفية متحركة وشبكات خاصة للشركات وللوكالات الحكومية وللاستخدامات العسكرية تملك أكثر من مئة دولة مؤسسةIntelsatالتي تمتلك شبكة تجارية عالمية للاتصالات عبر التوابع الصنعية وتدار من قبل هيئات الاتصال المخصصة في دولها المقابلة. تؤمن هذه المؤسسة خدمات ذات جودة ووثوقية عاليتين لأعضائها يبين الجدول1.8لائحة جزئية لأنظمة دولية ووطنية للاتصالات عبر التوابع الصنعية.

أشكال المدارات: بعد إطلاق التابع الصنعي يبقى في مداره لان القوة النابذة centrifugal الناتجة عن دورانه حول الأرض تتم معاكستها بالجاذبية الأرضية. كلما كان التابع أقرب الى الأرض في دورانه كانت جاذبية الأرض أكبر وبالتالي كانت سرعة الدوران اللازمة لإبقائه في المدار أعلى تسير التوابع الصنعية التي تدور في مدارات منخفضة (100-300 كيلو متر) بسرعة نحو (17500)ميل في الساعة وتدور حول الأرض نحو الساعة ونصف الساعة، لذلك فأن مدة بقائها في مجال رؤية محطة هي قرابة ربع الساعة في كل دورة حول الأرض. أما التوابع الصنعية التي تدور في مدارات متوسطة الارتفاع (6000-12000) ميل فيستغرق

دورانه حول الأرض بين (5)و (12) ساعة وتبقى في مجال رؤية محطة أرضية. بين الساعتين أربع ساعات. أما التوابع الصنعية الثابتة المتزامنة والتي تدور في مدار ارتفاعه بين (25000-19000) ميل فتسير بسرعة (6879) ميلاً في الساعة.

الجدول (1.4): أنظمة الاتصالات عبر الأقمار الصناعية الحالية

النظام					
	Westar	Intelsat v	SBS	Fleet Sitcom	Anik D
المشغل	Western Union Telegraf	Intelsat	Satellite Business Systems	وزارة الدفاع الأمريكية	كنداTelsat
مجال التردد	C	Ku , c	Ku	X , UHF	Ku , c
التغطية	الولايات المتحدة	عالميي إقليمي بقعي	الولايات المتحدة	عالمي	كندا وشمال الولايات المتحدة
عدد المقويات	12	21	10	12	24
عرض المجال المقوي ميغا هرتز	36	77.36	43	0.005-0.5	36
استطاعة المرسل للاتجاهيةDBW	33	23.5-29	40- 43.7	26-28	36
تعدد الوصول	تراكم تقسيم التردد وتراكم تقسيم الزمن	تراكم تقسيم التردد وتراكم تقسيم الزمن	تراكم تقسيم الزمن	تراكم تقسيم التردد	تراكم تقسيم التردد
التعديل	ترددي رباعي الأطوار	ترددي رباعي الأطوار	رباعي الأطوار	ترددي رباعي الأطوار	تقسيم ترددي وتوزيع تلفزيوني وتراكم ترددي حامل لكل قناة
الخدمة	ثابتة ,القياسات , برق	ثابت , القياسات والتوزيع التلفزيوني	ثابت ,القياسات والتوزيع التلفزيوني	عسكري متحرك	ثابت قياسات

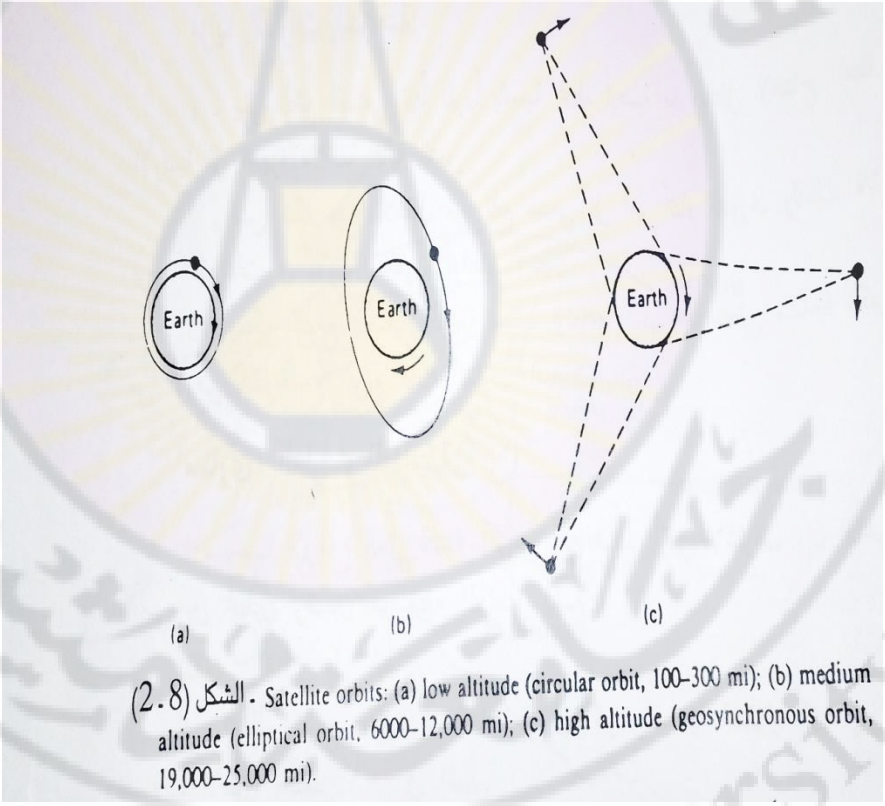
المجالc : **6.425-3.4 غيغاهيرتز** **برقTTY**

المجالKU : **14.5-10.95 غيغاهيرتز** **توزيع تلفزيونيTVY**

المجال x: **8.4-7.25 غيغاهيرتز** **تراكم تقسيم ترددFDMA**

الولايات المتحدة cansus **تراكم تقسيم زمن TDMA**

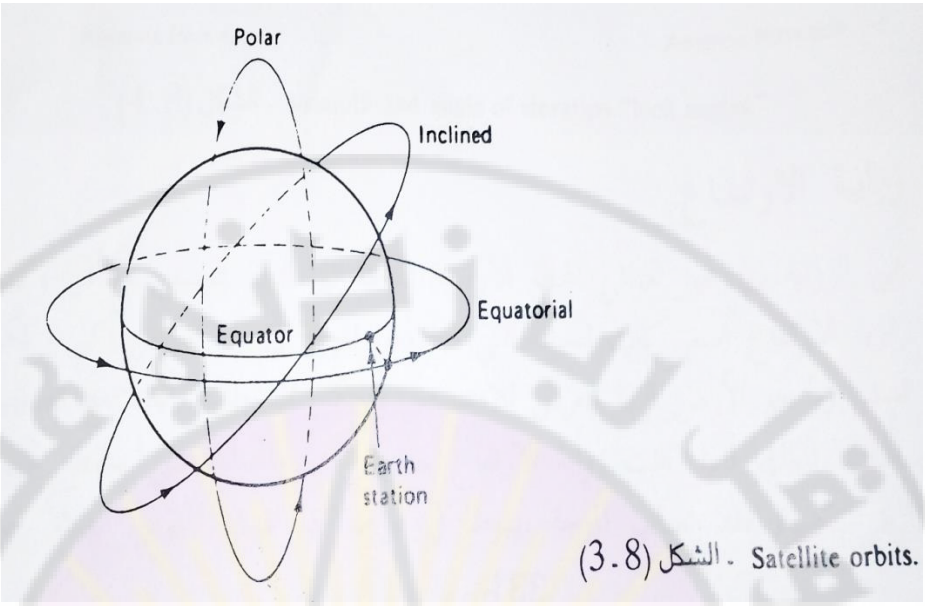
ويستغرق دورانها حول الأرض نحو (24) ساعة وهي مدة دوران الأرض نفسها حول نفسها ولذلك فهي تبقى في مكان ثابت بالنسبة للأرض ومجال الرؤية من محطة أرضية لها (24) ساعة. يبين الشكل 2.4 مدارات منخفضة ومتوسطة وعالية. ويتضح انه يمكن بوساطة ثلاثة توابع صنعية على ابعاد متساوية وفي مدار استوائي متزامن تغطية كامل الكرة الأرضية ما عدا منطقتين القطبين غير المأهولتين.



الشكل (2.8) - Satellite orbits: (a) low altitude (circular orbit, 100–300 mi); (b) medium altitude (elliptical orbit, 6000–12,000 mi); (c) high altitude (geosynchronous orbit, 19,000–25,000 mi).

يبين الشكل 3.4 المسارات الثلاثة التي يمكن أن يتخذها تابع صنعي بدورانه حول الأرض. فإذا دار فوق خط الاستواء سمي مدار استوائي بينما إذا دار فوق القطبين فيسمى المدار القطبي. وأي مدار آخر يسمى المدار المائل.

من الممتع أن نلاحظ أنه يمكن تغطية 100% من سطح الأرض بوساطة تابع صنعي واحد يدور في مدار قطبي وتتم تغطية كل نقطة مرتين يومياً.



الشكل (3.8) - Satellite orbits.

ملخص:

مزايا المدارات المتزامنة:

1- يبقى التابع الصنعي ثابتاً تقريباً بالنسبة لمحطة أرضية ما وبالتالي لا تحتاج المحطة الأرضية إلى أجهزة ملاحقة غالية الثمن.
2- ليس هناك داعي للانتقال من تابع صنعي آلي آخر أثناء الدوران ولذلك فلا توجد انقطاعات في الإرسال بسبب أوقات الانتقال.
3- يمكن للتوابع الصنعية المتزامنة بسبب ارتفاعها الكبير أن تغطي مساحة أكبر من الأرض بالمقارنة مع التوابع ذات المدارات المنخفضة.

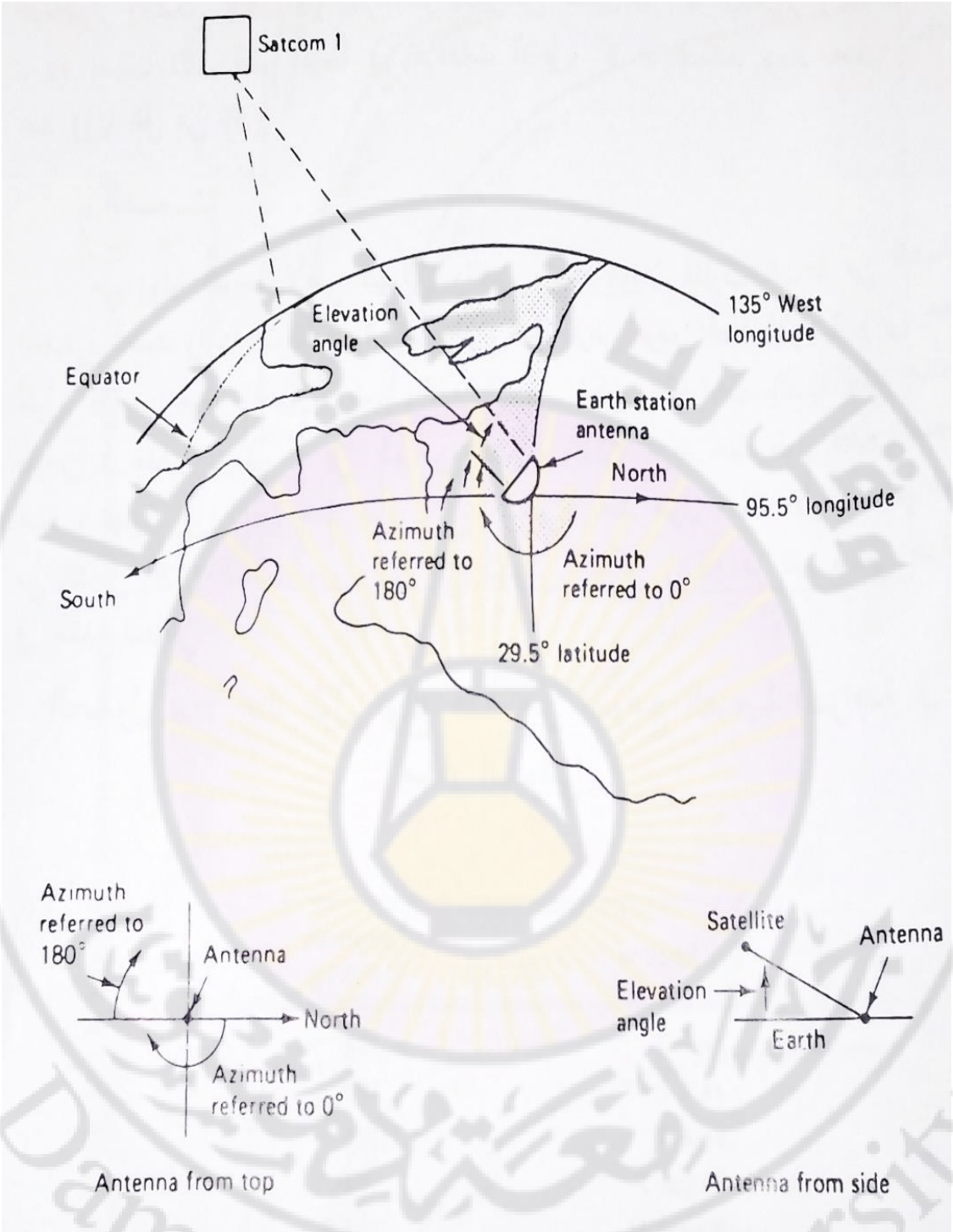
مساوئ المدارات المتزامنة.

1- بسبب الارتفاع العالي للمدار المتزامن زمن انتشار أكبر للإشارات وان التأخير الزمني بين محطتين أرضيتين عبر التابع المتزامن يبلغ (500-600 ميلي ثانية).
2- تتطلب التوابع المتزامنة استطاعات إرسال أكبر وحساسية استقبال أكبر بسبب المسافات الأطول والفقد الأكبر في المسار.

3- يحتاج وضع تابع صنعي متزامن في مداره الصحيح وفي النقطة اللازمة دقة في الملاحقة الفضائية. كما يحتاج التابع إلى محركات دفع لا بقائه على الدوام في مداره.

زوايا النظر look angles:

من الضروري لتوجيه هوائي إلى تابع صنعي معرفة زاوية الارتفاع elevation والسمت azimuth الشكل 4.4 وتسمى هاتان الزاويتان زاويتي النظر.



الشكل (4-4)

زوايا الارتفاع:

هي زوايا بين محور هوائي المحطة الأرضية الموجة إلى التابع الصنعي والأفق وكلما كانت زاوية الارتفاع أصغر كانت المسافة التي ستقطعها الموجة في جو الأرض أكبر وككل موجة تنتشر في جو الأرض فإنها تتعرض للامتصاص ويمكن إن يختلط أيضا مع الضجيج بصورة حادة. لذلك فإذا كانت زاوية الارتفاع صغيرة جدا والمسافة التي ستقطع ضمن جو الأرض كبيرة

فقد تصاب الموجة بهبوط في مواصفاتها بحيث لا تؤمن اتصالاً جيدا بشكل عام تعد زاوية قدرها 5درجة الزاوية الصغرى المقبولة كزاوية ارتفاع. يبين الشكل 5.4 كيف تؤثر زاوية الارتفاع في قوة الإشارة بسبب امتصاص جو الأرض والامتصاص الناتج عن الضباب والامتصاص الناتج عن المطر الغزير. ويتبين ان المجال 12\14 جيجا هرتز (الشكل ل5.4-b) يتأثر أكثر بكثير من المجال4\6جيجا هرتز (الشكل 5.4-a) وسبب ذلك قصر الموجة في الترددات الأعلى. كما أن التخامد يزداد بصورة حادة عند زوايا أقل من5.

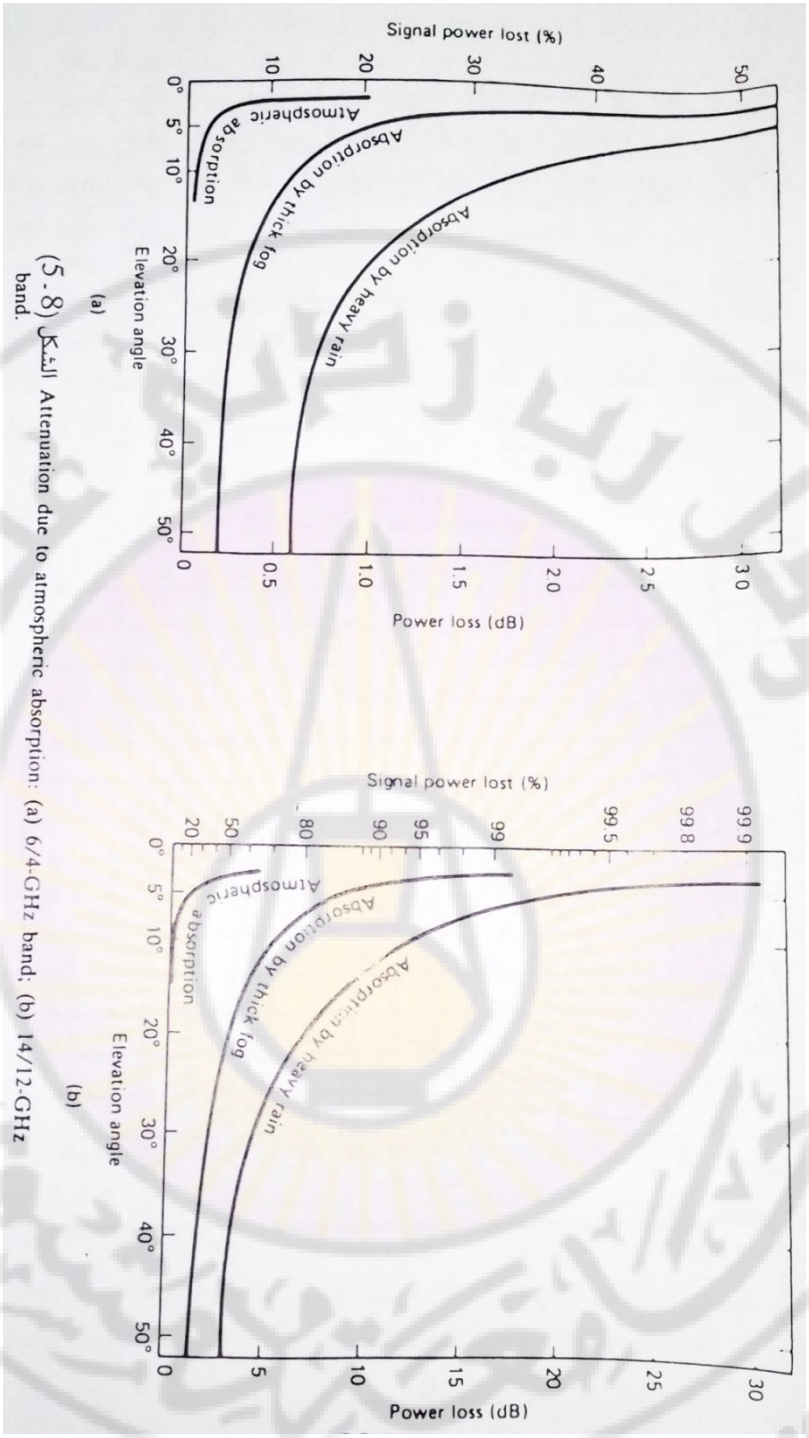
السمت:

هي زاوية التوجه الأفقي للهوائي وتقاس باتجاه دوران عقارب الساعة من الشمال الحقيقي، تعتمد زاويتا الارتفاع والسمت على خط عرض موقع المحطة الأرضية وعلى خط طول كل من موقع المحطة الأرضية والتابع الصنعي. تكون الإجراءات بالنسبة لتابع صنعي متزامن في مدار استوائي كما يلي. يتم من الجدول 2.8 تحديد خط طول التابع الصنعي بحسب الفارق (Δl) بين خط طول التابع الصنعي وخط طول المحطة الأرضية ثم نحدد من الشكل 6.4 السمت وزاوية الارتفاع للهوائي. الشكل .46 هو تابع صنعي متزامن في مدار استوائي.

الجدول2.4 : خط طول موقع عدد من التوابع الصنعية المتزامنة في مدار استوائي

Satellite	Longitude (°W)
Anik 1	104
Anik 2	109
Anik 3	114
Westar I	99
Westar II	123.5
Westar III	91
Satcom 1	135
Satcom 2	119
Comstar D2	95
Palapa 1	277
Palapa 2	283

* 0° latitude.



الشكل (5-8) Attenuation due to atmospheric absorption: (a) 6/4-GHz band; (b) 14/12-GHz band.

المثال 1.4:

توجد محطة أرضية في مدينة هيوستون في ولاية تكساس على خط طول 95.5 غرباً وخط عرض 29.5 شمالاً.

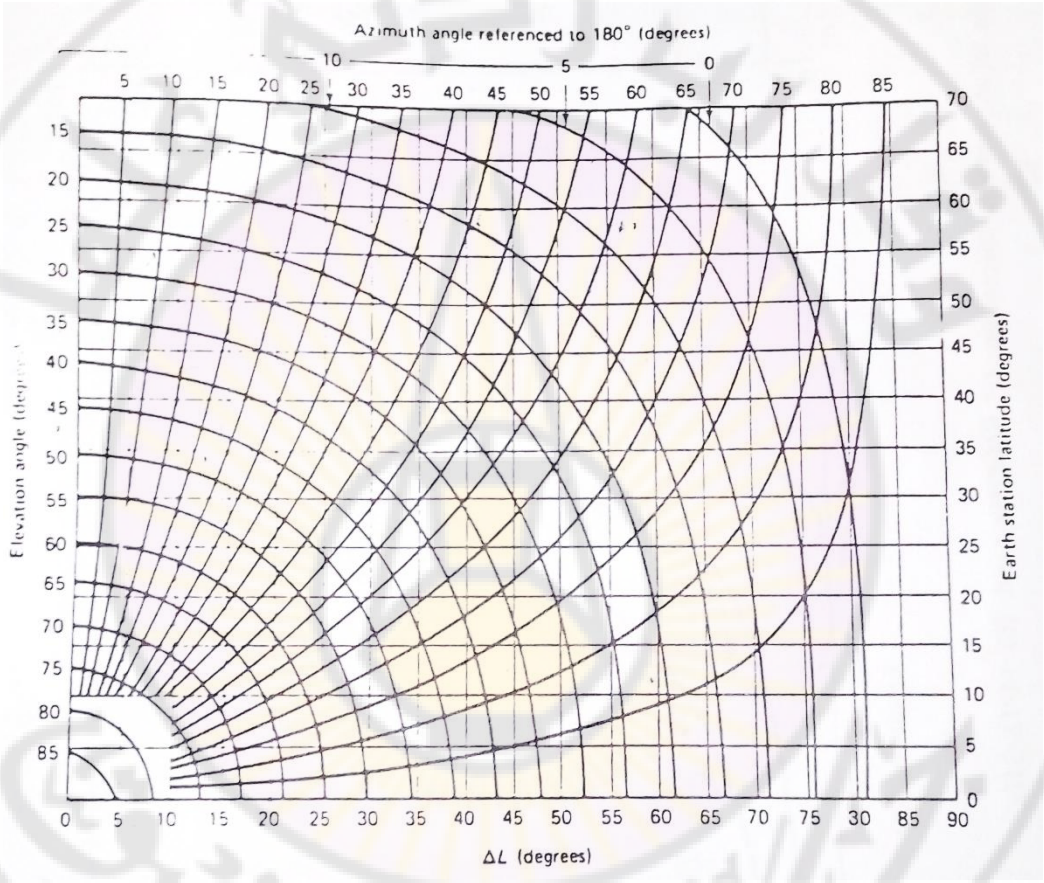
التابع الصنعي المطلوب هو satcom1 الخاص بشركة RCA الذي يتوضع على خط طول 135 غرباً. المطلوب تحديد السمت وزاوية الأرتفاع لهوائي المحطة الأرضية.

الحل:

نحدد اولاً الفارق بين خطي الطول

$$\Delta L\ 39.5 = 95.5 - 135° =$$

في الشكل 6.4 نجد التقاطع بين ΔL وخط عرض المحطة الأرضية فيتضح أن زاوية الارتفاع هي 35 السمت 59 إلى غرب الجنوب.



الشكل (4-6)

تباعد على المدار وتخصيص الترددات:

يجب ان تتشارك التوابع الصنعية المتزامنة في مكان محدود وضمن مجال ترددي محدود على قوس معين من المدار المتزامن. يجب ان تتباعد مكانياً التوابع الصنعية التي تعمل على الترددات نفسها أو الترددات المتقاربة لتتجنب التداخل مع بعضها بعضاً الشكل 7.4. يوجد حد عملي لعدد التوابع الصنعية التي يمكن وضعها في مساحة معينة من الفضاء. يعتمد التباعد الفضائي على المتغيرات التالية:

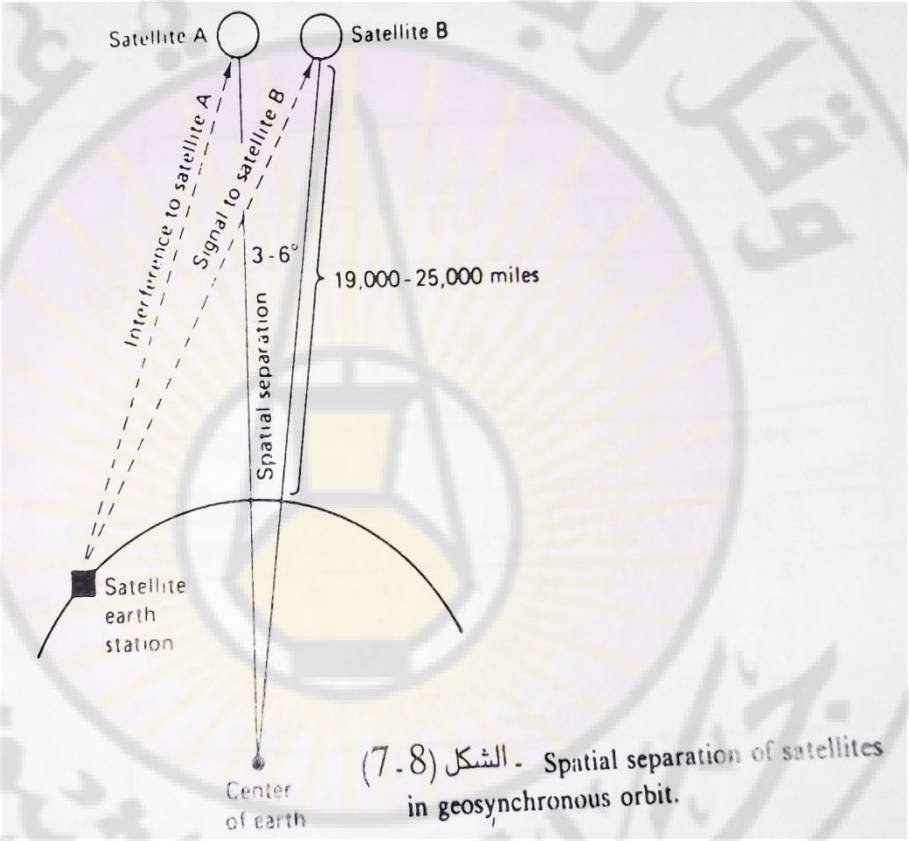
1-عرض حزمة الاشعاع والاشعاعات الجانبية لكل من هوائي المحطة الأرضية وهوائي التابع الصنعي.

2-قيمة التردد الحامل الراديوي.

3-طرق الترميز أو التعديل المستخدم.

4-الحدود المقبولة للتداخل.

5-استطاعة الموجة الحاملة في الإرسال.



الشكل (7-8) - Spatial separation of satellites in geosynchronous orbit.

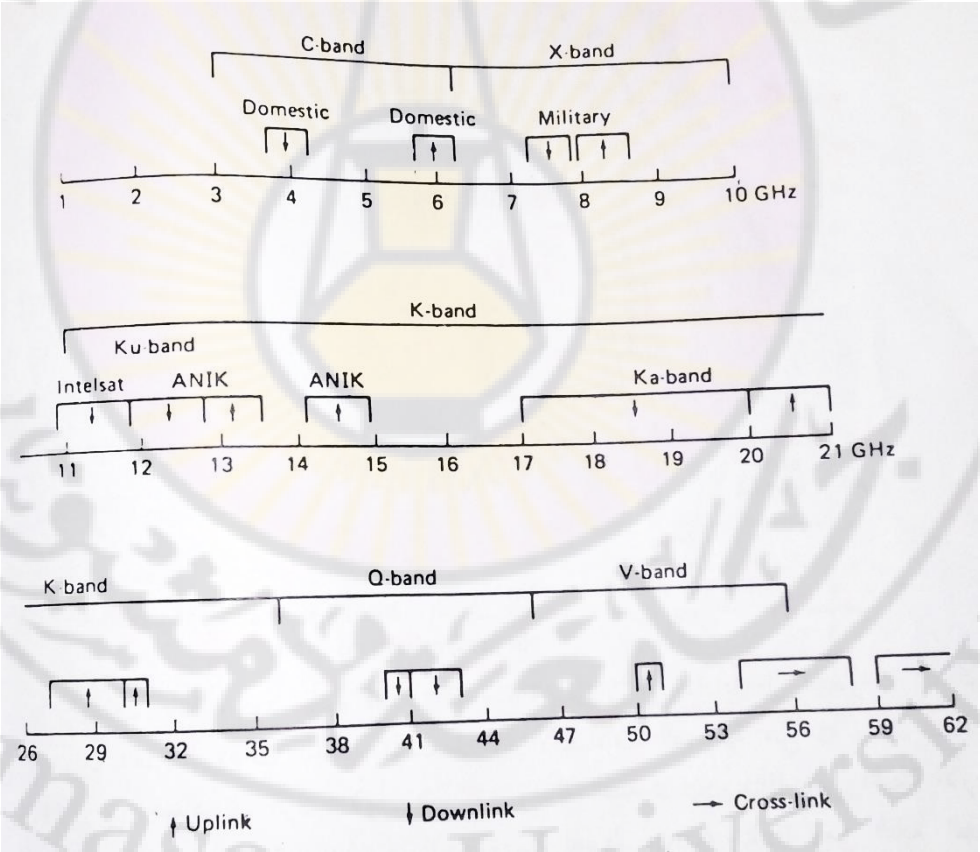
الشكل (4-7)

يطلب عادة وجود تباعد فضائي قدره 3 إلى6 استناداً إلى المتغيرات المذكورة إن أكثر الترددات الحاملة المستعملة في الاتصالات الفضائية هي 4\6 جيجا هرتز12\14 جيجا هرتز. الرقم الأول هو تردد وصلة الصعود LINK-UP (من المحطة الأرضية إلى التابع الصنعي) والرقم الثاني هو تردد وصلة الهبوط LINK-DOWN (من التابع الصنعي إلى الأرض). يستخدم ترددان مختلفان للصعود وللهبوط لمنع حدوث الرنين <RINGAROUND

كلما ارتفعت قيمة التردد الحامل كان قطر الهوائي المطلوب أصغر للكسب نفسه. تستخدم كثر التوابع الصنعية الوطنية مجال التردد 4\6 جيجا هرتز. ولكن لسوء الحظ يستخدم هذا المجال ايضاً بشكل واسع للأنظمة الميكروية الأرضية. تجب العناية عند تصميم شبكة توابع صنعية بأن يتم تجنب التداخل من الأنظمة الميكروية القائمة أو اليها.

هناك مواضع معينة في المدار المتزامن مرغوب فيها أكثر من غيرها. فمثلا موضع منتصف الأطلسي المستخدم لربط اميركا الشمالية بأوروبا مطلوب بشكل كبير جداً وكذلك مثل منتصف المحيط الهادي (World administrative radio conference).

يبين الشكل (4-8) الترددات المخصصة من قبل المؤتمر الإداري العالمي للراديو WARC يبين الجدول(3.8)عرض المجالات الترددية المتوافرة لمختلف الخدمات الأمريكية. تتضمن هذه الخدمات خدمة النقطة الثابتة (بين محطتين ثابتتين على سطح الارض). الخدمة الاذاعية (تغطية مساحة كبيرة). الخدمة المتحركة (من الأرض إلى الطائرات أو السفن أو المركبات الأرضية) وخدمة ما بين التوابع الصنعية.



الشكل(4-8)

الجدول (3.4): عرض المجالات الترددية الراديوية المتوافرة في أمريكيا

الموجة	وصلة الصعود	وصلة الهبوط	عرض المجال (ميغاهيرتز)
C	6.4- 5.9	4.2- 3.7	500
X	8.4 -7.9	7.75- 7.25	500
Ku	14.5- 14	12.2- 11.7	500
Ka	30-27	20-17	
	31-30	21-20	
V	51-50	41-40	1000
Q		43-41	2000
V	58-54		3900
وصلة بين التوابع		64-59	5000

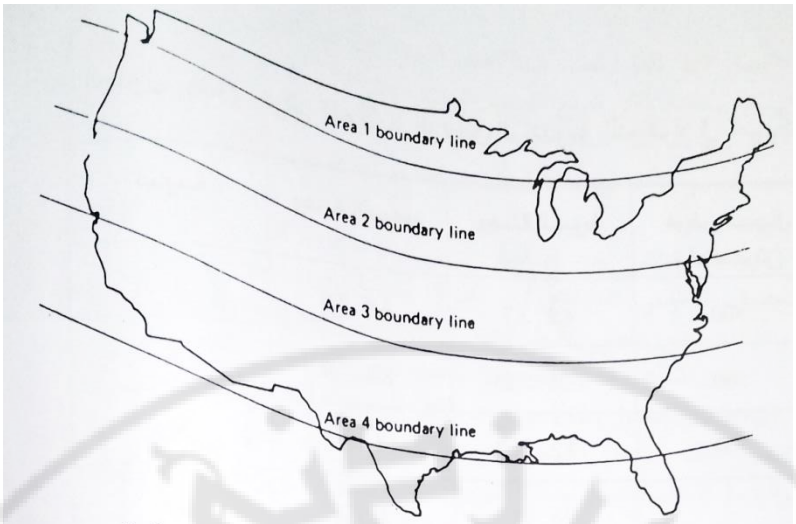
أشكال الإشعاع: مواطئ الأقدام footprints:

تعتمد المساحة الأرضية التي يغطيها تابع صنعي على موقع التابع الصنعي في مداره المتزامن وعلى التردد الحامل وعلى كسب الهوائيات. يقوم مهندسو التوابع الصنعية بانتقاء الهوائي والتردد الحامل لتركيز استطاعة المرسل على مساحة أرضية معينة. يسمى التمثيل الجغرافي لشكل إشعاع الهوائي مواطئ القدم الشكل(9.4)تمثل الخطوط المساحية حدود كثافة الاستطاعة المتساوية للاستقبال.

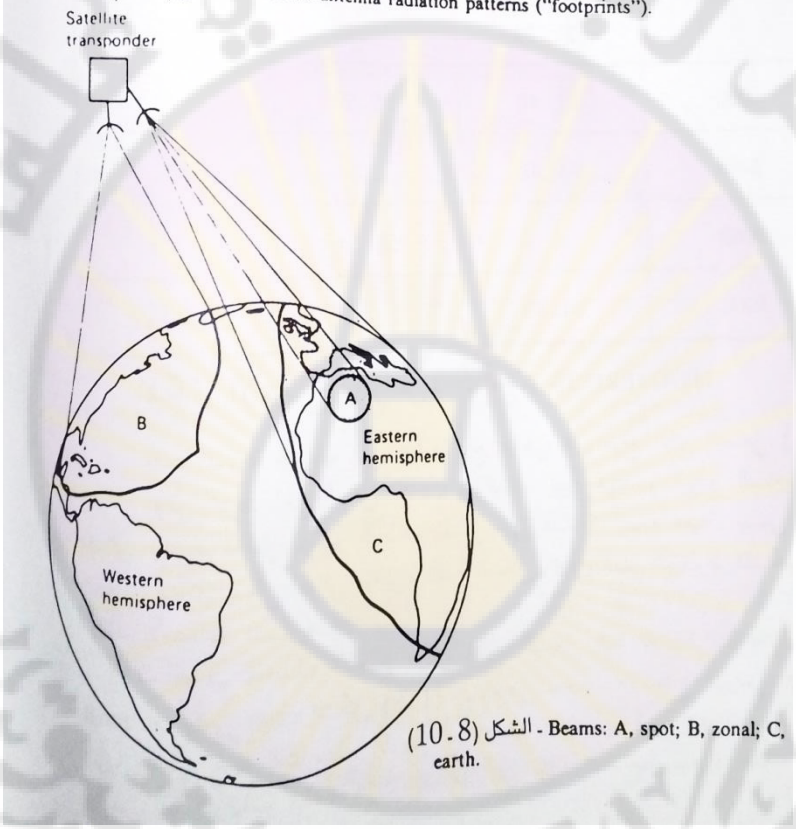
قد يصنف مخطط الإشعاع لهوائي التابع الصنعي على انه بقعي spot أو إقليمي Zonal

أو ارضي earth الشكل (10.4)

إن عرض مخطط الإشعاع الأرضي هو 17 تقريباً ويغطي تقريباً ثلث سطح الأرض. أما التغطية الإقليمية فهي لأقل من ثلث سطح الأرض. أما الهوائيات البقعية فتركز إشعاعها على منطقة جغرافية صغيرة جدا.



الشكل (8 . 9) Satellite antenna radiation patterns ("footprints").



الشكل (8 . 10) - Beams: A, spot; B, zonal; C, earth.

الشكل (10-4)

إعادة الاستعمال reuse:

عندما يكوم مجال الترددات المخصص محدودا فأنه يمكن الحصول على سعة إضافية بإعادة استعمال مجال الترددات.يتم بزيادة حجم الهوائي (أي زيادة الكسب) يتم تحيض عرض المجال. لذلك يمكن توجيه عدد من الإشعاعات ذات التردد نفسه إلى مناطق جغرافية مختلفة على الأرض. يسمى ذلك إعادة استعمال مجال التردد الطريقة الأخرى لإعادة استعمال تردد هي في استخدام الاستقطاب المزدوج. يمكن إرسال معلومات مختلفة إلى محطات أرضية مختلفة باستخدام مجال الترددات نفسه وذلك بتوجيه الاستقطاب الكهرطيسي بطريقة متعامدة orthogonaf.

ان الاستقطاب المزدوج هو اقل كفاية لان جو الأرض له خاصية إعادة توجيه الموجة الكهرطيسية أو إعادة استقطابها أثناء مرورها في جو الأرض. ان إعادة الاستعمال هي طريقة ثانية لزيادة سعة عرض مجال محدود.

نماذج أنظمة الاتصال بالتوابع الصنعية:

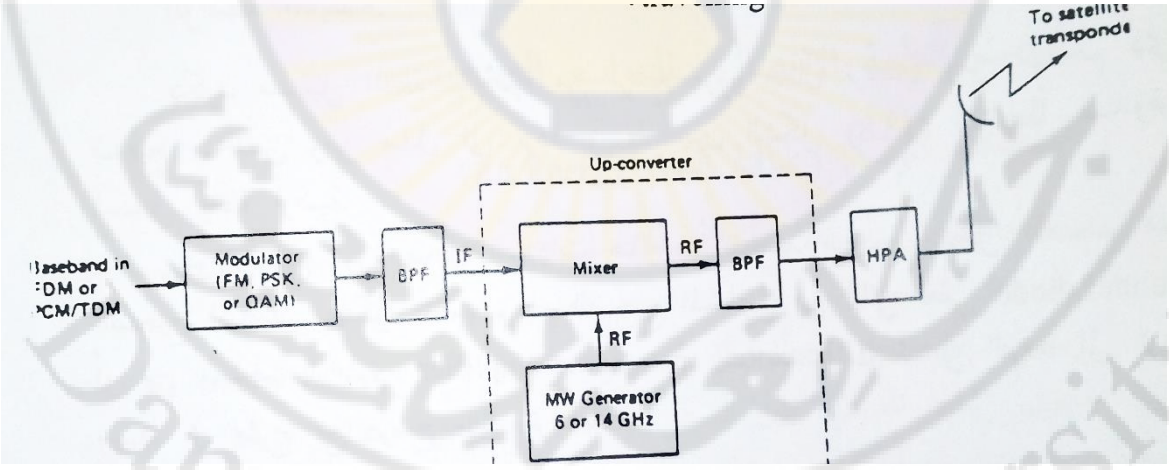
يتألف كل نظام توابع صنعية من ثلاثة أقسام رئيسية:

1-الوصلة الصاعدة، 2- المقويtransponder، 3 - الوصلة الهابطة.

الوصلة الصاعدة:

العنصر الأساسي في قسم الوصلة الصاعدة لنظام توابع صنعية هو مرسل المحطة الأرضية. يتألف مرسل المحطة الأرضية من معدل على تردد وسيط، مبدل تردد وسيط إلى تردد عالي راديوي ميكروي، ومضخم استطاعة ومرشح لمجال ترددات المخرج. يبين الشكل

(11.4) المخطط الصندوقي لمرسل محطة أرضية للتوابع الصنعية. يحول معدل التردد الوسيط إشارات العصبة الأساسية إلى تعديل ترددي أو إلى زحزحة بزاوية الطور أو إلى تعديل مطالي تربيعي QAMلتردد وسيط. أما مبدل التردد (مازج مع مرشح) فينقل التردد الوسيط إلى تردد حامل راديوي و يقوم مضخم الاستطاعة بتقديم استطاعة المخرج اللازمة لنشر الإشارة من الهوائي. يكون مضخم الاستطاعة على أساس كلايسترون أو صمام موجة مسافرة travelling-wave tube.

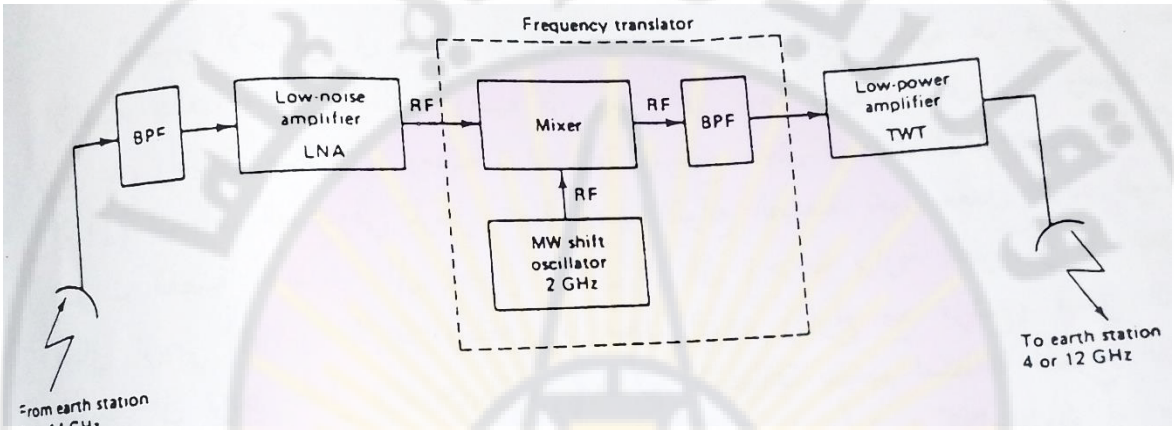


الشكل (4-11)

المقوي transponder:

يتألف المقوي من أداة تحديد لعرض مجال ترددات الدخل ومن مضخم ذي ضجيج منخفض ومن مبدل للترددات ومن مضخم ذي مستوى استطاعة منخفض ومن مرشح مرور مجال ترددي للمخرج. يبين الشكل (12.4) مخططاً صندوقياً لمقوٍ في تابع صنعي. ان هذا المقوي معيد من تردد راديوي آخر. هناك مقويات أخرى تعمل على أساس تردد وسيط أو على أساس عصبة

أساسية مثل ما ذكرنا في محطة التقوية الميكروية. يقوم في الشكل (12.4) مرشح مجال الترددات عند المدخل بتحديد الضجيج على مدخل مضخم المدخل (من العناصر المستخدمة لهذا المضخم الثنائي النفقي tunnel diode). يؤخذ مخرج مضخم المدخل إلى مبدل ترددات frequency translater(مازج مع مهتز انزياحي ومرشح مرور مجال ترددي) وبذلك ينتقل التردد الميكروي العالي للوصلة الصاعدة الى التردد الميكروي المنخفض للوصلة الهابطة. يتكون مضخم الاستطاعة ذو المستوى المنخفض عادة من صمام موجة مسافرة ويقوم بتضخيم إشارة التردد الراديوي لإرسالها على الوصلة الهابطة الى المحطة الأرضية. تحتاج كل قناة راديوية في التابع الصنعي الى مقوٍ خاص بها.

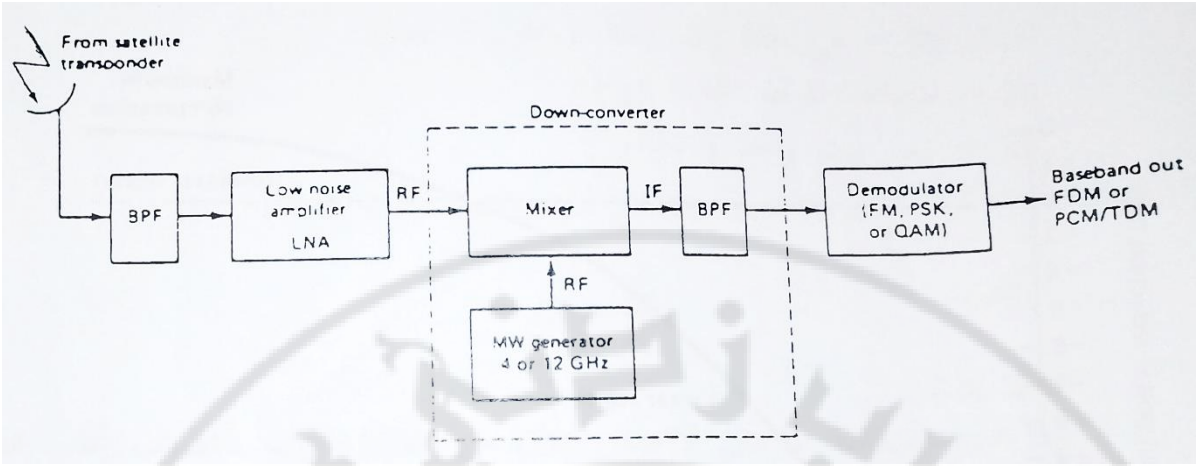


الشكل (12.4)

الوصلة الهابطة:

يتكون مستقبل المحطة الأرضية من مرشح مرور مجال ترددي ومن مضخم ذي ضجيج منخفض ومن مبدل الى تردد وسيط. يبين الشكل (13.4) مخططا صندوقيا لمستقبل محطة أرضية.

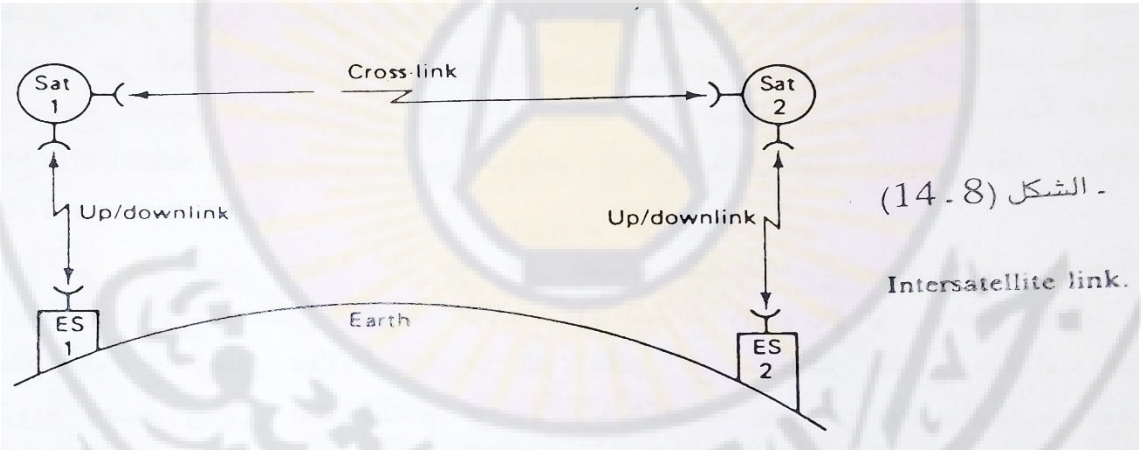
يقوم مرشح مرور مجال الترددات هنا أيضا بتحديد ضجيج مدخل المضخم ذي الضجيج المنخفض. يتكون المضخم ذو الضجيج المنخفض من ثنائي نفقي tunnel diode او من مضخم بارامتري parametric. يتم بعد ذلك تبديل التردد الى تردد وسيط في مازج مع مرشح مرور ترددات.



الشكل(13.4)

الوصلة المباشرة بين تابعين صنعيين:

تكون هناك أحيانا حاجة للاتصال بين تابعين صنعيين ويتم ذلك باستخدام وصلة بين التوابع الصنعية كما هو مبين 14.4. من مساوئ هذه الوصلة وجود كل من المرسل والمستقبل في الفضاء و بالتالي فان كلا من استطاعة المرسل وحساسية المستقبل محدودة.



- الشكل (8 - 14)

Intersatellite link.

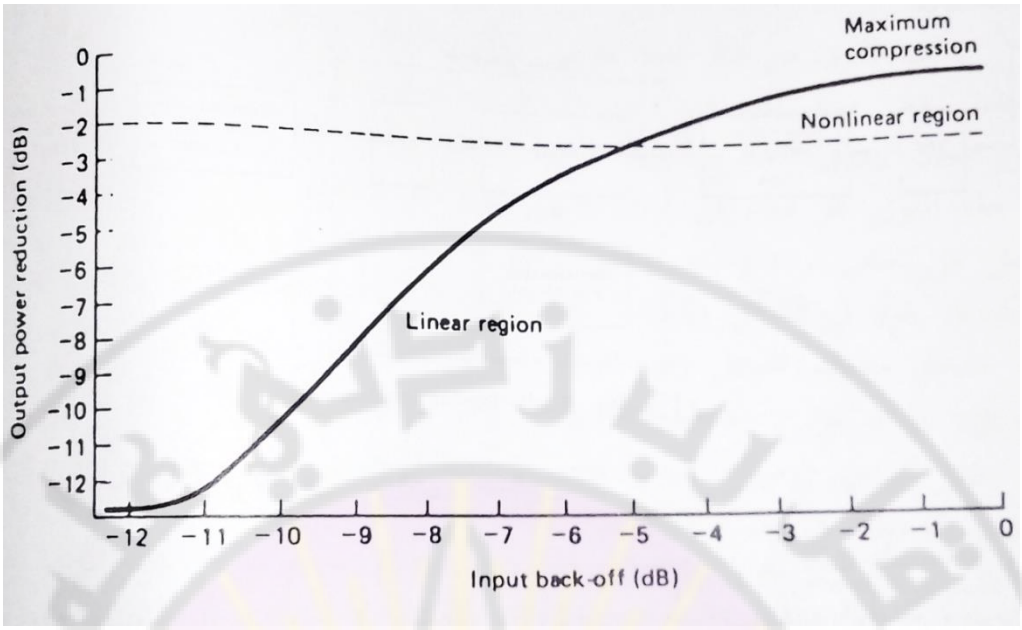
الشكل (14.4)

ثوابت أنظمة الاتصال بالتوابع الصنعية:

استطاعة المرسل وطاقة البت bit energy:

ان المضخمات ذات الاستطاعات العالية لمرسلات المحطات الأرضية وكذلك صمامات الموجة المسافرة المستخدمة في مقويات التوابع الصنعية هي عناصر غير خطية.

ويعتمد (nonlinear devices) كسبها (استطاعة المخرج مقابل استطاعة المدخل) على مستوى إشارة المدخل. يبين الشكل 15.4 خصائص استطاعة المدخل/المخرج ويمكن ان نرى انه بانخفاض استطاعة المدخل بمقدار5 ديسيبل فان استطاعة المخرج تنخفض بمقدار 2 ديسيبل فقط.



الشكل(15.4)

هناك إذا انضغاط واضح في الاستطاعة ويجب لتخفيض مقدار تشويه تداخل التعديل التداخلي intermodulation distortion الذي يسببه التضخيم غير الخطي لمضخم الاستطاعة تخفيض استطاعة المدخل بعدد من الديسيبيلات. هذا يسمح لمضخم الاستطاعة ان يعمل في منطقة أكثر خطية. تسمى هذه العملية عملية تراجعpacked off. ان مقدار تراجع استطاعة المدخل يعادل فقدا ويسمى فقد التراجع lbo back -off-loss.

لكي يتم العمل بفعالية أكثر فان على مضخم الاستطاعة ان يعمل أقرب ما يمكن إلى منطقة الاشباع. تسمى استطاعة الإشباع في المخرج po(sat) او ببساطة pt.

إن استطاعة مخرج مرسل محطة أرضية هو اعلى بكثير من استطاعة مخرج مضخم محطة ميكروية أرضية. وبالتالي عند الكلام عن الأنظمة الفضائية يعبر عن pt بالديسيبل وات dBw (ديسيبل بالنسبة لواحد وات)

بدلا عن dBm (ديسيبل بالنسبة لواحد ميلي وات) تستخدم أكثر أنظمة الاتصالات الحديثة عبر التوابع الصنعية التعديل بزحزحة زاوية الطور psk و التعديل المطالي التربيعي QAM بدلا عن التعديل التردد التقليدي FM.

تكون في حالة الزحزحة بزاوية الطور أو في التعديل المطالي التربيعي إشارة العصبة الأساسية معدلة بالتعديل النبضي المرمز مع تنضيد بتقسيم الزمن وهي إشارة رقمية . وفي هذه الحالة يمكن ترميز عدد من البتتات في عنصر إشارة واحد (بود). لذلك فإن الثابت الأكثر معنى من استطاعة الموجة الحاملة هو طاقة البيت (Eb) التي يعبر عنها رياضيا بما يلي:

$$Eb = Pt.Tb$$

(a-1.4)

حيث Eb هي طاقة بيت واحد (جول/ بيت)

Pt= استطاعة الموجة الحاملة (واط)

Tb=زمن بيت واحد(ثانية)

وبما ان $Tb = \frac{1}{Fb}$ حيث fb هي سرعة البيت (بيت / ث)

فنكتب: $E_b = \frac{P_t}{F_b}$

مثال (2.4):

إذا كانت استطاعة الإرسال الإجمالي (pt) هي (1000) وات فالمطلوب تحديد قدرة البيت (Eb) عند سرعة ارسال (50) ميغا بيت /ث.

الحل: ثانية: $T_b = \frac{1}{F_b} = \frac{1}{50*10^{6bps}} = 0.02 * 10^{-6}$

بالتعويض في المعادلة نحصل على

$$E_b = 1000 J/S\,(0.02 \times 10^{-6}\, s/bit) = 20$$ **ميكرو جول**

من المعتاد التعبير عن pt بوحدة dBW وEb بوحدة dBW/bps وهكذا فان:

$$P_t = 10 \log 1000 = 30 dBW$$

$$E_b = p_t - 10 \log F_b$$

$$= p_t - 10 \log(50 * 10^6)$$

$$= 30\ dBW - 77dB = -47\ dBW/bps$$

- **الاستطاعة الفعالة (الايزوتروبية) المشعة اللااتجاهية (EIRP):**

نعرف هذه الاستطاعة بأنها استطاعة إرسال مكافئة ويعبر عنها بالعلاقة:

$$EIRP = P_r A_t$$

حيث Pr= الاستطاعة الإجمالية من الهوائي (واط)

At= كسب هوائي الإرسال

ولوغاريتميا يكون: $EIRP(dBW) = P_r(dBW) + A_t(dB)$

وبالنسبة لاستطاعة الإرسال فان: $P_r = P_t - L_{bo} - L_{bf}$

وهكذا فان: $EIRP = P_t - l_{bo} - l_{bf} + A_t$

حيث pt =الاستطاعة الفعلية لمخرج المرسل (dBW)

Lbo =فقد التراجع لمضخم الاستطاعة (dB)

Lbf =الفقد الإجمالي للمغذي وللتوزع (dB) (feeder)

At =كسب هوائي الإرسال (dB)

المثال (3.4):

لمرسل محطة أرضية استطاعة مخرج قدرها (40) dBW (10000واط) وفقد تراجع (3) ديسيبل و فقد مغذي(3) ديسيبل و كسب هوائي (40) ديسيبل .

المطلوب تحديد الاستطاعة الفعالة المشعة EIRP.

الحل: بالتعويض في المعادلة (2.4) نحصل على:

$$EIRP = PT - Lpo - LbF + At$$

$$= 40dBw - 3dB - 3dB + 40dB = 74dBW$$

درجة الحرارة المكافئة للضجيج:

في أنظمة الاتصال الميكروية الأرضية كان يتم التعبير عن الضجيج الداخل إلى المستقبل أو إلى عنصر داخل المستقبل بوساطة رقم الضجيج. في أنظمة الاتصال عبر التوابع الصنعية كثيرا ما يكون من الضروري تمييز الضجيج بأعشار أو أجزاء من مئة من الديسيبل. لذلك فان رقم الضجيج بشكله التقليدي غير مناسب لمثل هذه الحسابات الدقيقة. لذلك من المعتاد استخدام درجة حرارة المحيط (T) أو درجة الحرارة المكافئة للضجيج (Te) عند تقويم أداء نظام اتصال عبر التوابع الصنعية. حددنا في الفصل السابع الاستطاعة الإجمالية للضجيج رياضيا كما يلي:

$$N = KTB$$

أو

$$T = \frac{N}{KB}$$

حيث N=الاستطاعة الإجمالية للضجيج (واط)

K =ثابت بولتزمان (جول/درجة حرارة كيلفين)

B =عرض المجال (هيرتز)

T =درجة حرارة المحيط (كيلفين)

ومن الفصل الثالث (المعادلة 7.3) نجد ان:

$$NF = 1 + \frac{Te}{T}$$

حيث Te = هي درجة الحرارة المكافئة للضجيج.

NF =رقم الضجيج (رقما مطلقا)

T =درجة حرارة المحيط (كيلفين)

ومن ذلك$Te = T(NF - 1)$

تكون درجة الحرارة المكافئة لأجهزة الاستقبال في المقوي transponder بحدود (1000) كيلفين. اما للمحطات الأرضية فتتراوح بين (20) و (1000) كيلفين. ان درجة الحرارة المكافئة للضجيج هي بشكل عام أكثر فائدة عند التعبير عنها لوغاريتميا بوحدة ديسيبل - كيلفين dBK كما يلي:

$$Te(dBK) = 10LogTe$$

بالنسبة لدرجة الحرارة المكافئة للضجيج قدرها (100) كيلفين يكون:

$$Te(dBK) = 10Log\ 100\ or\ 20\ dBK$$

ان درجة الحرارة المكافئة للضجيج هي قيمة فرضية hypothetlcat يمكن حسابها لا يمكن قياسها. تستخدم درجة الحرارة المكافئة للضجيج كثيرا عوضا عن رقم الضجيج لأنها طريقة ادق في التعبير عن الضجيج الذي يولده الجهاز او المستقبل عند تقويم اداءه. وبشكل أساسي فان درجة الحرارة المكافئة للضجيج (Te) هو الضجيج الموجود على مدخل الجهاز او المضخم بالإضافة الى الضجيج الذي ضاف داخلياً من قبله. يسمح لنا هذا بتحليل خصائص الضجيج للجهاز وذلك بوضع قيمة مكافئة بدرجة حرارة ضجيج المدخل. ان (Te) ثابت مفيد جدا عند تقويم أداء نظام التوابع الصنعية كما سنرى فيما بعد.

المثال4.8 :

المطلوب تحويل رقمي الضجيج (4) و(4.01) إلى درجة حرارة ضجيج مكافأة. لتكن درجة حرارة البيئة (300)كيلفين.

الحل:

بالتعويض في العلاقة 3.7:

$$Te = T(NF - 1)$$

عند NF=4 يكون $Te = 300(4 - 1) = 900k$

عندNF =4.01يكون$Te = 300(4.01 - 1) = 903k$

نلاحظ ان فارقا بدرجة الحرارة المكافأة بمقدار (3) هو (300) مرة أكبر من الفارق بين رقمي ضجيج. وبالنتيجة فإن درجة الحرارة المكافأة للضجيج هي طريقة أكثر دقة في مقارنة أداء الضجيج لجهازي الاستقبال.

كثافة الضجيج noise density:

إن كثافة الضجيج هي كامل استطاعة الضجيج الموزعة بانتظام في عرض مجال قدره (1) هرتز أو استطاعة الضجيج في عرض مجال (1) هرتز.

يعبر عن كثافة الضجيج رياضيا بالعلاقة:

$$N0 = \frac{N}{B} = \mathrm{K}Te \qquad (a-3.4)$$

حيث $N0$ = كثافة الضجيج (واط / هيرتز)

N = كامل استطاعة الضجيج (واط)

B = عرض المجال (هيرتز)

K= ثابت بولتزمان

Te= درجة حرارة الضجيج المكافئة لوغاريتميا نكتب:

$$N0(dBW/Hz) = 10logN - 10LogB$$

$$= 10logK + 10Log\ Te$$

المثال *5.4*:

المطلوب من اجل عرض مجال الضجيج المكافئ (*10*) ميغاهيرتز واستطاعة ضجيج عظمي (*0.0276*) بيكوواط. تحديد كثافة الضجيج ودرجة حرارة الضجيج المكافئة.

الحل: بالتعويض في المعادلة (*a-3.4*) لدينا:

$$N_0 = \frac{N}{B} = \frac{276*10^{-16}W}{10*10^6Hz} = 276 * 10^{-23}\,\frac{W}{Hz} = 276 * 10^{-23}W.$$

$$N_0 = 10Log(276 * 10^{-23}) = -205.6\,dBW/Hz = -205.6dBW.$$

وبالتعويض في العلاقة (b-3.4) نحصل على

$$N_0 = N(dBW) - B(dB/Hz)$$

$$= -135.6\ dBW - 70(dB/Hz) = -205.6dBW$$

نعيد ترتيب العلاقة (a-3.4)

$$Te = \frac{N_0}{K} = \frac{276*10^{-23}J/cycle}{1.38*10^{-23}J/K} = 200^{O}\ K/cycle$$

$$= 10log200 = 23dBK$$

$$= N_0(dBW) - 10logK$$

$$= -205.6dBW - (-228.6dBWK) = 23dBK$$

نسبة الموجة الحاملة الى كثافة الضجيج:

ان النسبة *C/No* إن نسبة الاستطاعة المتوسطة للموجة الحاملة عريضة المجال إلى كثافة الضجيج. إن استطاعة الموجة الحاملة العريضة هي مجموع استطاعة الموجة الحاملة والعصب الجانبية. والضجيج هو الضجيج الحراري الموجود في عرض مجال قدره (*1*) هيرتز. يمكن كتابة هذه النسبة كتابع لدرجة حرارة الضجيج كما يلي:

$$\frac{C}{N_0} = \frac{C}{KTe}$$

(*a-4.4*)

لوغاريتمياً نكتب:

$$\frac{C}{N_0}(dB) = C(dBW) - N_0(dBW)$$

(*b-4.4*)

نسبة طاقة *Energy* البيت إلى كثافة الضجيج:

إن النسبة *Eb/No* من أهم الثوابت وأكثرها استخداما عند تقويم نظام اتصال لاسلكي رقمي. هذه النسبة هي طريقة مناسبة لمقارنة الأنظمة الرقمية التي تستخدم سرعات نقل مختلفة وطرائق ترميز مختلفة رياضياً نكتب:

$$\frac{Eb}{N_o} = \frac{C/Fb}{N/B} = \frac{CB}{NF_b}$$

(*5.4*)

إن النسبة *Eb/No* هي تعبير مناسب لحسابات أداء الأنظمة الرقمية ومقارنتها ولكن في العالم الحقيقي من الأنسب قياس نسبة استطاعة الموجة الحاملة العريضة إلى كثافة الضجيج وتحويلها الى *Eb/No* نعيد ترتيب العلاقة (*5.4*):

$$\frac{Eb}{N_o} = \frac{C}{N} * \frac{B}{F_b}$$

ولوغاريتمياً نكتب:

$$\frac{Eb}{N_0}(dB) = \frac{C}{N}(\text{dB}) + \frac{B}{Fb}(dB)$$

(6.4)

تبقى طاقة البيت (Eb) ثابتة طالما إن الاستطاعة الإجمالية للتردد الحامل العريض (C) وسرعة الإرسال ثابتتين. كما إن كثافة الضجيج (No) ستبقى ثابتة طالما بقيت درجة حرارة الضجيج ثابتة. يمكن إن نكتب النتيجة التالية: بالنسبة لاستطاعة موجة حاملة محددة وسرعة بت ثابتة ودرجة حرارة ضجيج ثابتة فان النسبة Eb/No تبقى ثابتة بغض النظر عن طريقة الترميز ونمط التعديل وعرض المجال المستخدم.

يوضح الشكل (16.4) بطريقة بيانية graphically العلاقة بين احتمال الخطأ المتوقع P(e) والنسبة الدنيا C/Nاللازمة للحصول على P(e). إن N/C المحددة هي لعرض مجال نايكويست ذي العصبتين الجانبيتين العنصرين يبين الشكل (8.17) بياناً العلاقة بين P(e) ونسبة Eb/No الدنيا اللازمة للحصول على P(e).

ان خطأ P(e) قدره (10^{-5}) يدل على احتمال وقوع خطأ في بيت واحد لكل مئة ألف بيت يتم ارساله. يشابه P(e) سرعة خطأ البيت bit error rate (BER).

المثال 4.6

يعمل مرسل ذو زحزحة ثنائية بزاوية طور مترابطة بسرعة بيت قدرها (20) ميغابيت في الثانية. ولاحتمال خطأ P(e) قدره (10^{-4}) المطلوب:

أ- تحديد الحد النظري الأدنى للنسبة C/N وللنسبة Eb/No لعرض مجال نايكويست الأصغر ذي العصبتين.
ب- احسب نسبة C/N وذلك إذا تم قياس الضجيج عند نقطة قبل مرشح مرور المجال وحيث يبلغ عرض المجال الترددي ضعف مجال نايكويست
ت- احسب نسبة C/Nإذا كان قياس الضجيج عند نقطة قبل مرشح مرور المجال وحيث يبلغ عرض المجال هو ثلاثة أضعاف عرض مجال نايكويست.

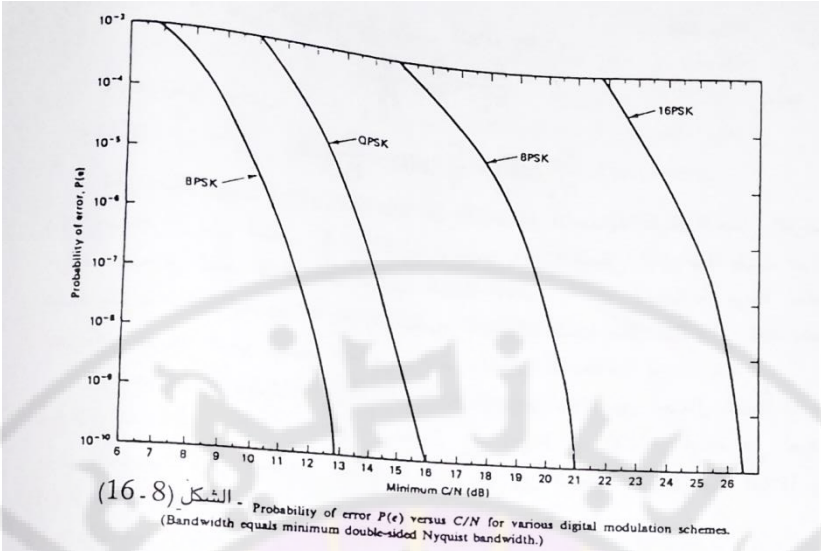
الحل:

أ- في ثنائي الاطوار فان عرض المجال الأدنى يساوي سرعة البيت أي (*20*) ميغاهيرتز. يتضح من الشكل (*16.8*) ان C/Nالدنيا هي (*8.8*) ديسيبل للتعويض في المعادلة (*6.8*) نحصل على:

$$\frac{E_b}{N_O}(dB) = \frac{C}{N}(\text{dB}) + \frac{B}{F_b}(dB)$$

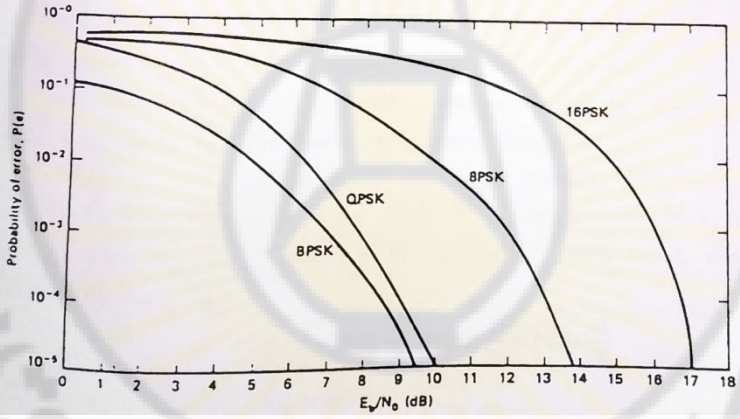
$$8.8\text{dB} + 10\log\frac{20*10^6}{20*10^6}$$

$$8.8\text{dB} + 0\text{dB} = 8.8\text{db}$$



الشكل (8 - 16) - Probability of error $P(\epsilon)$ versus C/N for various digital modulation schemes. (Bandwidth equals minimum double-sided Nyquist bandwidth.)

ملاحظة: تساوي النسبة الدنيا Eb / No النسبة الدنيا C / N عندما يكون عرض مجال ضجيج المستقبل مساوياً عرض مجال نايكويست. يمكن التأكد من أن Eb / No تساوي (8.8) من الشكل (17.8).



الشكل(4-17)

ما هي أثار زيادة عرض مجال الضجيج في النسبة الدنيا C/N وEb/No ؟

ان استطاعة الموجة الحاملة عريضة المجال مستقلة تماما عن عرض مجال الضجيج وبالطريقة نفسها تسبب زيادة عرض المجال زيادة في استطاعة الضجيج بالتالي يتحقق نقصان في النسبة C/Nتتناسب مباشرة مع زيادة عرض مجال الضجيج. تعتمد Ebعلى استطاعة الموجة الحاملة عريضة المجال وعلى سرعة البث. وبالتالي فان Eb لا تتأثر بزيادة عرض مجال الضجيج. كما ان No هي استطاعة الضجيج في عرض مجال (1) هيرتز وبالتالي فهي لا تتأثر بزيادة عرض مجال الضجيج.

ب) بما أن النسبة Eb/No مستقلة عن عرض المجال فإن قياس النسبة C/N عند نقطة في المستقبل، عرض مجالها ضعف عرض مجال نايكويست ليس لها تأثير في Eb/No لذلك تصبح

هذه النسبة ثابتة في العلاقة (6.4) وتحل العلاقة من أجل C/N بإعادة ترتيب العلاقة (6.4) واستخدام Eb/No المحسوبة نحصل على:

$$\frac{c}{N}(dB) = \frac{E_b}{N_o}(dB) - \frac{B}{F_b}(dB)$$

$$= 8.8\ dB - 10\log\frac{40\times10^6}{20\times10^6}$$

$$= 8.8\ dB\ - 10\log 2$$

$$= 8.8\ dB\ - 3dB\ = 5.8dB$$

ج) يؤدي قياس نسبة C/N عند نقطة عرض مجالها يعادل ثلاثة أضعاف عرض المجال الأدنى الى النتائج التالية:

$$\frac{C}{N} = \frac{E_b}{N_o} - 10\ \log\frac{60*10^6}{20*10^6}$$

$$= 8.8\ dB\ - 10\log 3$$

$$= 4.03\ dB$$

تدل نسبة C/N وهي (8.8) و(5.8) و(4.03) ديسبل على نسبة C / N التي يمكن قياسها عند ثلاث نقاط في المستقبل للوصول الى الحد الأدنى للنسبة Eb/ No وP(e).

نظرا لعدم امكان قياس Eb/No مباشرة تقاس نسبة الموجة الحاملة عريضة. المجال الى الضجيج وتعوض في المعادلة (6.4) وبالنتيجة ولتحديد النسبة Eb/ No بدقة من الواجب معرفة عرض مجال ضجيج المستقبل.

المثال (7.4):

يعمل مرسل ثماني الأطوار مترابط بسرعة بيت قدرها (90) ميغابيت\ثا. عند احتمال خطأ قدره (10^{-5})المطلوب:

أ) تحديد النسبة النظرية الدنيا C/Nو Eb/ No لمجال مستقبل قدره عرض مجال نايكويست.
ب) تحديد C/N إذا قيس الضجيج عند نقطة قبل مرشح مرور المجال حيث عرض المجال يساوي ضعف عرض مجال نايكويست.
ج) تحديد C/N إذا قيس الضجيج عند نقطة قبل مرشح مرور المجال حيث عرض المجال يساوي ثلاثة أضعاف عرض مجال نايكويست.

الحل:

أ) إن كفاية عرض مجال ثماني الأطوار هي (3) بيتات \هيرتز. ولذلك يتطلب عرض مجال يعادل ثلث سرعة البيت اي (30) ميغاهرتز. نجد من الشكل (16.8) القيمة الدنيا للنسبة C/N(18.5) ديسبل . بالتعويض في المعادلة (6.8) نحصل على:

$$\frac{E_b}{N_o}(dB) = 18.5\ dB + 10\log\frac{30MHz}{90Mbps} = 18.5dB + (-4.8\ dB) = 13.7dB$$

ب) بإعادة ترتيب العلاقة (6.4) نحصل على:

$$\frac{C}{N}(dB) = 13.7\ dB - 10\ \log\frac{60\ MHz}{90\ Mbps} = 13.7\ dB - (-1.77\ dB) = 15.47\ dB$$

ج) بالطريقة نفسها:

$$\frac{C}{N}(dB) = 13.7\ dB - 10\ \log\frac{90\ MHz}{90\ Mbps} = 13.7\ dB - 0\ dB = 13.7\ dB$$

يتضح في المثالين (6.4) و(7.4) أن نسبتي C/N و Eb/No متساويتان فقط عند تساوي عرض مجال الضجيج وسرعة البيت كذلك تنخفض نسبة C/N بزيادة عرض المجال عند نقطة القياس.

عندما يكون نمط التعديل وسرعة البيت وعرض المجال والنسبة C/N لنظامي لاسلكي رقمين مختلفة فمن الصعب غالبا تحديد النظام الذي له احتمال خطأ أكبر. نظرا لأن Eb/No مستقلة عن سرعة البيت وعرض المجال ونمط التعديل فهذه النسبة هي عامل مشترك يستخدم لمقارنة أداء احتمال الخطأ لأنظمة اللاسلكي الرقمية.

المثال 8.4 :

المطلوب مقارنة خصائص أداء النظامين الرقمين المبين في الجدول التالي وتحديد النظام ذي احتمال الخطأ الأصغر.

	رباعي الأطوار	ثماني الأطوار
سرعة البيت مغابت/ثا	40	60
عرض المجال	1.5 × الحد الأدنى	2× الحد الأدنى
ديسبلC/N	10.75	13.76

الحل:

بالتعويض في المعادلة (6.4) بالنسبة لرباعي الأطوار:

$$\frac{E_b}{N_o}(dB) = \frac{C}{N}(dB) + 10\log\frac{B}{F_b}$$

$$= 10.75\ dB + 10\log\frac{1.5\times 20MHz}{40Mbps}$$

$$= 10.75\ dB + (-1.25\ dB) = 9.5\ dB$$

من الشكل (17.4) نجد أن احتمال الخطأ هو(10^{-4})

بالتعويض في المعادلة (6.4) بالنسبة لثماني الأطوار:

$$\frac{E_b}{N_o}(dB) = 13.76dB + 10\log\frac{2*20MHz}{60Mbps}$$

$$= 13.76\text{dB} + (-1.76\text{dB}) = 12dB$$

من الشكل (4.17) نجد أن احتمال الخطأ هو(10^{-3})
مع أن لرباعي الأطوار نسبة C/N و Eb/No أقل إلا أن نسبة الخطأ فيه أيضا هي أقل بعشر مرات من ثماني الأطوار

نسبة الكسب إلى درجة حرارة الضجيج المكافئة G/Te:

إن هذه النسبة هي علامة جودة تستخدم لتمثيل جودة محطة استقبال التابع الصنعي أو محطة استقبال أرضية. تساوي هذه النسبة كسب هوائي الاستقبال الى درجة حرارة الضجيج المكافئة Te لجهاز الاستقبال. نظرا لان استطاعة الموجة الحاملة في الاستقبال متناهية في الصغر في نظم الاتصالات الفضائية فإن المضخم ذا الضجيج المنخفض LNA يوضع مباشرة عند الهوائي وبينه المغذي. في هذه الحالة تكون نسبة G/ Te هي نسبة كسب هوائي الاستقبال مع كسب المضخم ذي الضجيج المنخفض الى درجة حرارة الضجيج 1لمكافئة. ونكتب ذلك كما يلي:

$$\frac{G}{T_e} = \frac{A_{r+A(LNA)}}{T_e} \qquad (7.4)$$

لوغارتميا يكون:

(8.4)

$$\frac{G}{T_e}(dBK^{-1}) = A_r(dB) + A(LNA)(dB) - T_e(dBK^{-1})$$

ان النسبة G/Te عامل مفيد جدا لتحديد Eb/No و C/N عند مقوي التابع الصنعي ومستقبل المحطة الأرضية وهذه النسبة هي العامل الوحيد المطلوب عند مستقبل التابع الصنعي أو مستقبل المحطة الأرضية عند اتمام ميزانية الوصلة.

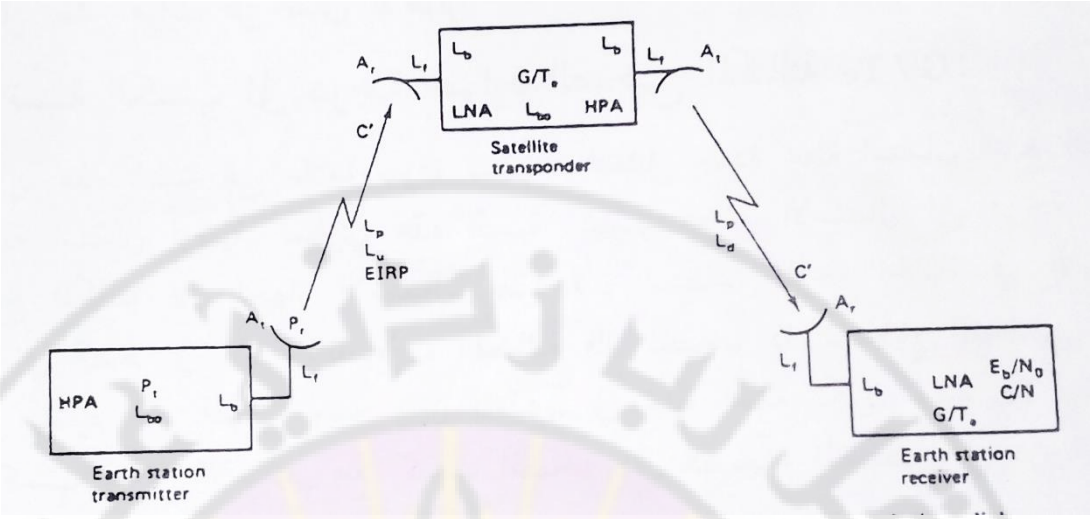
المثال (9.4):

يبلغ في مقوي تابع صنعي كسب هوائي الاستقبال (22) ديسبل ويبلغ كسب المضخم ذي الضجيج المنخفض (10) ديسبل وذي درجة ضجيج مكافئة قدرها (22) ديسبل كيلفين المطلوب تحديد G/Te.

$$\frac{G}{T_e}(dBK^{-1}) = 22dB + 10\ dB - 22dBK^{-1} = 10\ dBK^{-1}$$

معادلات أنظمة الاتصال بالتوابع الصنعية:

يمكن بسهولة التنبؤ بأداء الأخطاء في نظام رقمي للاتصال عبر التوابع الصنعية.
يبين الشكل (8.4) مخططا صندوقيا مبسطا لمثل هذا النظام ويظهر المكاسب والفقد التي يمكن أن تؤثر في أداء النظام. يتم أولا عند تقويم أداء مثل هذا النظام تفحص ثوابت الوصلة الصاعدة والوصلة الهابطة بصورة منفصلة ثم يتم تحديد الأداء الإجمالي بدمجها بالطريقة المناسبة. يجب أن نتذكر أن اللاسلكي الميكروي الرقمي يعني أن الإشارة الأساسية والمكشوفة هما في شكل رقمي. أما جزء التردد العالي الراديوي فهو تمثيلي أي زحزحة تردد أو زحزحة طور أو تعديل مطالي تربيعي أو أي نظام ذي مستوى أعلى يركب على موجة تمثيلية ميكروية



الشكل (8.4)

معادلات الوصل LINK EQUATIONS:

تستخدم معادلات الوصل التالية للتحليل المنفصل للوصلة الصاعدة وللوصول الهابطة لنظام تابع صنعي. تعد هذه المعادلات فقط المكاسب والفقد المثالية والضجيج الحراري المترابط بمرسل المحطة الأرضية ومستقبل المحطة الأرضية وتجهيزات مقوي التابع الصنعي وستناقش النواحي غير المثالية فيما بعد.

معادلة الوصلة الصاعدة:

$$\frac{C}{N_o} = \frac{A_t P_r (L_p l_u) A_r}{K T_e} = \frac{A_t P_r (L_p L_U)}{K} \times \frac{G}{T_e}$$

حيث LU و Ld هما الفقدان الإضافيان الجويان للوصلة الصاعدة والوصلة الهابطة على الترتيب. يجب أن تمر إشارتا الوصلة الصاعدة والوصلة الهابطة في جو الأرض حيث يحدث امتصاص جزئي، بسبب الرطوبة والأكسجين وجزيئات أخرى في الهواء، تختلف المسافة التي ستقطعه الموجة في جو الأرض من محطة أرضية الى أخرى حسب زاوية الارتفاع. بما أن (LU)و(Ld)هما فقدان فإنهما كسران عشريان أقل من واحد.

لوغارتميا نكتب

$$\frac{C}{N_o} = \underbrace{10\log A_t P_r}_{EIRP\ Carth\ station} - \underbrace{20\log\left(\frac{4\pi D}{\lambda}\right)}_{free\ space\ path\ lass} + \underbrace{10\log\left(\frac{G}{T_e}\right)}_{+satelliteG/Ts} - \underbrace{10\log Lu}_{-additional\ atmospheric\ losses} - \underbrace{10\ \log K}_{-Boltzmann's\ constant}$$

$$= \boldsymbol{EIRP(dBW) - L_p(dB) + \frac{G}{T_s}(dBK^{-1}) - L_u(dB) - K\,(dBWK)}$$

معادلة الوصلة الهابطة Downlink Equation

$$\frac{\mathrm{C}}{N_o} = \frac{\mathrm{A_t P}_r(\mathrm{L}_p L_d) A_r}{KT_e} = \frac{A_t A_r (L_p L_d)}{K} * \frac{G}{T_e}$$

Expressed as a log

$$\frac{C}{N_o} = \underbrace{10\log A_t P_r}_{EIRP\ satellite} - \underbrace{20\log\left(\frac{4\pi D}{\lambda}\right)}_{-\ free\ space\ path\ lass} + \underbrace{10\log(\frac{G}{T_e})}_{+earth\ station\ G/Ts} - \underbrace{10\log l_d}_{-additional\ atmospheric\ losses} - \underbrace{10\ \log K}_{-Boltzmann's\ constant}$$

$$= EIRP(dBW) - L_p(dB) + \frac{G}{T_e}(dBK^{-1}) - L_d(dB) - K(dBWK)$$

موازنة الوصلة:

يبن الجدول (4.4) ثوابت النظام بالنسبة لثلاثة أنظمة اتصالات توابع صنعية تقليدية. ان هذه المنظمة وثوابتها ليست بالضرورة لنظام مستقبلي أو حاضر وإنما هي أمثلة فرضية فقط. تستخدم ثوابت النظام لإعداد موازنة للوصلة . تعرف موازنة الوصلة ثوابت النظام وتستخدم لتحديد نسب C/N و Eb/No المخططة في كل من مستقبلات المحطة الأرضية والتابع الصنعي بالنسبة لنمط تعديل معطى واحتمال خطأ مرغوب فيه.

الجدول 4.4 ثوابت النظام لثلاثة أنظمة توابع صنعية افتراضية:

الوصلة الصاعدة	نظام ا غيغاهرتز12/14 ثماني الأطوار ميغابت/ث 120 تغطية أرضية	نظام ب غيغاهرتز 12/14 ثماني الأطوار ميغابت/ث90 تغطية أرضية	نظام ج غيغاهرتز4/6 رباعي الأطوار ميغابت/ث60 تغطية أرضية
1-استطاعة مخرج المرسل DBW)اشباع)	35	25	33
2-الفقد التراجعي للمحطة DB الأرضية	2	2	3
3-فقد المغذي والموزع في DB المحطة الأرضية	3	3	4
4-الفقد الإضافي في الجو DB	0.6	0.4	0.6
5-كسب هوائي المحطة DBالأرضية	55	46	64
6-الفقد في مسار الفضاء الحر DB	200	208	206.5
7-كسب هوائي الاستقبال في DBالتابع الصنعي	20	46	23.7
8فقد المغذي والموزع في التابع الصنعي	1	1	0
9-درجة حرارة الضجيج المكافئ للتابع الصنعي كيلغين	1000	800	800
10- للتابع الصنعي G/Teنسبة	-10	16	-5.3
الوصلة الهابطة			
1-استطاعة مخرج المرسل DBW)اشباع(	18	20	30.8
2الفقد التراجعي للتابع الصنعي DB	0.5	0.2	0.1
3-الفقد في المغذي والموزع في DBفي التابع الصنعي	1	1	0.5
4-الفقد الجوي الإضافي DB	0.8	1.4	0.4
5-كسب هوائي التابع الصنعي DB	16	44	10

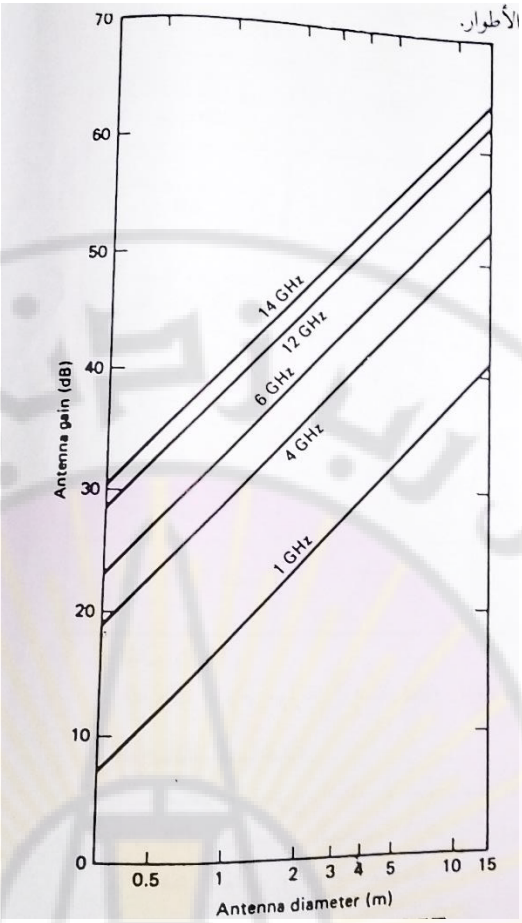
6-الفقد في مسار الفضاء الحر DB	**197**	**206**	**205.6**
7-كسب هوائي استقبال المحطة الأرضيةDB	**51**	**44**	**62**
8-فقد مغذي وموزع المحطة الأرضيةDB	**3**	**3**	**0**
9-درجة حرارة الضجيج المكافئ للمحطة الأرضية (كيلفين)	**250**	**1000**	**270**
10- للمحطة الأرضية G/Teنسبة	**27**	**14**	**37.7**

المثال (10.4):

المطلوب إتمام موازنة الوصلة لنظام تابع صنعي له الثوابت التالية:

الوصلة الصاعدة:

1- استطاعة مخرج المحطة الأرضية عند الإشباع (2000) وات 33dBW
2- الفقد التراجعي للمحطة الأرضية 3 ديسبل
3- فقد المغذي والموزع للمحطة الأرضية 4 ديسبل
4- كسب هوائي ارسال المحطة الأرضية (من الشكل 19.8) 64 ديسبل
5- الفقد الإضافي الجوي للوصلة الصاعدة 0.6 ديسبل
6- الفقد في مسار الفضاء الحر (من الشكل 20.4 عند 14 غيغاهرتز)206.5 ديسبل
7- نسبة G/Te لمستقبل التابع الصنعي $-5.3\ \mathrm{dB}K^{-1}$
8- فقد المغذي والموزع في التابع الصنعي صفر ديسبل
9- سرعة البيت 120 ميغابت \ث
10- نمط التعديل ثماني الأطوار.

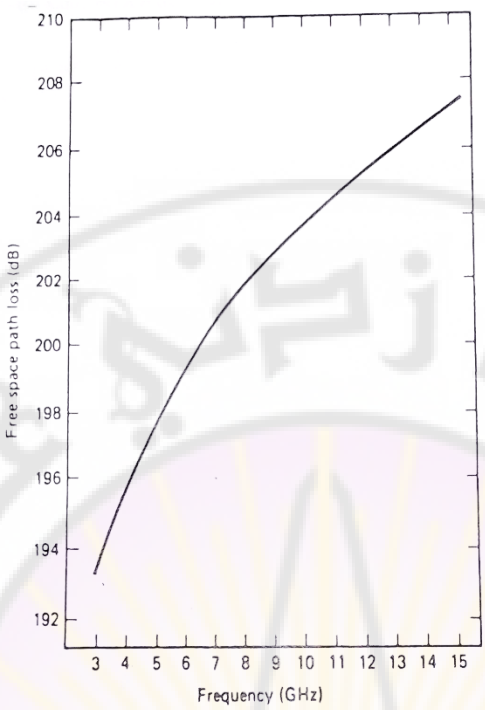


الشكل (19.4)

الوصلة الهابطة:

1- استطاعة مخرج مرسل التابع الصنعي عند الأشباع (10) واط dBW (10)
2- الفقد التراجعي للتابع الصنعي (0.1) ديسبل
3- فقد المغذي والموزع في التابع الصنعي (0.5) ديسبل
4- كسب هوائي إرسال التابع الصنعي (من الشكل 19.4 لقطر 0.37 متر وتردد 12 غيغاهرتز)30.8 ديسبل
5- الفقد الجوي الأضافي للوصلة الهابطة 0.4 ديسبل
6- الفقد الجوي في مسار الفضاء الحر (من الشكل 20.4عند 12 غيغاهرتز)205.6ديسبل.
7- كسب هوائي استقبال المحطة الأرضية (15 متر , 12 غيغاهيرتز)62 ديسبل
8- فقد مغذي المحطة الأرضية وموزعها صفر ديسبل
9- درجة حرارة الضجيج المكافئ للمحطة الأرضية 270 كيلفن
10-نسبة G/Te للمحطة الأرضية $37.7\ \mathrm{dB}K^{-1}$
11-سرعة البيت 120 ميغابيت / ث
12-نمط التعديل ثماني الأطوار.

الشكل (4-20)



الشكل (20-8)

Elevation angle correction:

Angle	+dB
90°	0
45°	0.44
0°	1.33

الحل: موازنة الوصلة الصاعدة:

لوغارتميا:

$EIRP = Pt + At - Lbo - Lpf$ (للمحطة الأرضية)

$= 33dBW + 64\ dB - 3\ dB - 4dB = 90\ dBW$

استطاعة الموجة الحاملة عند هوائي التابع الصنعي:

$ć = EIRP(\text{للمحطة الأرضية}) Lp - Lu -$

$= 90\ dBw - 206.5\ dB - 0.6\ dB = -117.1\ dBw$

نسبة C/No عند التابع الصنعي:

$$\frac{C}{N_o} = \frac{C}{KT_e} = \frac{C}{T_e} \times \frac{1}{K} : \text{حيث } \frac{C}{T_e} = ć \times \frac{G}{T_e}$$

وهكذا:

$$\frac{C}{N_o} = ć \times \frac{G}{T_e} \times \frac{1}{K}$$

لوغارتميا:

$$)\frac{C}{N_o}(dB) = ć(dBw) + \frac{G}{T_e}(dBK^{-1}) - 10\log(1.38 \times 10^{-23}$$

$$\frac{C}{N_o} = -117.1dBw + (-5.3dBK^{-1}) - (-228.6dBWK) = 106.2\ dB$$

وهكذا:

$$\frac{E_b}{N_o}(dB) = \frac{C/F_b}{N_o}(dB) - 10\log F_b$$

$$\frac{E_b}{N_o} = 106.2\ dB - 10(\log 120 \times 10^6) = 25.4dB$$

ولنظام ذي عرض مجال أصغري يكون:

$$\frac{C}{N} = \frac{E_b}{N_o} - \frac{B}{F_b} = 25.4 - 10\log\frac{40\times10^6}{120\times10^6} = 30.2\ dB$$

موازنة الوصلة الهابطة:

إذا عبرنا عن ذلك لوغارتمياً:

$= P_t + A_t - L_{bo} - L_{pf}$ (لمحطة تقوية التابع) EIRP

$= 10\ dBW + 30.8\ dB - 0.1dB - 0.5dB = 40.2dB$

استطاعة الموجة الحاملة عند هوائي المحطة الأرضية:

$$ć = EIRP(dBW) - L_p(dB) - L_d(dB)$$

$$= 40.2\ dBW - 205.6\ dB - 0.4\ dB = -165.8\ dBW$$

نسبة C/No عمد مستقبل المحطة الأرضية:

$\frac{C}{T_e} = ć \times \frac{G}{T_e}$ حيث : $\frac{C}{N_o} = \frac{C}{KT_e} = \frac{C}{T_e} \times \frac{1}{K}$

وهكذا يكون:

$$\frac{C}{N_o} = ć \times \frac{G}{T_e} \times \frac{1}{K}$$

ولوغاريتميا:

$$\frac{C}{N_o}(\mathrm{dB}) = ć\ (dBW) + \frac{G}{T_e}(dBK^{-1}) - 10(log\ k(1.38 \times 10^{-23})$$

$$= -165.8\ dBW + (37.7\ dBK^{-1}) - (-228.6\ dBWK^{-1}) = 100.5\ dB$$

وكطريقة أخرى للحل بالنسبة للنسبة C/No:

$$\frac{C}{N_o}(\mathrm{dB}) = \acute{c}\,(dBW) + A_r(dB) - T_e(dBK^{-1}) - K(dBWK)$$

$$= -165.8\,dBW + 62\,dB - 10\log 270\; - (-228.6\,dBWK)$$

$$\frac{C}{N_o} = -165.8\,dBW + 62dB - 24.3\,dBK^{-1} + 228.6\,dBWK = 100.5\,dB$$

$$\frac{E_b}{N_o}(dB) = \frac{C}{N_o}(dB) - 10\log F_b$$

$$= 100.5\,dB - 10\log(120 \times 10^6)$$

$$= 100.5\,dB - 80.8dB = 19.7\,dB$$

And for a minimum bandwidth system,

$$\frac{C}{N} = \frac{E_b}{N_o} - \frac{B}{F_b} = 19.7 - 10\,\log\frac{40\times10^6}{120\times10^6} = 24.5\,dB$$

بتحليل جيد وقليل من الجبر يمكن أن تيبين أن النسبة الإجمالية لطاقة البيت الى كثافة الضجيج (Eb/No) والتي تتضمن التأثير المشترك لنسبة الوصلة الصاعدة u (Eb/No) و لنسبة الوصلة الهابطة d(Eb/No)هي عبارة عن جداء معياري standard مقسوم على علاقة جمع يعبر عنها رياضياً ب:

$$\frac{E_b}{N_o}\left(\text{الاجمالي}\right) = \frac{(E_b/N_o)_u(E_b/N_o)_d}{(E_b/N_o)_u + (E_b/N_o)_d}$$

حيث جميع النسب مطلقة. وللمثال (10.8) يكون الإجمالي:

$$\frac{E_b}{N_o}\left(\text{الاجمالي}\right) = \frac{(346.7)(93.3)}{346.7 + 93.3} = 73.5$$

ولوغاريتميا:

$$10\log 73.5 = 18.7\,dB$$

كما هو في حال في كل علاقات نسبة حاصل الضرب الى حاصل الجمع فأن الرقم الأصغر هو الذي يتحكم. فإن كان إحدى الرقمين أصغر بكثير من الرقم الأخر كان الجواب مساوياً تقريبا الرقم الأصغر.

أن ثوابت نظام المثال (10.8) أخذت من النظام (ج) في الجدول (4.4). يبين الجدول (5.4) موازنة كامل النظام

الجدول 5.4 موازنة الوصلة الهابطة للمثال (4.10)

الوصلة الصاعدة	
1- استطاعة مرسل المحطة الأرضية عند الاشباع	2000واط 33dBW
2- الفقد التراجعي للمحطة الأرضية	3 ديسبل
3- الفقد في المغذي والتوزيع للمحطة الأرضية	4ديسبل
4 - كسب هوائي ارسال المحطة الأرضية	64 ديسبل
5- الاستطاعة المرسلة اللاتجاهية الفعالة للمحطة الأرضية	90 ديسبل
6 - الفقد الجوي الإضافي في الوصلة الصاعدة	0.6 ديسبل
7- الفقد في مسار الفضاء الحر	206.5 ديسبل
8 - استطاعة الموجة الحاملة عند التابع الصنعي	−117.1 dBW
9 -الفقد في المغذي والموزع في التابع	0ديسبل
10- نسبة G/Te عند التابع الصنعي	$-5.3\ dBK^{-1}$
11 - نسبة عند G/Te التابع الصنعي	$-122.4\ dBwK^{-1}$
12 -نسبة C/Ncعند التابع الصنعي	106.2 dB
13 - نسبة C/N	30.2 dB
14 -نسبة Eb/No	25.4 dB
15 - سرعة البث	120ميغابت / ثا
16 - نمط التعديل	ثماني الأطوار

جدول الوصلة الهابطة

الوصلة الهابطة	
1- استطاعة مرسل المحطة في التابع الصنعي في الاشباع	10 واط
2- الفقد التراجعي في التابع الصنعي	0.1 ديسبل
3- الفقد في المغذي والموزع في التابع الصنعي	0.5 ديسبل
4 - كسب هوائي ارسال التابع الصنعي	30.8 ديسبل
5- الاستطاعة المرسلة الفعالة اللاتجاهيةEIRPللتابع الصنعي	40.2dBW
6 - الفقد الجوي الإضافي في الوصلة الهابطة	0.4 ديسبل
7- الفقد في مسار الفضاء الحر	205.6
8 -كسب هوائي استقبال المحطة الارضية	62 ديسبل
9 - درجة حرارة الضجيج المكافئة في المحطة الأرضية	270كلفن
10-الفقد في مغذي المحطة الأرضية وموزعها	0ديسبل
11 - نسبة G/Teللمحطة الأرضية	$37.7dBK^{-1}$

12 - استطاعة الموجة الحاملة للمحطة الأرضية	-165.8dBW
13 -نسبة G/Teعند المحطة الارضية	$-128.1\ dBWK^{-1}$
14 - نسبة C/Noعند المحطة الارضية	100.5ديسبل
15 -نسبةC/N عند المحطة الارضية	24.5ديسبل
16 - نسبة Eb/No عند المحطة الارضية	19.7ديسبل
17-سرعة البث	20مغايبت/ثا
18-نمط التعديل	ثماني الاطوار

الثوابت غير المثالية للنظام:

تتضمن الثوابت الغير المثالية التحويل من تعديل مطالي الى تعديل مطالي والتحويل من تعديل مطالي الى تعديل طوري واللذين يظهران بسبب عدم خطية التضخيم في مضخمات الاستطاعة العالية وفي المحددات limiter كذلك هناك خطأ التوجيه pointing error والذي يحدث عندما لا يتقابل تماماً هوائياً المحطة الأرضية ومحطة التوابع الصنعية , وهناك أيضاً خطأ ارتجاج زاوية الطور phase jitter الناتج عن عدم مثالية استعادة الموجة الحاملة في المستقبل , وكذلك توجد أخطاء عدم مثالية الترشيح التي تظهر من مرشحات مرور الموجة , وكذلك يوجد خطأ التوقيت timing error بسبب عدم كمال استعادة إشارة الساعة في المستقبل وكذلك أخطاء نقل الترددات التي تظهر في مقوي التابع الصنعي ان هذه الأخطاء تسبب هبوطاً في النسبة Eb/No التي حددتها حسابات موازنة الوصلة لذلك يجب ادخالها في موازنة الوصلة كفقد مكافئ.

الأسئلة:

1.4-المطلوب وصف مختصر لتابع صنعي.

2.4-ما هو التابع الصنعي السلبي والتابع الصنعي الفعال ؟

3.4-ميز بين التابع الصنعي المتزامن والغير متزامن.

4.4-عرف التراجعي retrogradeوالسياقي prograd.

5.4-المطلوب تعريف الارتفاع الأقصىapogeeوالارتفاع الأدنىperigee للتابع الصنعي.

6.4- اشرح باختصار خصائص المدارات المنخفضة والمتوسطة والعالية.

7.4- اشرح المدرات الاستوائية والقطبية والمائلة.

8.4- ميز بين مزايا التوابع الصنعية المتزامنة ومساوئها.

9.4- المطلوب تعريف زاوية النظر وزاوية الارتفاع والسمت.

10.4- المطلوب تعريف تباعد التوابع الصنعية واذكر قيوده

11.4- المطلوب وصف موطئ القدم.

12.4- المطلوب وصف مخططات الاشعاع البقية والإقليمية والأرضية

13.4- اشرح معنى اعادة الاستعمال.

14.4- اشرح باختصار الخصائص الوظيفية لنموذج الوصلة الصاعدة والمقوي والوصلة الهابطة لنظام توابع صنعية

15.4- اشرح العقد التراجعي وعلاقته باستطاعة الأرسال واستطاعة الأشباع

16.4- اشرح طاقة البيت.

17.4- اشرح الاستطاعة الفعالة المرسلة الأيزو روبية (اللااتجاهية).

18.4- المطلوب تعريف درجة حرارة الضجيج المكافئة

19.4- المطلوب تعريف كثافة الضجيج.

20.4- المطلوب تعريف نسبة الموجة الحاملة الى كثافة الضجيج ونسبة طاقة البيت الى كثافة الضجيج.

21.4- المطلوب تعريف نسبة الكسب الى درجة حرارة الضجيج المكافئة.

22.4- المطلوب وصف موازنة وصلة تابع صنعي وكيف تستعمل.

المسائل:

1.4- توجد محطة أرضية في مدينة هي وستون في ولاية تكساس وهي على خط طول (99.5) وخط عرض (29.5) شمالاً. التابع الصنعي هو Satcom II المطلوب تحديد زاويتي النظر لهوائي المحطة الأرضية

2.4_ يعمل نظام تابع صنعي على تردد (14) غيغاهرتز للوصلة الصاعدة و (11) غيغاهرتز للوصلة الهابطة والمخطط أن يكون احتمال الخطأ $P(e) = 10^{-7}$ نمط التعديل ثماني الأطوار وسيحمل النظام (120) ميغابيت\ث . إن درجة حرارة الضجيج المكافئ لجهاز الاستقبال هي (400) كيلفن ويساوي عرض مجال الضجيج المستقبل مجال نايكويست الأدنى. المطلوب تحديد الثوابت التالية:نسبة C/N النظرية الصغرى / نسبة Eb/No النظرية الصغرى، كثافة الضجيج، الضجيج الإجمالي على مدخل المستقبل، استطاعة الموجة الحاملة الدنيا عند الاستقبال، وطاقة البيت الدنيا عند مدخل المستقبل.

3.4- يعمل نظام توابع صنعية على تردد (6) غيغاهرتز للوصلة الصاعدة و (4) غيغاهرتز للوصلة الهابطة والمخطط أن يكون احتمال الخطأ $P(e) = 10^{-6}$ نمط التعديل رباعي الأطوار وسيحمل النظام (100) ميغابيت\ث . درجة حرارة الضجيج المكافئ لجهاز الاستقبال هي (290) كيلفن ويساوي عرض مجال ضجيج المستقبل مجال نايكويست الأدنى. المطلوب تحديد:

أ) نسبة C/N التي يمكن قياسها عند نقطة في المستقبل قبل مرشح مرور المجال حيث عرض المجال هو مرة ونصف المرة من عرض مجال نايكويست الأدنى.

ب) نسبة C/N التي يمكن قياسها عند نقطة في المستقبل قبل مرشح مرور المجال حيث عرض المجال هو ثلاث مرات عرض مجال نايكوست الأدنى .

4.4- اي من النظامين التاليين له احتمال خطأ بت أفضل (BER):

أ) تعديل مطالي تربيعي ثماني فيهC/N=15dB ديسبل وB=2Fn و

ميغابت\ث FB=60

ب) تعديل رباعي الأطوار فيه C/N=16 ديسبل B=Fn و Fb=40 ميغابيت\ث

5.4- لمرسل محطة أرضية مضخم استطاعة عالية ذو استطاعة مخرج إشباعيه قدرها (10000) واط. نسبة التراجع هي 6 ديسبل وفقد التوزيع (2) ديسبل وفقد المغذي (4) ديسبل وكسب الهوائي (40) ديسبل المطلوب تحديد الاستطاعة المرسلة الفعالة EIRP اللااتجاهية.

6.4- المطلوب تحديد استطاعة الضجيج الإجمالية لمستقبل عرض مجال دخله (20) ميغاهرتز ودرجة حرارة الضجيج مكافئ (600) كيلفن.

7.4- المطلوب تحديد كثافة الضجيج للمسألة 6.8

8.4– المطلوب تحديد النسبة الدنيا C/N للحصول على P(e) قدرها 10^{-5} لجهاز استقبال ثماني الأطوار له عرض مجال يساوي (Fn).

9.4- المطلوب تحديد نسبة Eb/No عندما تكون استطاعة الموجة الحاملة على مدخل المستقبل (100-) dBW ودرجة حرارة الضجيج المدخل (290) كيلفن وسرعة الأرسال (60) ميغابيت /ث.

10.4- المطلوب تحديد C/No لجهاز استقبال له استطاعة موجة حاملة على مدخلة قدرها (70-) dBW ودرجة حرارة الضيح المكافئ (180) كيلفياً وعرض المجال (20) ميغاهرتز .

11.4- المطلوب تحديد نسبة C/N الدنيا لنظام ثماني الأطوار عند سرعة ارسال 60 ميغابيت/ث ونسبة Eb/No (15) ديسبل وعرض مجال المستقبل هو مجال نايكويست الأدنى.

12.4– لجهاز استقبال محطة ارضية درجة حرارة مدخل مكافئة قدرها (200) كيلفين وعرض مجال ضجيج (20) ميغاهيرتز وكسب هوائي استقبال (50) ديسبل وتردد حامل (12) غيغاهرتز, المطلوب تحديد N, G/ Te, No

13.4– في نظام اتصال توابع صنعية للوصلة الصاعدة Eb/No (14) ديسبل وللوصلة الهابطة Eb/No (18) ديسبل , المطلوب تحديد النسبة الإجمالية ل Eb/No

14.4– المطلوب إتمام موازنة الوصلة التالية:

ثوابت الوصلة الصاعدة:

1- استطاعة مرسل المحطة الأرضية عند الإشباع هو (1) كيلوواط
2- فقد تراجع للمحطة الأرضية قدره (3) ديسبل
3- الفقد في المغذي والموزع الإجماليين في المحطة الأرضية هو (3) ديسبل
4- كسب هوائي ارسال المحطة الأرضية لهوائي قطره (10) أمتار عند تردد (14) غيغاهرتز
5- فقد المسار في الفضاء الحر لتردد (14) غيغا هرتز.
6- الفقد الإضافي للوصلة الصاعدة بسبب جو الأرض (0.8) ديسبل.
7- نسبة G/Te لمقوي التابع الصنعي -4.6 dBK
8- سرعة ارسال (90) ميغابيت /ث وثماني الأطوار.

ثوابت الوصلة الهابطة:

1- استطاعة مخرج مرسل التابع الصنعي عند الإشباع (10) واط.
2- كسب هوائي مرسل التابع الصنعي بقطر (0.5) مترا عند تردد (12) غيغاهرتز
3- فقد التراجع للتعديل في التابع الصنعي قدره (0.8) ديسبل.
4- فقد مسا الفضاء الحر لتردد (12) غيغاهرتز.
5- الفقد الإضافي للوصلة الهابطة بسبب جو الأرض (0.6) ديسبل.
6- كسب هوائي استقبال المحطة الأرضية بقطر (10) أمتار وتردد (12) غيغاهرتز.
7- درجة حرارة الضجيج المكافئة (200) كيلفين .
8- فقد المغذي والموزع للمحطة الأرضية صفر ديسبل .
9- سرعة ارسال (90) ميغابيت / ث وثماني الأطوار.

الاتصالات الفضائية

الأسئلة النظرية

1.4. وصف مختصر لتابع صنعي؟

التابع الصنعي : هو محطة تقوية معلقة في السماء ويتألف نظام التابع الصنعي.

- محطة أرضية للتحكم في عمله.
- شبكة مستثمرين من المحطات الأرضية تؤمن ارسال حركة الاتصال واستقبالها عبر التابع الصنعي.

2.4. ما هو التابع الصنعي السلبي والتابع الصنعي الفعال؟

- **التابع الصنعي السلبي:** هو أداة تعكس الإشارة ببساطة من مكان إلى آخر , وهو تابع طبيعي للأرض , ولا يحوي أجهزة تضخم أو مقويات.
- **التابع الصنعي الفعال:** يستطيع هذا التابع استقبال المعلومات وتكبيرها ثم إعادة إرسالها بين محطتين أرضيتين.

3.4. عرف التراجعي والسياقي؟

- **التراجعي:**

إن التوابع الصنعية التي تدور حول الأرض ضمن مدارات محدودة فهي تدور حول الأرض بارتفاعات منخفضة وبمدار بيضوي أو دائري وبسرعة زاوية تراجعية عن سرعة دوران الأرض , وبالتالي فهي تتأخر عن دوران الأرض بحيث لا تبقى ثابتة بالنسبة لأي نقطة على الأرض.

- **السياقي:**

هي التوابع الصنعية التي تدور حول الأرض ضمن مدارات دائرية أو بيضوية وبسرعة زاوية سباقة عن سرعة الأرض , وبالتالي فهي تسبق دوران الأرض بحيث لا تبقى ثابتة بالنسبة لأي نقطة.

4.4. ميز بين التابع الصنعي المتزامن والغير متزامن ؟

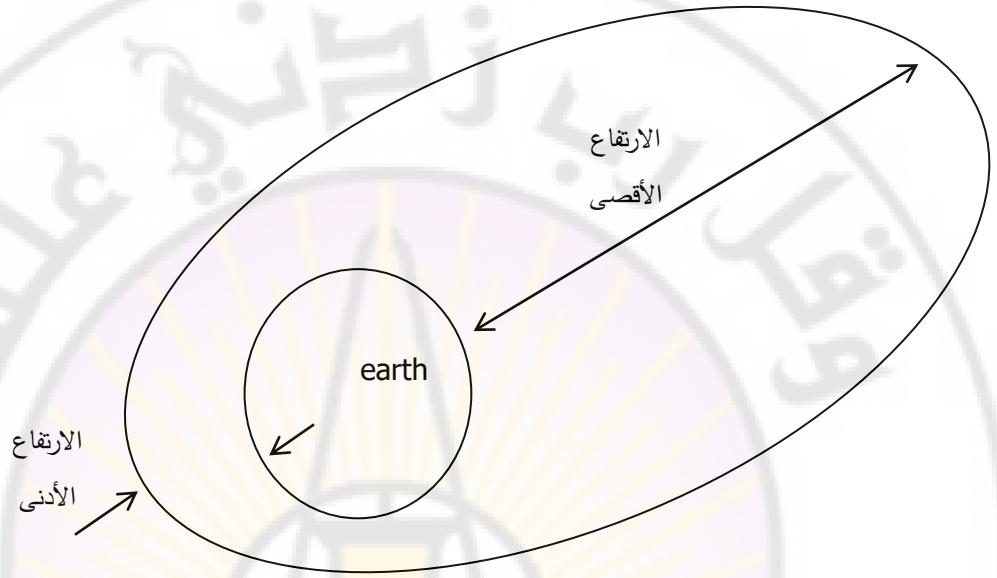
- **التابع الصنعي المتزامن :**

هو التابع الذي يدور حول الأرض بسرعة زاوية مساوية لسرعة الأرض , أي له دور الأرض.

- **التابع الصنعي الغير متزامن:**

هو التابع الذي يدور حول الأرض بسرعة زاوية تختلف عن سرعة دوران الأرض.

5.4. المطلوب تعريف الارتفاع الأقصى والارتفاع الأدنى للتابع الصنعي؟



6.4. اشرح باختصار خصائص المدارات المنخفضة والمتوسطة والعالية؟

- **مدارات منخفضة:**

(6000–25000) ميل يستغرق دورانها حول الأرض حوالي (5–12) ساعة وتبقى في مجال رؤية المحطة الأرضية حوالي (2–4) ساعة.

- **مدارات مرتفعة:**

(6000–25000) ميل يستغرق دورانها حول الأرض حوالي (24) ساعة وتبقى في مجال رؤية المحطة الأرضية حوالي (24) ساعة.

7.4. اشرح المدارات الاستوائية والقطبية والمائلة؟

- **مدار استوائي:** يدور التابع الصنعي فوق خط الاستواء.
- **مدار قطبي:** يدور التابع الصنعي فوق القطبين.

- **مدار مائل:** يدور التابع الصنعي في أي مدار غير المدارين السابقين.

8.4. ميز بين ميزات التوابع الصنعية المتزامنة ومساوئها؟

- **المزايا :**

يبقى التابع الصنعي ثابت تقريباً بالنسبة للمحطة الأرضية.

ليس هناك داعٍ للانتقال من تابع صنعي لأخر أثناء الدوران.

تغطي مساحة كبيرة من الأرض.

- **المساوئ:**

بسبب الارتفاع الكبير هناك زمن تأخير للإشارات.

يتطلب استطاعات إرسال عالية كبيرة.

يتطلب حساسية استقبال أكبر.

9.4. تعريف زوايا النظر؟

- **زاوية الارتفاع** :هي الزاوية بين محور هوائي المحطة الأرضية إلى التابع الصنعي والأفق.
- **زاوية السمت:** هي زاوية التوجيه الأفقي للهوائي وتقاس باتجاه دوران عقارب الساعة من الشمال الحقيقي.

10.4. تعريف تباعد التوابع الصنعية , واذكر قيوده؟

- **التعريف:**

يجب أن تتشارك التوابع الصنعي المتزامنة في مكان محدود ضمن مجال ترددي محدود على قوس معين من المدار المتزامن ويجب ان تتباعد مكانيا التوابع التي تعمل على الترددات نفسها لتجنب التداخل.

- **القيود:**

1-التابع هوائي والارسال محطة هوائي من لكل الجانبية والإشعاعات الإشعاع حزمة عرض الصنعي.

2-قيمة التردد الحامل الترددي.

3-طرق التعديل المستخدمة.

4-الحدود المقبولة للتداخل.

5-استطاعة الموجة الحاملة في الإرسال.

11.4.المطلوب وصف موطئ القدم؟

التمثيل الجغرافي لشكل إشعاع الهوائي المرسل.

12.4.المطلوب وصف مخططات الإشعاع البقعية والأرضية والإقليمية؟

عرض مخطط الإشعاع الأرضي هو 17 تقريبا ويغطي ثلث الكرة الأرضية.

التغطية الإقليمية فهي لأقل من ثلث سطح الأرض.

الهوائيات البقعية فهي تركز إشعاعها على منطقة جغرافية محدودة.

13.4.اشرح معنى إعادة الاستعمال؟

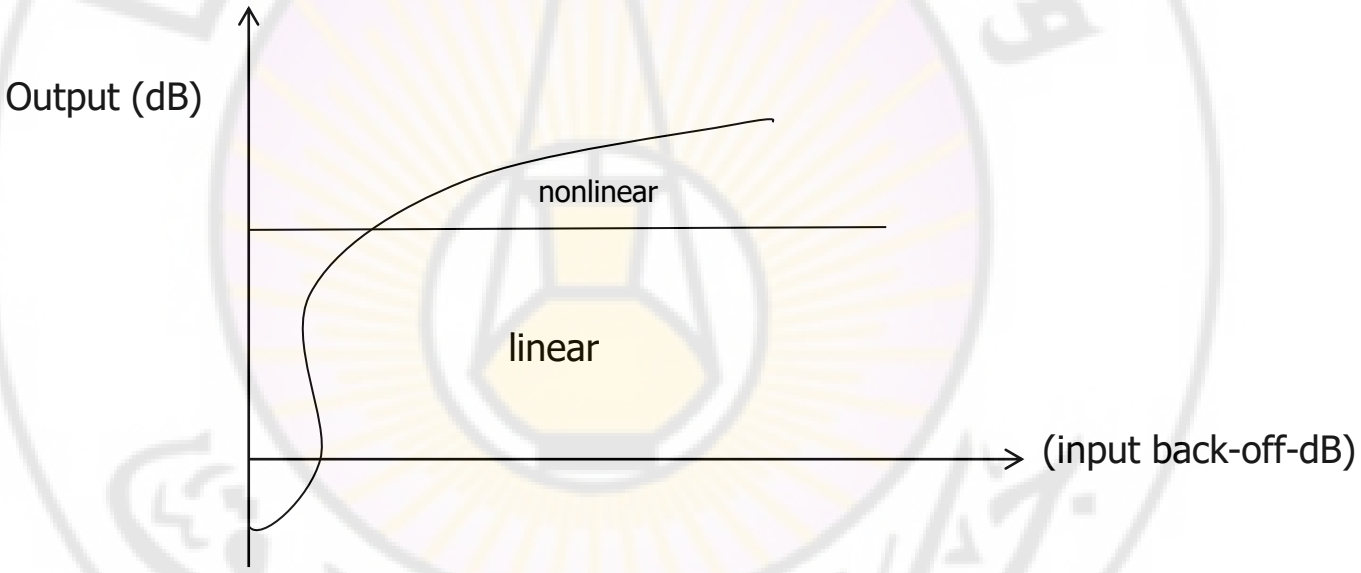
عندما يكون مجال الترددات المخصص محدوداً فانه يمكن الحصول على سعة إضافية عبر زيادة حجم الهوائي يتم تخفيض عرض المجال , لذلك يتم توجيه عدد من الإشعاعات ذات التردد نفسه إلى مناطق جغرافية مختلفة.

14.4.اشرح باختصار الخصائص الوظيفية لنموذج الوصلة الصاعدة والمقوي والوصلة الهابطة؟

- **الوصلة الصاعدة:** العنصر الأساسي في قسم الوصلة الصاعدة هو مرسل المحطة الأرضية , ويتألف المرسل من معدّل على تردد وسيط , ومبدل تردد وسيط إلى تردد عالي راديوي , ومضخم استطاعة , ومرشح.
- **المقوي:** يتألف من أداة لتحديد عرض مجال ترددات الدخل , ومضخم , ومبدل ترددات , ومرشح مرور منخفض.
- **الوصلة الهابطة:** يتكون مستقبل المحطة الأرضية من مرشح مرور مجال ترددي ومن مضخم ذي ضجيج منخفض ومبدل إلى تردد وسيط .

15.4. اشرح الفقد التراجعي وعلاقته باستطاعة الإرسال واستطاعة الإشباع؟

إن المضخمات المستخدمة في أنظمة التوابع الصنعية هي عناصر غير خطية ويعتمد كسبها على مستوى إشارة المدخل حيث بانخفاض استطاعة المدخل بمقدار (5dB) تنخفض استطاعة المخرج بمقدار (2dB) أي يوجد انضغاط واضح في الاستطاعة ولتخفيض ذلك يجب أن يعمل المضخم في منطقة أكثر خطية وتسمى هذه العملية تراجع ومقدار التراجع لاستطاعة المدخل يسمى فقد التراجع back-off-loss ولمضخم بفعالية أكثر يجب أن يعمل أقرب ما يكون إلى منطقة الإشباع وعندها تسمى استطاعة المخرج باستطاعة الإشباع p0 (sat) وهي نفسها استطاعة الإرسال Pr .



16.4.اشرح طاقة البت؟

تعطى طاقة البت بالعلاقة التالية:

$$Eb = pt * Tb$$

Eb: طاقة بت واحد (جول/بت).

pt: استطاعة الموجة الحاملة (واط).

Tb: زمن بت واحد (ثانية).

17.4.اشرح الاستطاعة الفعالة المرسلة الأيزتروبية؟

هي استطاعة إرسال مكافئة يعبر عنها بالعلاقة:

$$EIRP = pr * At$$

pr: الاستطاعة الإجمالية من الهوائي.

At: كسب هوائي الارسال.

18.4.المطلوب تعريف حرارة الضجيج المكافئة ؟

$$Tc = T(NF - 1)$$

Tc : درجة الحرارة المكافئة للضجيج.

T : درجة الحرارة المحيطية (كلفن).

NF : رقم مطلق.

19.4.المطلوب تعريف كثافة الضجيج؟

$$NO = \frac{N}{B} = k * Tc$$

NO : كثافة الضجيج (واط / هرتز).

N : كامل استطاعة الضجيج (واط).

B : عرض المجال (هرتز).

Tc : درجة حرارة الضجيج المكافئة .

20.4.المطلوب تعريف نسبة الموجة الحاملة إلى كثافة الضجيج ونسبة طاقة البت إلى كثافة الضجيج؟

إن كثافة الضجيج هي كامل استطاعة الضجيج الموزعة بانتظام في عرض مجال قدره (1) هرتز أو استطاعة الضجيج في عرض مجال (1) هرتز . يعبر عن كثافة الضجيج رياضياً بالعلاقة :

$$No = \frac{N}{B} = KTe$$

حيث:

No : كثافة الضجيج (واط / هرتز).

N : كامل استطاعة الضجيج (واط).

B : عرض المجال (هرتز).

K : ثابت بول تزمان.

Te : درجة حرارة الضجيج المكافئة لوغاريتمياً نكتب:

$$No\,\frac{dBW}{Hz10logN} - 10logB = 10logK + 10logTe$$

21.4.المطلوب تعريف نسبة الكسب إلى درجة حرارة الضجيج المكافئة؟

إن هذه النسبة هي علامة جودة تستخدم لتمثيل جودة محطة استقبال التابع الصنعي أو محطة استقبال أرضية.

تساوي هذه النسبة كسب هوائي الاستقبال إلى درجة حرارة الضجيج المكافئة Te لجهاز الاستقبال

نظراً لأن استطاعة الموجة الحاملة في الاستقبال متناهية في الصغر في نظم الاتصالات الفضائية فإن المضخم ذا الضجيج المنخفض LNA يوضع مباشرة عند الهوائي وبينه وبين المغذي . في هذه الحالة تكون النسبة G/Te هي نسبة كسب هوائي الاستقبال مع كسب المضخم ذي الضجيج المنخفض إلى درجة حرارة الضجيج المكافئة ويكتب ذلك كما يلي :

$$\frac{\mathrm{G}}{\mathrm{Te}} = \mathrm{Ar} + \frac{\mathrm{A(LAN)}}{\mathrm{Te}}$$

لوغاريتمياً:

$$\frac{\mathrm{G}}{\mathrm{Te}} = (\mathrm{dBk^{-1}}) = \mathrm{Ar(dB)} + \mathrm{A(LAN)(dB)} - \mathrm{Te(dBk^{-1})}$$

إن النسبة G/Te عامل مفيد جداً لتحديد Eb/NO و C/N عند مقوي التابع الصنعي ومستقبل المحطة الأرضية وهذه النسبة هي العامل الوحيد المطلوب عند مستقبل التابع أو مستقبل المحطة الأرضية عند إتمام ميزانية الوصلة.

22.4.المطلوب وصف موازنة وصلة تابع صنعي وكيف تستعمل؟

يبين الجدول التالي ثوابت النظام بالنسبة لثلاثة أنظمة اتصالات توابع صنعية تقليدية .إن هذه الأنظمة وثوابتها ليست بالضرورة لنظام مستقبلي أو حاضر وإنما هي أمثلة فرضية فقط.

تستخدم ثوابت النظام لإعداد موازنة الوصلة . تعرف ثوابت الوصلة ثوابت النظام وتستخدم لتحديد النسب C/N و NO المخططة في كل من مستقبلات المحطة الأرضية والتابع الصنعي بالنسبة لنمط تعديل معطى واحتمال خطأ مرغوب فيه.

الجدول التالي يبين ثوابت النظام لثلاثة أنظمة توابع صنعية افتراضية:

الوصلة الصاعدة	نظام أ 12/14 غيغا هرتز ثماني الاطوار 120 ميغابت/ثا تغطية أرضية	نظام ب 12/14 غيغا هرتز ثماني الاطوار 90 ميغابت/ثا تغطية أرضية	نظام ج 12/14 غيغا هرتز رباعي الاطوار 60 ميغابت/ثا تغطية أرضية
1.استطاعة خرج المرسل (إشباع DBW)	35	25	33
2.الفقد التراجعي للمحطة DB	2	2	3
3.فقد المغذي والموزع في المحطة الأرضية DB	3	3	4
4.الفقد الإضافي في الجو DB	0.6	0.4	0.6
5.كسب هوائي المحطة الأرضية DB	55	46	64
6.الفقد في مسار الفضاء الحر DB	200	208	206.5
7.كسب الهوائي الاستقبال في التابع الصنعي DB	20	46	23.7
8.فقد المغذي والموزع في التابع الصنعي	1	1	0
9.درجة حرارة الضجيج المكافئ لتابع صنعي كلفن	1000	800	800
10.نسبة G/Te للتابع الصنعي	10 –	16	53–

المسائل

1.4.توجد محطة أرضية في مدينة هيوستون في ولاية تكساس وهي خط على خط طول (99.5) وخط عرض (29.5) شمالاً. المطلوب تحديد زاويتي النظر لهوائي المحطة الأرضية؟

نحدد أولاً الفارق بين خطي التابع الصنعي للمحطة الأرضية حيث التابع الصنعي من نوع II له خط طول 119 ومنه

$$\Delta L = 119 - 99.5 = 19.5°$$

من الشكل نجد تقاطع ΔL مع خط عرض المحطة الأرضية 29.5 لتكون

Elevation Angle زاوية الارتفاع

Azimuth Angle زاوية السمت

2.4.يعمل نظام صنعي على تردد (14) غيغاهيرتز للوصلة الصاعدة و (11)غيغاهيرتز للوصلة الهابطة والمخطط أن يكون احتمال الخطأ $P(e) = 10^{-7}$ نمط التعديل ثماني الأطوار وسيحمل النظام (120)ميغابت/ث. إن درجة الضجيج المكافئ لجهاز الاستقبال هي (400) كلفين ويساوي عرض مجال ضجيج المستقبل مجال نايكويست الأدنى. المطلوب تحديد الثوابت التالية : نسبة C/N النظرية الصغرى , نسبة Eb/NO النظرية الصغرى , كثافة الضجيج , الضجيج الاجمالي على مدخل المستقبل , استطاعة الموجة الحاملة الدنيا عند الاستقبال , وطاقة البت الدنيا عند مدخل المستقبل؟

بما أن نمط التعديل ثماني الأطوار فإن عرض المجال الأدنى

$$B = \frac{1}{3} * \text{البت سرعة } (Fb) = \frac{1}{3} * 120 = 40GHz$$

بالتعويض في المعادلة:

$$\frac{Eb}{NO}(dB) = \frac{C}{N}(dB) + \frac{b}{Fb}(dB)$$

-

$$= 25.5(\mathrm{dB}) + 10\log\left(\frac{40}{120}\right)$$

$$\frac{\mathrm{Eb}}{\mathrm{No}} = 15.7(\mathrm{dB})$$

كثافة الضجيج :

$$\mathrm{N0} = \mathrm{k} * \mathrm{Te}$$

$$\mathrm{K} = 1.38 * 10^{-23}$$

$$\mathrm{NO}\left(\frac{\mathrm{dBW}}{\mathrm{Hz}}\right) = 10\log(\mathrm{k}) + 10\log(\mathrm{Te})$$

$$= 10\log(1.38 * 10^{-23} + 10\log(400)) - 202.6\left(\frac{\mathrm{dBW}}{\mathrm{Hz}}\right)$$

$$\mathrm{N} = \mathrm{No} * \mathrm{B} \rightarrow \mathrm{N}(\mathrm{dBW}) = \mathrm{NO}\left(\frac{\mathrm{dBW}}{\mathrm{Hz}}\right) + 10\log(\mathrm{B})$$

$$= -202.6 + 10\log(40 * 10^{9}) = -96.6(\mathrm{dBW})$$

$$\frac{\mathrm{Eb}}{\mathrm{No}} = \frac{\frac{\mathrm{c}}{\mathrm{f_b}}}{\mathrm{No}} = \mathrm{c}\frac{1}{\frac{1}{\mathrm{f_b}}} * \frac{1}{\mathrm{No}}$$

$$\frac{\mathrm{Eb}}{\mathrm{No}}(\mathrm{dB}) = \mathrm{C}(\mathrm{dB}) - 10\log(\mathrm{f_b}) - 10\log(\mathrm{NO})$$

$$15.7 = \mathrm{C}(\mathrm{dB}) - 10\log(120 * 10^{9}) + 202.6 \rightarrow \mathrm{C}(\mathrm{dB}) = -76.2(\mathrm{dBW})$$

$$\mathrm{Eb} = \frac{\mathrm{C}}{\mathrm{f_b}} \Rightarrow \mathrm{Eb}\left(\frac{\mathrm{dBJ}}{\mathrm{bit}}\right) = \mathrm{C}(\mathrm{dB}) - 10\log(\mathrm{f}) = -186.99\left(\frac{\mathrm{dBJ}}{\mathrm{bit}}\right)$$

3.4. يعمل نظام توابع صنعية على تردد (6) غيغاهيرتز للوصلة الصاعدة و (4)غيغاهيرتز للوصلة الهابطة والمخطط أن يكون احتمال الخطأ $P(e) = 10^{-6}$ نمط التعديل رباعي الأطوار وسيحمل النظام (100) ميغابت/ث. إن درجة الضجيج المكافئ لجهاز الاستقبال هي (290) كلفين ويساوي عرض مجال ضجيج المستقبل مجال نايكويست الأدنى. المطلوب تحديد:

أ– نسبة C/N التي يمكن قياسها عند نقطة في المستقبل قبل مرشح مرور المجال حيث عرض المجال هو مرة ونصف المرة من عرض مجال نايكويست الأدنى؟

ب_ نسبة C/N التي يمكن قياسها عند نقطة في المستقبل قبل مرشح مرور المجال حيث عرض المجال هو ثلاث مرات عرض مجال نايكويست الأدنى؟

بما أن التعديل رباعي الأطوار فإن عرض المجال الأدنى:

$$B = 0.5 * f_b = 0.5 * 100 = 50\text{Mbps} = 50\text{MHz}$$

من الشكل نجد أن القيمة الصغرى للنسبة C/N هي باحتمال خطأ 10^{-6}

$$\frac{C}{N} = 13.5(\text{dB})$$

$$\frac{EB}{NO}(\text{dB}) = \frac{C}{N} + \frac{B}{f_b} \Rightarrow \text{لوغاريتميا} \frac{Eb}{No}(\text{dB}) = \frac{C}{N}(\text{dB}) = \frac{C}{N}(\text{dB}) + \frac{B}{f_b}(\text{dB})$$

$$= 13.5 + 10\log\left(\frac{50\text{MHz}}{100\text{MHZ}}\right) = 10.5(\text{dB})$$

الحالة الأولى : مرة ونص عرض مجال نايكويست الأدنى:

$$\frac{C}{N}(\text{dB}) = \frac{Eb}{No}(\text{dB}) - \frac{B}{f_b}(\text{dB}) = 10.5 - 10\log\left(\frac{1.5*50}{100}\right) = 11.75(\text{dB})$$

الحالة الثانية : 3 أضعاف عرض مجال نايكويست الأدنى:

$$\frac{C}{N}(\text{dB}) = 10.5 - 10\log\left(\frac{3*50}{100}\right) = 8.74(\text{dB})$$

4.4. أي من النظاميين التاليين له احتمال خطأ بت أفضل(BER)

أ–تعديل مطالي تربيعي ثماني فيه $C/N = 15db$ ديسيبل و $B = 2Fn$ و$FB = 60$ ميغا بت /ث؟

ب– تعديل رباعي الأطوار فيه $C/N = 16$ ديسيبل و $B = Fn$ و $FB = 40$ ميغا بت /ث؟

حسب الشكل نجد :

من أجل النظام الذي لديه تعديل مطال تربيعي ثماني $C/N = 15db$ فإن :

احتمال الخطأ $p_e = 10^{-2} = 1/100$

اما من أجل النظام تعديل رباعي الأطوار $C/N = 16db$ فإن :

احتمال الخطأ: $p_e = 10^{-10}$

منه النظام تعديل رباعي الأطوار أفضل لأن احتمال الخطأ فيه أقل.

5.4. لمرسل محطة أرضية مضخم استطاعة عالية ذو استطاعة مخرج إشباعيه قدرها (10000) واط .

نسبة التراجع هي (6) ديسيبل وفقد التوزيع (2) ديسيبل وفقد المغذي (4) ديسيبل وكسب الهوائي (40) ديسيبل المطلوب تحديد الاستطاعة المرسلة الفعالة EIRP اللا اتجاهية ؟

الاستطاعة الفعلية لمخرج المرسل Pt :

$$Pt = 10\log(10000) = 40(dB)$$

الفقد الإجمالي:

$$Lbf = \text{فقد التوزيع} + \text{فقد المغذي} = 2 + 4 = 6(dB)$$

الاستطاعة الفعالة الأيزتروبية المشعة اللا اتجاهية:

$$EIRP = Pt + Lbo + Lbf + At$$

$$= 40 - 6 - 6 + 40 = 68(dBW)$$

6.4.المطلوب تحديد استطاعة الضجيج الإجمالية لمستقبل عرض مجال دخله (20)ميغا هرتز ودرجة حرارة الضجيج مكافئ (600) كليفين ؟وتحديد كثافة الضجيج ؟

كثافة الضجيج:

$$No = \frac{N}{B} = KTe\ ;\ K = 1.38 * 10^{-23}$$

$$NO = 1.38 * 10^{-23} * 600 = 828 * 10^{-23}(w/HZ)$$

$$N(dB) = 10(828 * 10^{-23}) = -200.82(dBW/Hz)$$

استطاعة الضجيج الإجمالية:

$$N = NO * B = 828 * 10^{-23} * 20 * 10^{6} = 1.656 * 10^{-13}$$

لوغاريتميا:

$$N_{dBW} = 10\log(1.656 * 10^{-13}) = -127.81(dBW)$$

7.4.المطلوب تحديد النسبة الدنيا C/N للحصول على P(e) قدره 10^{-5} لجهاز استقبال ثماني الأطوار له عرض مجال يساوي (FN) ؟

$$\frac{C}{N} = 18.5(dB)$$

من أجل نظام ثماني الإطار واحتمال خطأ $Pe = 10^{-5}$

8.4.المطلوب تحديد نسبة Eb/No عندما تكون استطاعة الموجة الحاملة على مدخل المستقبل $-100)dBw$ ودرجة حرارة ضجيج المدخل (290) كليفين وسرعة الارسال (60) ميغا يت /ث؟

$$pt = -100(dBW) \rightarrow -100 = 10\log Pt \rightarrow Pt = 10^{-10}w$$

$$Eb = Pt * Tb \ ; \ Tb = \frac{1}{fb} = \frac{1}{60 * 10^{6}} = 16666.6sec$$

$$\rightarrow Eb = 1.67 * 10^{-6}j/bit$$

$$No = K * Te$$

$$= 1.38 * 10^{-23} * 290 = 4.002 * 10^{-21}w/Hz$$

$$No = \left(\frac{dBW}{Hz}\right) 10\log(1.002 * 10^{-21}) = -203.97\frac{dBW}{Hz}$$

$$\frac{Eb}{No}(dB) = 146.19$$

9.4.المطلوب تحديد C/NO لجهاز استقبال له استطاعة موجة حاملة على مدخله قدرهاdBW(70−) ودرجة حرارة الضجيج المكافئ (180) كيليفاً وعرض مجال (20) ميغا هيرتز؟

$$No = K * Te = 1.38 * 10^{-23} * 180 = 2484 * 10^{-21}$$
$$\mathrm{No(dBW/Hz)} = -20.6(\mathrm{dBW/Hz})$$

$$\frac{\mathrm{C}}{\mathrm{NO}} = \frac{10^{-70}}{2.484*10^{-21}} = 4.167 * 10^{-50} \quad \frac{\mathrm{C}}{\mathrm{No}}(\mathrm{dB}) = -493.8(\mathrm{dB})$$

10.4.المطلوب تحديد نسبة C/N الدنيا لنظام ثماني الأطوار عند سرعة ارسال (60) ميغا بت / ث ونسبة Eb/No (15) ديسيبل وعرض مجال نايكويست الأدنى؟

$$\frac{\mathrm{C}}{\mathrm{N}}(\mathrm{dB}) = \frac{\mathrm{Eb}}{\mathrm{No}}(\mathrm{dB}) - \frac{\mathrm{B}}{\mathrm{f_b}}(\mathrm{dB})$$

بما أن نظام تعديل ثماني الأطوار فإن:

$$\mathrm{B} = \frac{1}{3} * 60 = 20\mathrm{MHz}$$

$$\frac{\mathrm{C}}{\mathrm{N}}(\mathrm{dB}) = 15 - 10\log\left(\frac{20\mathrm{Mbps}}{60\mathrm{Mbps}}\right) = 19.77(\mathrm{dB})$$

$$\frac{\mathrm{Eb}}{\mathrm{No}} = \frac{(\frac{\mathrm{Eb}}{\mathrm{No}})_u * (\frac{\mathrm{Eb}}{\mathrm{No}})_d}{(\frac{\mathrm{Eb}}{\mathrm{No}})_u + (\frac{\mathrm{Eb}}{\mathrm{No}})_d} = \frac{14*18}{14+18} = 7.875(\mathrm{dB})$$

$$\mathrm{No} = \mathrm{N/B} = \mathrm{k} * \mathrm{Te} = 1.38 * 10^{-23} * 200 = 276 * 10^{-23}$$

$$\mathrm{NO}\left(\frac{\mathrm{dBW}}{\mathrm{Hz}}\right) = 10\log(276 * 10^{-23}) = -205.6\frac{\mathrm{dBW}}{\mathrm{Hz}}$$

$$\mathrm{No} = \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{B}} \Rightarrow \mathrm{N} = \mathrm{No} * \mathrm{B} = 276 * 10^{-23} * 20 * 10^{-6} = 5.52 * 10^{-14}\mathrm{w}$$

$$\mathrm{N_{dBw}} = -132.6(\mathrm{dBW})$$

$$\frac{\mathrm{G}}{\mathrm{Te}} = (\mathrm{dBk^{-1}}) = \frac{\mathrm{A_t}}{\mathrm{Te}}(\mathrm{dBk^{-1}}) = \mathrm{A_t(dB)} - 10\log(\mathrm{T_e}) = 50 - 10\log(200)$$

$$\rightarrow \frac{\mathrm{G}}{\mathrm{Te}}(\mathrm{dBk^{-1}}) = 26.99\mathrm{dBk^{-1}}$$

11.4.لجهاز استقبال محطة أرضية درجة حرارة مدخل مكافئة قدرها(200) كيلفين وعرض مجال ضجيج (20) ميغا هرتز وكسب هوائي استقبال(50) ديسيبل وتردد حامل(12)غيغا هيرتز , المطلوب تحديدNo ; $^{G}/_{Te}$; N ؟

رياضياً:

$$No = k * Te$$

لوغاريتميا:

$$No = \left(\frac{dBW}{Hz}\right) = 10\log(k) + 10\log(Te)$$

$$= 10\log(1.38 * 10^{-23}) + 10\log(200) - 205.59\frac{dBW}{Hz}$$

رياضياً:

$$^{G}/_{Te} = \frac{Ar * A(LNA)}{Te}$$

لوغاريتميا:

$$\frac{G}{Te}\ [dBk^{-1}] = Ar\ [dB] + A_{LNA}\ [dB] - Te\ [dBk^{-1}]$$

$$= 50\ dB + 10\ dB - 23\ dBk^{-1}$$

$$37 =$$

رياضياً:

$$N = No * B$$

لوغاريتميا:

$$N(dB) = 10\log(No) + 10\log(B)$$

$$= -205.59 + 10\log(20 * 10^6) = -132.58\ dBW$$

12.4.في نظام اتصال توابع صنعية للوصلة الصاعدة Eb/No (14) ديسيبل وللوصلة الهابطة Eb/No (18) ديسيبل المطلوب تحديد النسبة الاجمالية ل Eb/No ؟

$$\frac{Eb}{No}\text{ الاجمالي} = \frac{(\frac{Eb}{No})u*(\frac{Eb}{No})d}{(\frac{Eb}{No})u+(\frac{Eb}{No})d}$$

$$\frac{Eb}{No}(dB) = 14dB = 10\log\left(\frac{Eb}{No}\right)u = 25.12$$

$$\frac{Eb}{No}(dB) = 10\log\left(\frac{Eb}{No}\right)d = 63.095$$

ومنه حسب القانون الإجمالي نعوض:

$$14 + 18 - 10\log(25.12 + 63.095) = 12.54\ dB$$

13.4.المطلوب إتمام موازنة الوصلة التالية:

ثوابت الوصلة الصاعدة:

1.استطاعة مرسل المحطة الأرضية عند الإشباع هو (1) كيلو واط.

2.فقد تراجع للمحطة الأرضية قدره (3) ديسيبل.

3.الفقد في المغذي والموزع الإجماليين في المحطة الأرضية هو (3) ديسيبل.

4.كسب هوائي إرسال المحطة الأرضية لهوائي قطره (10) أمتار عند تردد (14) غيغا هرتز.

5.فقد المسار في الفضاء الحر لتردد (14) غيغا هيرتز.

6.الفقد الإضافي للوصلة الصاعدة بسبب جو الأرض (0.8) ديسيبل.

7.نسبة G/Te لمقوي التابع الصنعيdbk(4.6).

8.سرعة إرسال (90) ميغا بت/ث وثماني الأطوار.

ثوابت الوصلة الهابطة:

1.استطاعة مخرج مرسل التابع الصنعي عند الإشباع (10) واط.

2.كسب هوائي مرسل التابع الصنعي بقطر (0.5) متراً عند تردد (12) غيغا هرتز.

3.فقد التراجع للتعديل في التابع الصنعي قدره (0.8) ديسيبل.

4.فقد مسار الفضاء الحر لتردد (12) غيغا هيرتز .

5.الفقد الإضافي للوصلة الهابطة بسبب جو الأرض (0.6) ديسيبل.

6.كسب هوائي استقبال المحطة الأرضية بقطر (10) أمتار وتردد (12)غيغا هيرتز.

7.درجة حرارة الضجيج المكافئة (200) كليفن.

8.فقد المغذي والموزع للمحطة الأرضية صفر ديسيبل.

9.سرعة إرسال (90) ميغا بت /ث وثماني الأطوار.؟

الوصلة الصاعدة:

$$\mathrm{EIRP} = \mathrm{Pt} + \mathrm{At} - \mathrm{Lbo} - \mathrm{Lpf}$$

$$= 30 + 60 - 3 - 3 = 84(\mathrm{dBW})$$

$$\hat{\mathrm{C}} = \mathrm{EIRP} - \mathrm{Lp} - \mathrm{Lu}$$

$$= 84(\mathrm{dBW}) - 206.5(\mathrm{dB}) - 0.8(\mathrm{dB}) = -123.3(\mathrm{dBW})$$

$$^{\mathrm{C}}/_{\mathrm{No}} = \frac{\mathrm{C}}{\mathrm{K}*\mathrm{To}} = \frac{\mathrm{C}}{\mathrm{To}} * \frac{1}{\mathrm{K}} = \hat{\mathrm{C}} * \frac{\mathrm{G}}{\mathrm{Te}} * \frac{1}{\mathrm{K}}$$

$$\frac{\mathrm{C}}{\mathrm{No}} = (\mathrm{dB}) = \hat{\mathrm{C}}(\mathrm{dBW}) + \frac{\mathrm{G}}{\mathrm{To}}(\mathrm{dBk}^{-1}) - 10\log(1.38 * 10^{-23})$$

$$= -123.1(\text{dBW}) - 4.6(\text{dBk}^{-1}) - (-228.6\ \text{dBW}) = 100.9\ \text{dB}$$

$$\frac{\text{Eb}}{\text{No}} = \frac{\frac{\text{C}}{\text{f}_\text{b}}}{\text{No}}$$

$$\frac{\text{Eb}}{\text{No}}(\text{dB}) = \frac{\text{C}}{\text{No}}(\text{dB}) - 10\log(\text{f}_\text{b})$$

$$= 100.9 - 10\log(90 * 10^6) = 21.36(\text{dB})$$

$$\frac{\text{C}}{\text{N}} = \frac{\text{Eb}}{\text{No}} = \frac{\text{B}}{\text{f}_\text{b}}$$

$$\frac{\text{C}}{\text{N}}(\text{dB}) = 21.36(\text{dB}) - 10\log\left(\frac{30*10^6}{90*10^6}\right) = 26.13\ \text{dB}$$

الوصلة الهابطة:

$$\text{EIRP} = \text{Pt} + \text{At} - \text{Lbo} - \text{Lpf}$$

$$= 10 + 32.8 - 0.8 - 0.1 = 419\ (\text{dBW})$$

$$\hat{\text{C}} = \text{EIRP} - \text{Lp} - \text{Lu}$$

$$= 42(\text{dBW}) - 205.6(\text{dB}) - 0.6(\text{dB}) = -164.2(\text{dBW})$$

$$\text{C}/\text{No} = \frac{\text{C}}{\text{K}*\text{To}} = \frac{\text{C}}{\text{To}} * \frac{1}{\text{K}} = \hat{\text{C}} * \frac{\text{G}}{\text{Te}} * \frac{1}{\text{K}}$$

$$\frac{\text{C}}{\text{No}} = (\text{dB}) = \hat{\text{C}}(\text{dBW}) + \text{A}_\text{t}(\text{dB}) - \text{Te}(\text{dBk}^{-1}) - \text{k}(\text{dBwk})$$

$$= -164.2(\text{dBw}) + 58.4(\text{dB}) - 10\log(200) - 10\log(1.23 * 10^{-23}) = 100.29\ \text{dB}$$

$$\frac{\text{Eb}}{\text{No}} = \frac{\frac{\text{C}}{\text{f}_\text{b}}}{\text{No}}$$

$$\frac{\text{Eb}}{\text{No}}(\text{dB}) = \frac{\text{C}}{\text{No}}(\text{dB}) - 10\log(\text{f}_\text{b})$$

$$= 100.29 - 10\log(90 * 10^9) = -9.25(\text{dB})$$

$$\frac{\text{C}}{\text{N}} = \frac{\text{Eb}}{\text{No}} = \frac{\text{B}}{\text{f}_\text{b}}$$

$$\frac{\text{C}}{\text{N}}(\text{dB}) = -9.25(\text{dB}) - 10\log\left(\frac{30*10^9}{90*10^9}\right) = -4.48\ \text{dB}$$

$$\frac{\text{C}}{\text{No}}(\text{dB}) = \hat{\text{C}}(\text{dBW}) + \frac{\text{G}}{\text{Te}}(\text{dBk}^{-1}) - 10\log(\text{k})$$

$$\frac{\text{G}}{\text{To}}(\text{dBk}^{-1}) = 100.29(\text{dBw}) - (-164.2)(\text{dBw}) - (-228.6\ \text{dBw})$$

$$\frac{\text{G}}{\text{To}} = 35.89\ \text{dBk}^{-1}$$

مسائل الاتصالات الفضائية

المسألة الأولى:

لدينا نظام اتصالات فضائية فيه استطاعة الإرسال الإجمالي (Pt) هي (1000) وات فالمطلوب تحديد قدرة البيت[dBW] Eb عند سرعة إرسال mb/s (50).

الحل:

$$T_b = \frac{1}{F_b} = \frac{1}{50 \times 10^6 bps}$$

$$[S] = 0.02 \times 10^{-6}$$

بالتعويض في المعادلة

$$E_b = P_t . T_b$$

$$=1000\ j/s\ x\ (0.02x10^{-6}\ s/bit\ ) = 20\ \mu\ joul$$

من المعتاد التعبير عن Pt بوحدة dBW و Eb بوحدة dBW / bps

وهكذا فإن :

$$Pt = 10 \log 1000 = 30\ dBW$$

$$Eb = Pt = 10 \log (50x10^6)$$

$$= 30\ dBW - 77\ dB = -47\ dBW / bps.$$

المسألة الثانية :

لمرسل محطة أرضية استطاعة مخرج قدرها 10000 watt و فقد تراجع 3dB وفقد مغذٍ 3dB وكسب هوائي 40 dB .

المطلوب :

تحديد الاستطاعة الفعلية المشعة (EIRP) .

الحل:

$$EIRP = Pt - Lbo - Lbf + At$$

حيث

Pt : الاستطاعة الفعلية لخرج المرسل [dBW] .

Lbo : فقد التراجع لمضخم الاستطاعة [dB].

Lbf : الفقد الإجمالي للمغذي و للموزع .

At : كسب هوائي الإرسال [dB] .

$$Pt\ (dBW) = 10 \log 10000 = 40\ dBW .$$

$$EIRP = 40\ dBW - 3\ dB - 3\ dB + 40\ dB = 74\ dBW .$$

المسألة الثالثة :

المطلوب تحويل رقمي الضجيج (4) و (4.01) إلى درجة حرارة ضجيج مكافئة .

لتكن درجة حرارة البيئة هي (300) كيلفن

الحل :

1) عند NF = 4

$$Te = T\,(NF - 1) = 300\,(4 - 1) = 900\ K$$

2) عند NF = 4.01 :

$$Te = 300\,(4.01 - 1) = 903\ K$$

نلاحظ أن فارقاً بدرجة الحرارة المكافئة بمقدار (3) هو (300) مرة أكبر من الفارق بين رقمي الضجيج وبالنتيجة فإن درجة الحرارة المكافئة للضجيج هي طريقة أكثر دقة في مقارنة أداء الضجيج لجهازي الاستقبال .

المسألة الرابعة :

المطلوب من أجل مجال الضجيج المكافئ MHz (10) واستطاعة ضجيج عظمى (0.027 PW) . تحديد كثافة الضجيج [dBW/Hz] ودرجة حرارة الضجيج المكافئة .

الحل :

تعطى علاقة الضجيج بالعلاقة التالية :

$$No = \frac{N}{B} = K.Te$$

حيث :

No : كثافة الضجيج [W/ Hz] .

N : عامل استطاعة الضجيج (W) .

B : عرض المجال [Hz] .

K : ثابت بولتزمان .

Te : درجة حرارة الضجيج المكافئة بالكلفن .

بالتعويض نجد أن :

$$No = \frac{N}{B} = \frac{276 \times 10^{-16}}{10 \times 10^{6}} = 276 \times 10^{-23} [\frac{W}{Hz}]$$

لوغاريتمياً نجد أن :

$No = 10 \log(276 \times 10^{-23}) = -205.6 \ [dBW/Hz]$

$= 10 \log 176 + 10 \log 10^{-23} = -205.6 \ [dBw/Hz]$

- أو بشكل مباشر باستخدام العلاقة :

No [dBw/Hz] = 10 log N – 10 log B

= -135.6 [dBW] – 70 [dB/Hz]

= -205.6 [dBw/Hz]

- درجة الحرارة المكافئة :

$$Te = \frac{No}{K} = \frac{276 \times 10^{-23}\ j/cycle}{1.38 \times 10^{-23}\ j/K} = 200^{\circ}\ K/cycle$$

= 10 log 200 = 23 dBK

أو مباشرة :

Te [dBK] = No [dBW] – 10 log K

= -205.6 dBW – (-228.6 dBWK) = 23 dBK

المسألة الخامسة :

توجد محطة أرضية في مدينة هيوستن في ولاية تكساس على خط طول 95.5 غرباً وخط عرض 29.5 شمالاً . والتابع الصنعي المطلوب التعامل معه هو Satcom1 الخاص بشركة RCA والذي يتوضع على خط طول 135 غرباً .المطلوب تحديد السمت وزاوية الارتفاع لهوائي المحطة الارضية

الحل :

يتم أولا تحديد الفارق ΔL بين خطي الطول :

$$\Delta L = 135^\circ - 95.5^\circ = 39.5^\circ$$

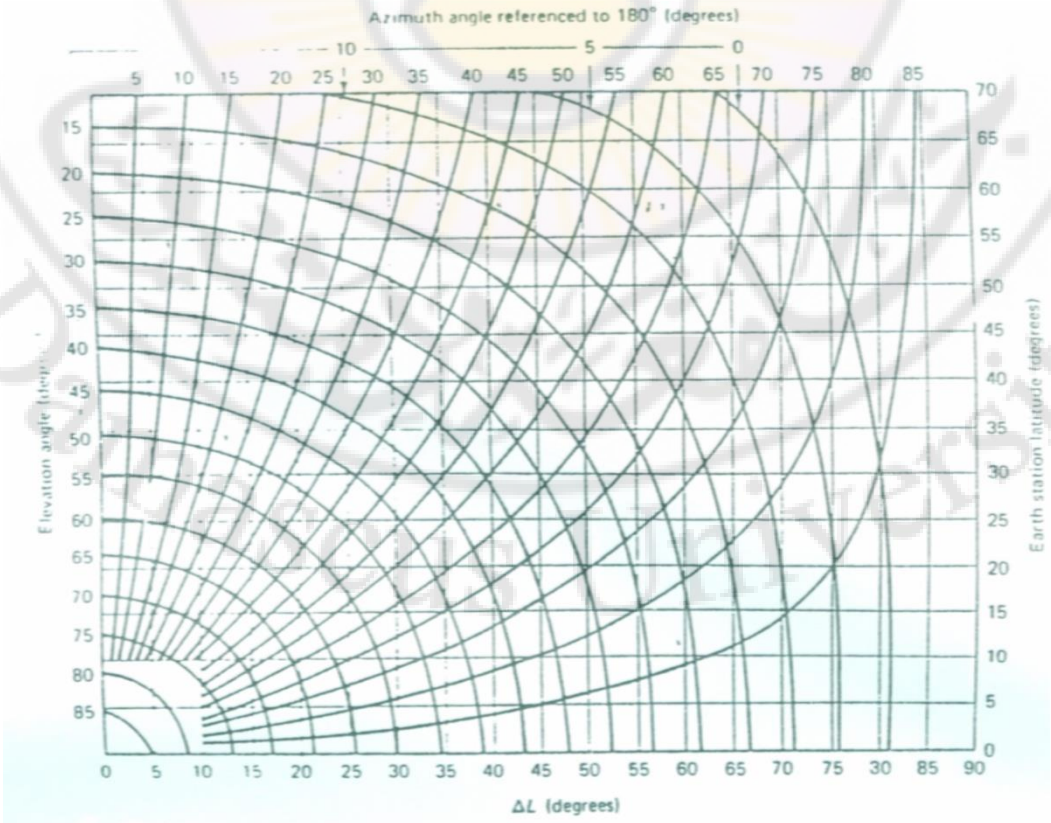
من المخطط المبين أدناه نحدد تقاطع ΔL وخط عرض المحطة الأرضية عندها يمكن تحديد وقراءة زاوية الارتفاع وزاوية السمت .

من الشكل نجد أن :

1- Azimuth angle = 59°

2- Elevation angle= 35°

إذاً يجب توجيه زاوية الهوائي بالاتجاه المحدد لزاويتي الارتفاع والسمت .



Azimuth and elevation angle for earth stations located in the northern hemisphere (referred to 180°).

المسألة السادسة:

يعمل مرسل ذو زحزحة ثنائية بزاوية طور مترا بطة بسرعة بيت قدرها 20ميغا بيت في الثانية وباحتمال خطأ Pe قدره 10^{-4} والمطلوب :

1- تحديد الحد النظري الأدنى للنسبة $\frac{C}{N}$ وللنسبة $\frac{Eb}{No}$ لعرض مجال مستقبل يساوي عرض مجال نايكوست الأصغر ذي العصبتين .

2- أحسب نسبة $\frac{C}{N}$ وذلك إذا تم قياس الضجيج عند نقطة قبل مرشح مرور المجال وحيث يبلغ عرض المجال الترددي ضعف مجال نايكوست .

3- أحسب نسبة $\frac{C}{N}$ إذا كان قياس الضجيج عند نقطة قبل مرشح مرور المجال و حيث يبلغ عرض المجال ثلاث أضعاف عرض مجال نايكوست .

(ملاحظة اعتمد في الحل على المنحنيات المرفقة) الشكل (1).

الحل :

1- في ثنائي الأطوار فإن عرض المجال الأدنى يساوي سرعة البيت أي (20) ميغاهيرتز .

ومن الشكل نجد أن $\frac{C}{N}$ الدنيا هي 8.8 dB تقريباً. بالتعويض عندئذٍ بالمعادلة التالية نجد أن:

$$\frac{Eb}{No}(\text{dB}) = \frac{C}{N}(\text{dB}) + \frac{B}{Fb}(\text{dB})$$

$$= 8.8\ \text{dB} + 10 \log \frac{20\times10^6}{20\times10^6}$$

$$= 8.8\ \text{dB} + 0\ \text{dB} = 8.8\ \text{dB}$$

2- بما أن النسبة $\frac{Eb}{No}$ مستقلة عن عرض المجال لأن Eb تعتمد على استطاعة الموجة الحاملة عريضة المجال وعلى سرعة البيت وبالتالي فإن Eb لا تتأثر بزيادة عرض مجال الضجيج . كما أن Noهي استطاعة الضجيج في عرض مجال (1) هيرتز وبالتالي فهي لاتتأثر بزيادة عرض مجال الضجيج .

لذلك فإن النسبة $\frac{C}{N}$ عند نقطة في المستقبل عرض مجالها ضعف عرض مجال نايكويست ليس له أي تأثير في $\frac{Eb}{No}$ لذلك تبقى هذه النسبة ثابتة في العلاقة

$$\frac{Eb}{No}(\text{dB}) = \frac{C}{N}(\text{dB}) + \frac{B}{Fb}(\text{dB})$$

لحساب النسبة $\frac{C}{N}$ عند نقطة المستقبل نعيد ترتيب العلاقة السابقة

$$\frac{C}{N}(\text{dB}) = \frac{Eb}{No}(\text{dB}) - \frac{B}{Fb}(\text{dB})$$

$$= 8.8\ \text{dB} - 10 \log \frac{40\times10^6}{20\times10^6}$$

$$= 8.8\ \text{dB} - 10 \log 2\ \text{dB}$$

$$= 8.8\ \text{dB} - 3\ \text{dB} \qquad = 5.8\ \text{dB}$$

3- لحساب $\frac{C}{N}$ عند عرض مجال يعادل ثلاث أضعاف عرض المجال الأدنى

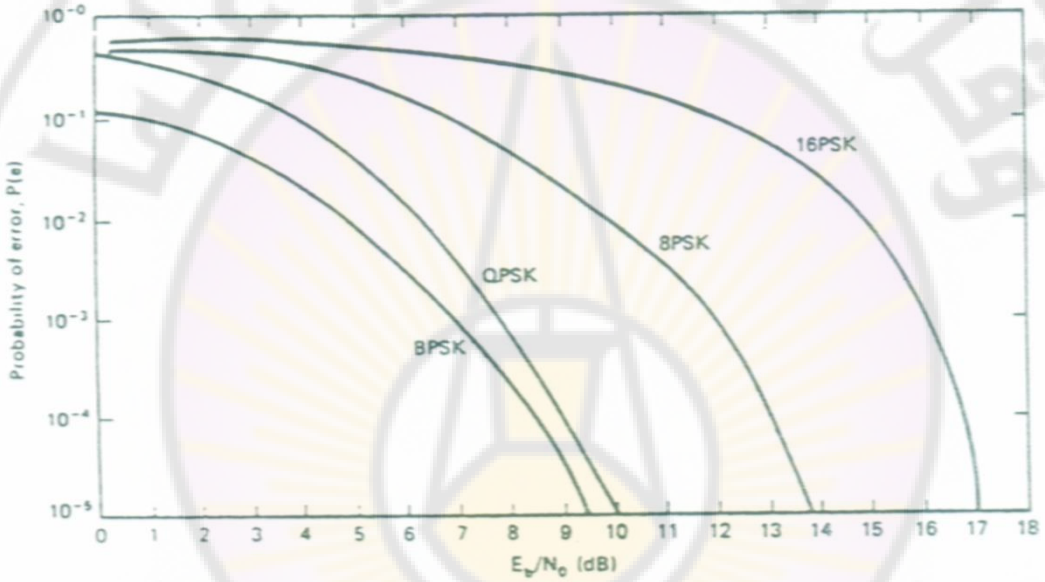
$$\frac{C}{N}(\text{dB}) = \frac{Eb}{No}(\text{dB}) - \frac{B}{Fb}(\text{dB})$$

$$= 8.8 \text{ dB} - 10 \log \frac{60 \times 10^6}{20 \times 10^6}$$

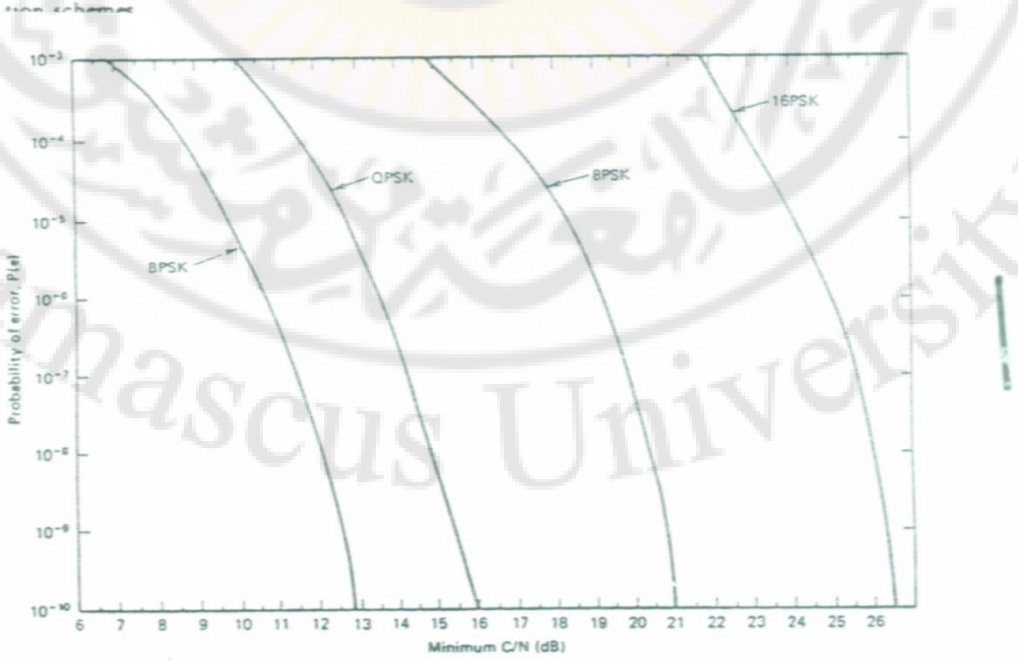
$$= 8.8 \text{ dB} - 10 \log 3 \text{ dB}$$

$$= 4.03 \text{ dB}$$

وهو المطلوب.



Probability of error $P(e)$ versus E_b/N_0 ratio for various digital modula-



Probability of error $P(e)$ versus C/N for various digital modulation schemes. (Bandwidth equals minimum double-sided Nyquist bandwidth.)

المسألة السابعة:

يعمل مرسل ثماني الأطوار مترابط بسرعة بيت قدرها 90 Mbps عند احتمال خطأ قدره (10^{-5}) المطلوب :

1- تحديد النسبة النظرية الدنيا $\frac{C}{N}$ و $\frac{Eb}{No}$ لمجال مستقبل قدره عرض مجال نايكوست مع العلم أن كفاية عرض مجال ثماني الأطوار هي 3 بيتات /هيرتز .

2- تحديد $\frac{C}{N}$ إذا قيس الضجيج عند نقطة قبل مرشح مرور المجال حيث عرض المجال يساوي ضعف عرض مجال نايكوست.

3- تحديد $\frac{C}{N}$ إذا قيس الضجيج عند نقطة قبل مرشح مرور المجال حيث عرض المجال يساوي ثلا ث أضعاف عرض مجال نايكوست .

ملاحظة : اعتمد في الحل على المنحنيات السابقة .

الحل :

1- إن كفاية عرض مجال ثماني الأطوار هي 3 بيتات/ هيرتز ولذلك يتطلب عرض مجال يعادل ثلث سرعة البيت أي 30 MHz من المنحنيات الأدنى نجد أن القيمة الدنيا للنسبة $\frac{C}{N}$ هي 18.5dBبالتعويض نجد أن:

$$\frac{Eb}{No}(\text{dB}) = 18.5\ \text{dB} + 10\log\frac{30MHZ}{90Mbps} = 18.5\ \text{dB} + (-4.8\text{dB}) = 13.7\text{dB}.$$

2- بإعادة ترتيب العلا قة العامة نجد أن :

$$\frac{C}{N}(\text{dB}) = 13.7\ \text{dB} - 10\log\frac{60MHZ}{90Mbps}$$

$\frac{C}{N}$ (dB)=13.7dB – (-1.77dB)= 15.47dB.

3- بالطريقة نفسها نجد أن :

$$\frac{C}{N} \quad (\text{dB})=13.7\text{dB} \quad - \quad 10 \quad \log \quad \frac{90MHZ}{90Mbps}$$

=13.7 dB – 0 dB = 13.7 dB.

مما سبق نستنتج أن $\frac{Eb}{No}$ و $\frac{C}{N}$ متساويان فقط عند تساوي عرض مجال الضجيج وسرعة البيت . وكذلك تنخفض النسبة $\frac{C}{N}$ بزيادة المجال عند نقطة القياس .

ملاحظة: عندما يكون نمط التعديل وسرعة البيت وعرض المجال والنسبة $\frac{C}{N}$ لنظامي لاسلكي رقميين مختلفة فمن الصعب غالباً تحديد النظام الذي له احتمال خطأ أقل . نظراً لأن $\frac{Eb}{No}$ مستقلة عن سرعة البيت وعرض المجال ونمط التعديل فهذه النسبة هي عامل مشترك يستخدم لمقارنة أداء احتمال الخطأ لأنظمة الاتصالات اللاسلكية الرقمية .

وهو المطلوب .

المسألة الثامنة:

المطلوب مقارنة أداء النظامين الرقميين المبينين في الجدول التالي و تحديد النظام ذي احتمال الخطأ الأصغر و بالاعتماد على المنحنيات السابقة و الحد الأدنى للمجال الترددي 20Mhz .

نوعية النظام / الخصائص	رباعي الطور	ثماني الطور
سرعة البت Mbps	40	60
عرض المجال	1.5 * الحد الأدنى	2 * الحد الأدنى
C/N [dB]	10.75 dB	13.76 dB

الحل:

1- لنظام رباعي الأطوار:

$$\frac{Eb}{N0}\,[\mathrm{dB}] = \frac{C}{N} + \frac{B}{Fb}\,[\mathrm{dB}]$$

$$= 10.75\ \mathrm{dB} + 10\log\frac{1.5*20Mhz}{40Mbps}$$

$$= 10.75\ \mathrm{dB} + (-1.25\ \mathrm{dB})$$

$$= 9.5\ \mathrm{dB}$$

–4

ومن الشكل نجد أن احتمال الخطأ لهذا النظام هو $Pe = 10$

2- بالنسبة لثماني الأطوار :

$$[\text{dB}]\ \frac{B}{Fb} + \frac{C}{N}[\text{dB}] = \frac{Eb}{N0}$$

$$= 13.76 + 10 \log \frac{2 * 20Mhz}{60Mbps}$$

$$= 13.76\ \text{dB} + (-1.76\ \text{dB})$$

$$= 12\ \text{dB}$$

ومن المنحنيات نجد أن احتمال الخطأ هو $Pe = 10^{-3}$

نستنتج أن لرباعي الطور نسبة C/N و Eb/N0 أقل إلا أن نسبة الخطأ فيه أيضاً أقل بعشر مرات عن ثماني الأطوار.

المسألة التاسعة :

يبلغ في مقوي تابع صنعي كسب هوائي الاستقبال 22dB و يبلغ كسب المضخم ذي الضجيج المنخفض 10dB وذي درجة حرارة ضجيج مكافئة قدرها 22dB مكافئة قدرها 22dBk و المطلوب :

تحديد نسبة الكسب إلى درجة حرارة الضجيج المكافئة .

الحل:

تعطى علاقة الكسب إلى درجة حرارة الضجيج المكافئة وفق ما يلي:

$$\frac{G}{Te}\ [dBk^{-1}] = Ar\ [dB] + A_{LNA}\ [dB] - Te\ [dBk^{-1}]$$

$$= 22\ dB + 10\ dB - 22\ dBk^{-1}$$

$$= 10\ dBk^{-1}$$

المسألة العاشرة :

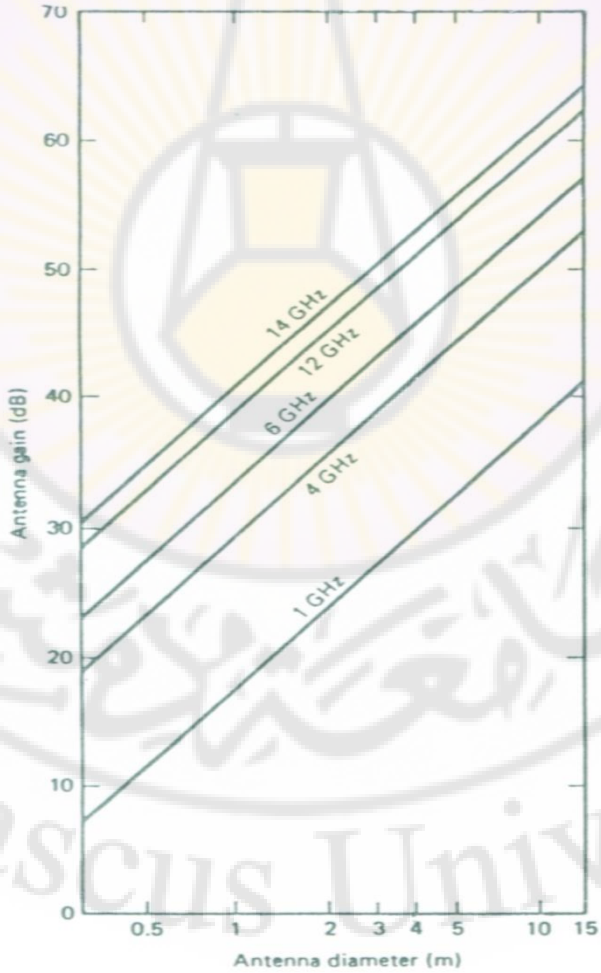
المطلوب إتمام موازنة الوصلة لنظام تابع صنعي له الثوابت التالية :

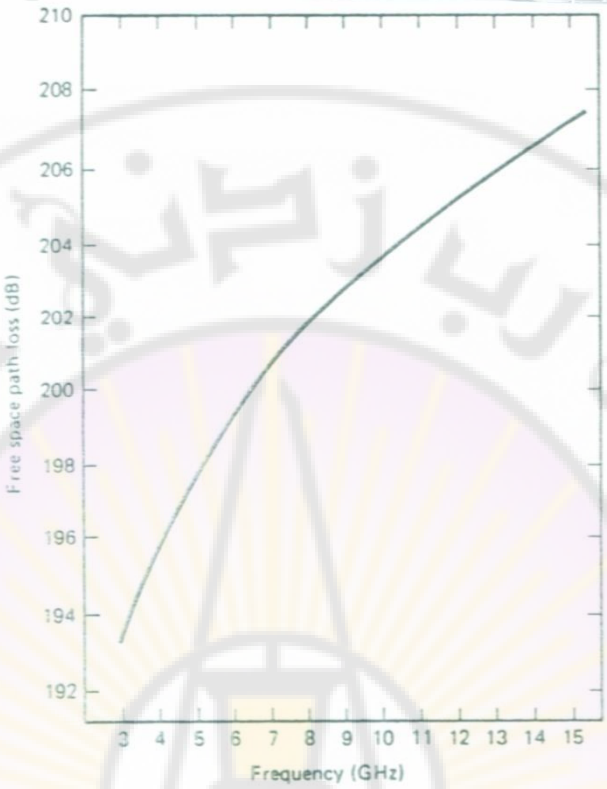
- الوصلة الصاعدة:

1- Pt = 2000 W
2- Lb = 3 dB
3- Lf = 4 dB
4- كسب هوائي إرسال المحطة الأرضية 64 dB (من الشكل المرفق)
5- الفقد الإضافي الجوي للوصلة الصاعدة 0.6 dB
6- الفقد في مسار الفضاء الحر عند 14 GHz هو 206.5 dB
7- النسبة G/Te لمستقبل التابع الصنعي $-5.3\ dbK^{-1}$
8- فقد المغذي و الموزع في التابع الصنعي 0dB
9- سرعة البت 120 Mbps
10- نمط التعديل ثماني الأطوار

- الوصلة الهابطة:

1- استطاعة مخرج مرسل التابع الصنعي عند الإشباع 10 W
2- الفقد التراجعي للتابع الصنعي 0.1 dB
3- فقد المغذي و الموزع في التابع الصنعي 0.5 dB
4- كسب هوائي إرسال التابع الصنعي من الشكل المرفق لقطر 0.37 m و تردد 12GHz هو 3.08 dB
5- الفقد الجوي الإضافي للوصلة الهابطة 0.4 dB
6- الفقد الجوي في مسار الفضاء الحر من الشكل المرفق عند 12GHz هو 205.6 dB
7- كسب هوائي استقبال المحطة الأرضية (15 m , 12 Ghz) هو 62 dB
8- فقد مغذي المحطة الأرضية و موزعها 0 dB
9- درجة حرارة الضجيج المكافئ للمحطة الأرضية 270° K
10- نسبة G/Te للمحطة الأرضية $37.7\ dBk^{-1}$
11- سرعة البت 120 Mbps
12- نمط التعديل ثماني الأطوار





Elevation angle correction:

Angle	+dB
90°	0
45°	0.44
0°	1.33

Damascus University

الحل :

موازنة الوصلة الصاعدة :

لوغارتمياً EIRP = Pt + At – Lbo - Lbf (للمحطة الأرضية)

= 33 dBw + 64 dB – 3 dB – 4 dB = 90 dBw

استطاعة الموجة الحاملة عند هوائي التابع الصنعي

Ċ = EIRP (للمحطة الأرضية) – Lp – Lu

= 90 dBw – 206.5 – 0.6 dB = -117.1 dBw

نسبة C/No عند التابع الصنعي

$$\frac{C}{No} = \frac{C}{K*Te} = \frac{C}{Te} * \frac{1}{K}$$

حيث:

$$\frac{C}{Te} = C' * \frac{G}{Te}$$

و هكذا

$$\frac{C}{No} = C' * \frac{G}{Te} * \frac{1}{K}$$

لوغارتمياً :

$$\frac{C}{No}[dB] = C'[dBw] + \frac{G}{Te}[dBK^{-1}] - 10\log(1.38*10^{-23})$$

$$\frac{C}{No} = -117.1 + (-5.3dBK^{-1}) - (-228.6dBwK) = 106.2dB$$

$$\frac{Eb}{No}[dB] = \frac{C/Fb}{No}[dB] = \frac{C}{No}[dB] - 10\log Fb$$

$$\frac{Eb}{No} = 106.2dB - 10\log(120*10^6) = 25.4dB$$

$$\frac{C}{N} = \frac{Eb}{No} - \frac{B}{Fb} = 25.4 - 10\log\frac{40*10^6}{120*10^6} = 30.2dB$$

و هكذا

و لنظام ذي مجال اصغري يكون:

موازنة الوصلة الهابطة:

لوغارتمياً

EIRP = Pt + At – Lbo - Lbf (للمحطة تقوية التابع)

= 10 dBw + 30.8 dB - 0.1 dB - 0.5 dB

= 40.2 dBw

استطاعة الموجة الحاملة عند هوائي المحطة الأرضية :

Ċ = EIRP[dBw] – Lp [dB] – Ld [dB]

= 40.2 dBw – 205.6 dB – 0.4 dB

= - 165.8 dBw

نسبة C/No عند مستقبل المحطة الأرضية

$$\frac{C}{No} = \frac{C}{K*Te} = \frac{C}{Te}*\frac{1}{K}$$

$$\frac{C}{Te} = C'*\frac{G}{Te}$$

حيث:

$$\frac{C}{No} = C'*\frac{G}{Te}*\frac{1}{K}$$

$$\frac{C}{No}[dB] = C'[dBw] + \frac{G}{Te}[dBK^{-1}] - 10\log(1.38*10^{-23})$$

$$\frac{C}{No} = -165.8dBw + 37.7dBK^{-1} - (-228.6dBwK) = 100.5dB$$

لوغارتمياً :

$$\frac{C}{No}[dB] = C'[dBw] + Ar[dB] - Te[dBK^{-1}] - K[dBwK]$$

$$\frac{C}{No}[dB] = -165.8dBw + 62dB - 10\log 270 - (-228.6dBwK) = 100.5dB$$

و كطريقة أخرى للحل بالنسبة لـ C/No

$$\frac{Eb}{No}[dB] = \frac{C/Fb}{No}[dB] = \frac{C}{No}[dB] - 10\log Fb$$

$$\frac{Eb}{No} = 100.5dB - 10\log(120*10^6) = 19.7dB$$

$$\frac{C}{N} = \frac{Eb}{No} - \frac{B}{Fb} = 19.7 - 10\log\frac{40*10^6}{120*10^6} = 24.5dB$$

من أجل نظام ذي عرض مجال اصغري

$$\frac{Eb}{No}(Total) = \frac{(Eb/No)_u * (Eb/No)_d}{(Eb/No)_u + (Eb/No)_d}$$

حيث : (Eb/No)u للوصلة الصاعدة

(Eb/No)d للوصلة الهابطة

بالتعويض نجد أن:

$$\frac{Eb}{No}(Total) = \frac{(346.7)*(93.3)}{(346.7)+(93.3)} = 73.5$$

لوغارتمياً :

= 10log 73.5 = 18.7 dB

المسألة الحادية عشرة:

إذا كان عامل الضجيج Nf=1.1 dB فأوجد درجة حرارة الضجيج المكافئة Te .

الحل :

لدينا درجة حرارة الضجيج المكافئة تعطى بالعلاقة:

$$Te = (N_F - 1)To \Rightarrow N_F = 1 + \frac{Te}{To}$$

$$N_F[dB] = 10\log N_F = 10\log(1 + \frac{Te}{To})$$

$$N_F[dB] = 10\log(1 + \frac{Te}{290})$$ و باعتبار أن To=290° K فإن :

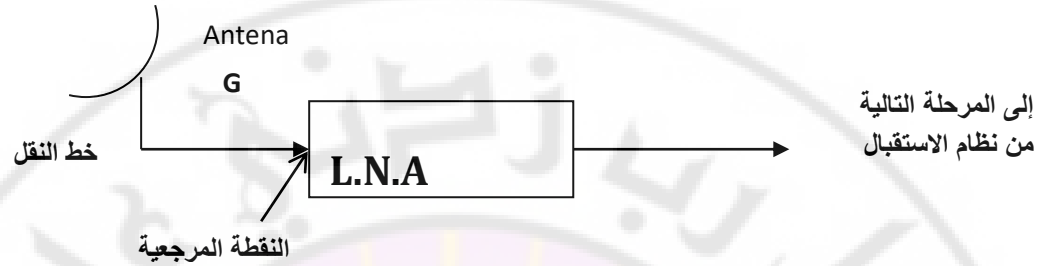
$$1.1dB = 10\log(1 + \frac{Te}{290}) \Rightarrow$$

$$1 + \frac{Te}{290} = \log^{-1} 0.11 = 1.29$$ و بالتعويض نجد أن:

$$Te = 84.1^{O} K$$

المسألة الثانية عشرة:

يبين الشكل التالي مخططاً صندوقياً لجزء من نظام استقبال:



و المطلوب:

1-استخراج علاقة C عند دخل LNA مقدرة بـ (dBw) .

2- استخرج علاقة No للنظام.

3- إذا كانت درجة حرارة ضجيج النظام T(system)=84.1 K عنده احسب No .

الحل:

1- إن C هي مستوى الإشارة المستقبلة ويرمز لها بـ (RSL) و لدينا:

$$No = K.T \Rightarrow \frac{C}{No} = \frac{C}{K.T}$$

و بالرجوع إلى الشكل أعلاه نرى أنه إذا كان معلوماً لدينا مستوى الإشارة الواصلة المكافئة على الهوائيين والتي نسميها مستوى الاستقبال الأيزوتروبي (IRL) نكتب عندها:

(IRL)dBw = EIRP-FSL

حيث :FSL الضياع في الفضاء الحر.

عندئذ إن مستوى الإشارة المستقبلة (RSL) أو(C) عند مدخل LNA

C(dBw) = IRL(dBw)+Gant(dB)- LL(dB)

حيث:LL ضياعات الخط بالديسبل وهذه الضياعات هي مجموع ضياعات دليل الموجة أو خط النقل و ضياعات المغذي وأيضاً ضياعات القارن الاتجاهي أي مجموع الضياعات الناتجة من العناصر.

2- علاقة No:

$$No = K.T$$

$$No = -228.6\ dBw + 10 \log (Tsys)$$

حيث :228.6 dBw- هي قيمة نظرية لمستوى الضجيج بالـ dBw للمستقبل المثالي و الذي عامل ضجيجه يساوي الواحد.

Tsys :ضجيج النظام (الاستقبال) أي درجة حرارة الضجيج المكافئة لنظام الاستقبال.

3- $No = -228.6\ dBw + 10 \log 84.1$

$$= -228.6 + 19.25 = -209.35\ dBw$$

المسألة الثالثة عشرة:

إذا كان معلوماً لدينا قيمة IRL= -155 dBw من التابع . وأن المحطة الأرضية لها هوائي استقبال ربحه47dB و الضياعات الناتجة عن مغذي الهوائي 0.1dB و ضياعات مرشد الموجة 1.5dB و ضياعات الرابط الاتجاهي 0.2dB و ضياعات مرشح التمرير 0.3dB ودرجة حرارة ضجيج النظام هي 117 ^oK عندها احسب النسبة $\frac{C}{No}$ للنظام.

الحل:

ـ حساب C :

$$C(dBw) = IRL(dBw) + Gant(dB) - \sum Loses$$

$$= -155(dBw) +47(dB) - 0.1\ (dB)-1.5(dB) - 0.2(dB)- 0.3(dB)$$

$$= -110\ .1(dB)$$

ـ حساب No :

$$No= -228.6\ (dBw) +10 \log(Tsys)$$

= -228.6 (dBw) +10 log(117) = -207.92 (dBw)

ـ حساب $\frac{C}{No}$:

$$\frac{C}{No}(dB) = C(dBw) - No(dBw)$$

$$\frac{C}{No} = -110.1(dBw) - (-207.92)dBw = 97.82(dB)$$

المسألة الرابعة عشرة:

محطة أرضية للاتصالات عبر الأقمار الصناعية لها هوائي زاوية ارتفاعه 10^{o} و بفرض أن الجو صافي و تركيز بخار الماء في الجو $39/m^3$ و الضياعات فيها كما يلي :

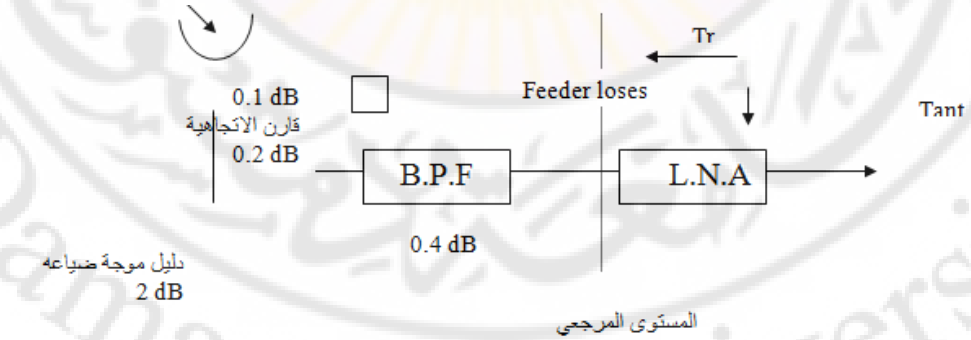
ـ ضياعات دليل الموجة 2 dB .

ـ ضياعات المغذي 0.1 dB .

ـ ضياعات الاتجاهية 0.2 dB .

ـ ضياعات مرشح التمرير 0.4dB .

حيث أن جميع الضياعات السابقة هي أقل من المستوى المرجعي للمكبر L.N.A و التردد العامل 12 GHz . و المطلوب حساب درجة حرارة ضجيج الهوائي.



الحل :

إن درجة حرارة ضجيج الجو Tsky من الجداول و المنحنيات وذلك من أجل زاوية ارتفاع 10^{o} وتردد 12 GHz وتركيز بخار الماء $39/m^3$ عندها نجد أن Tsys=19ºK .

إن مجموع الضياعات إلى ما قبل المستوى المرجعي L.N.A

L=0.1dB+2 dB +0.2 dB+0.4 dB=2.7dB

كنسبة L=2.7dB⇔L=1.86

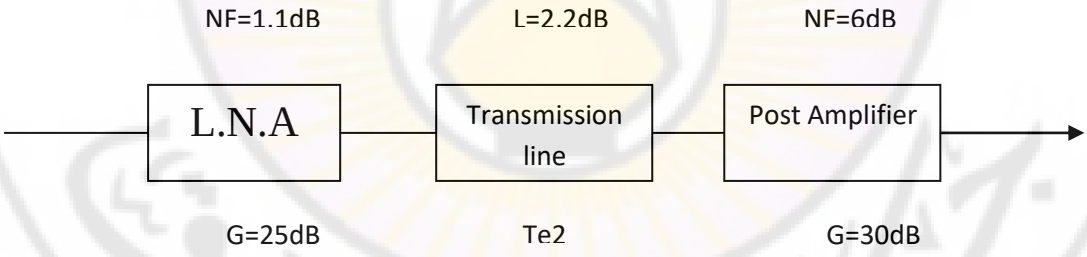
نحسب Tant من العلاقة التالية:

$$Tant = \frac{(L-1)290 + Tsky}{L}$$

$$= \frac{(1.86-1)290+19}{1.86} = 144.3K$$

المسألة الخامسة عشرة:

أوجد درجة حرارة ضجيج نظام الاستقبال (Tr) بالنسبة للمراحل الثلاث الأولى من نظام الاستقبال . حيث المرحلة الأولى مكبر LNA ذات عامل ضجيج 1.1dB وربح 25dB و المرحلة الثانية خط نقل ضياعه 2.2dB , و المرحلة الثالثة والأخيرة مكبر راديوي ذو ضجيج 6dB و ربح 30 dB . كما هو مبين بالشكل التالي(حيث To=290ºK)



الحل:

1) نحول عوامل الضجيج إلى درجات حرارة مكافئة, حيث:

$$NF = 10\log(1+\frac{Te}{290})$$

$$1.1dB = 10\log(1+\frac{Te}{290}) \Rightarrow 1)$$

للمكبر

Te = 83.6º K (L.N.A)

2) $6dB = 10\log(1+\frac{Te}{290}) \Rightarrow$

للمكبر الراديوي

Te = 864.5 º K( )

لحساب درجة حرارة الضجيج لخط النقل ذو الضياع 2.2dB حيث يتم تحويلها إلى نسبة :

L=2.2 dB ==> L=1.66

ومنه نكتب:

Te = (L-1)To

= (1.66-1) 290 =191.3º K

و باستخدام العلاقة التالية نجد أن:

$$TR = TR1 + \frac{TR2}{G1} + \frac{TR3}{G1G2}$$

$$TR = 83.6 + \frac{191.3}{316.2} + \frac{864.5}{316.2 \times \frac{1}{1.66}}$$

$$TR = 83.6 + 0.605 + 4.53 = 88.735°K$$

المسألة السادسة عشرة:

تردد الوصلة الهابطة Down Link للقمر الصنعي هو 21.5GHz عندها احسب $\frac{G}{T}$ عند النهاية العاملة مع هذا التابع. حيث أن المستوي المرجعي مأخوذ عند دخل L.N.A . الهوائي قطره 3 Feet وله ربح إجمالي 44dB . ويوجد دليل موجة Wave guide طوله 2 Feet و ذو عامل ضياع $0.2\frac{dB}{Ft}$ وللمغذي ضياع يساوي 0.1dB ومرشح B.P.F ذو ضياع 0.4dB وضياع إشعاعات خارجية يساوي 1dB ,و إن مكبر L.N.A له عامل ضجيج

5dB وربح 30dB وهو متصل مباشرة مع مبدل تردد منخفض إلى متوسط ذو عامل ضجيج 13dB (متصل مباشرة Down conv/IF) ذات عامل ضجيج 13dB .

ملاحظة: (عند تردد 21.56 GHz وعند زاوية ارتفاع للهوائي 10^o تكون Tsky= 63^oK من المنحنيات).

الحل:

نحسب أولاً الربح الصافي Gnet عند مدخل L.N.A (المستوى المرجعي)

Gnet = Gant - Loses

= 44 - 1dB - 0.1dB- 0.4dB- 0.4dB

= 42.1 dB

أن هذه القيمة لـ G هي التي نستخدمها عند حساب $\frac{G}{T}$ بعد ذلك ثانياً نحسب درجة حرارة الضجيج المكافئة:

إن مجموع الضياعات

L=1dB+0.1+0.4+0.4=1.9dB

وبأخذه كنسبة :

L=1.9dB==> L=1.55

$$Tant=\frac{(L-1)290+Tsky}{L}=\frac{(1.55-1)290+63}{1.55}$$

= 143.55^o K

حساب TR :

$$TR=Te1+\frac{Te2}{G1}+\frac{Te3}{G1G2}+.....$$

ولذلك نحول عوامل الضجيج إلى درجات حرارة مكافئة:

1) L.N.A: NF= 5dB ==> $5dB=10\log(1+\frac{Te1}{290})$

==> Te1= 627ºK

2) Down conv/IF amp; NF=13==>$13 = 10\log(1+\frac{Te2}{290})$

Te2=5496 ºK

ومنه نجد أن TR تساوي :

$$TR = 627 + \frac{5496}{1000} = 632.5°K$$

إن درجة حرارة النظام Tsys تعطى وفاقاً للعلاقة التالية:

Tsys = Tant +TR= 143.55+632.5= 776.05ºK

الآن نحسب $\frac{G}{T}$ من العلاقة:

$$\frac{G}{T} = GdB - 10\log Tsys = 42.1 - 10\log(776.05°K)$$
$$= 13.2dB/K$$

Damascus University