

## نمذجة عمل خطوط الاتصال اللاسلكي في ظروف التشويش باستخدام الشبكات العشوائية

الدكتور علي أحمد أحمد\*

(تاريخ الإيداع 7 / 6 / 2011. قُبل للنشر في 12 / 7 / 2011)

### □ ملخص □

تمت في هذا البحث نمذجة عمل خطوط الاتصال اللاسلكية؛ باستخدام نظرية الشبكات العشوائية (Stochastic Network)؛ بهدف دراسة عملها في ظروف التشويش. تساعدنا نتائج البحث في الحصول على المميزات الزمنية، لعمل خطوط الاتصال اللاسلكية، بأنظمة عمل مختلفة، وإعطاء تقدير احتمالي في تحقيق متطلبات الحماية من التشويش للمنظومات التي تستخدم خطوط الاتصال اللاسلكية أيضاً. وإضافة إلى ذلك يمكننا هذا البحث من تحديد الأسباب التي لا تسمح لنا باستخدام خطوط الاتصال اللاسلكية بفعالية كافية.

**الكلمات المفتاحية:** الشبكات العشوائية، خط اتصال لاسلكي، تحويل لابلاس.

\* استاذ مساعد - قسم هندسة تقانة الاتصالات - كلية هندسة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات - طرطوس.

## Model Of Radio Communication Line In Jamming For Stochastic Network

Dr. Ali Ahmad\*

(Received 7 / 6 / 2011. Accepted 12 / 7 / 2011)

### □ ABSTRACT □

The work of radio communication line has been modulated in this research by theory of stochastic network to study it's work in jamming. The results of this research help us obtaining the time-characteristics of work of radio communication line in various systems and giving the probability estimation of realization of protection requirements against of jamming in systems that use the radio communication line also. In addition, this research enables us determining the reasons, which do not allow us using the radio communication line in enough effectually.

**Keywords:** Radio Communication Line, Stochastic Network, Laplace Transform.

---

\* Associate Professor, Communications Technology Engineering Department, Information and Communications Technology Engineering Faculty, Tartous.

**مقدمة:**

تتجلى الميزة الأساسية لخطوط الاتصال اللاسلكي (The Radio Communication Line, RCL) الحديثة في وجود نظام عمل إضافي يحقق الاستقبال الموثوق (Certain Receiving) للإشارات (الرسائل) في ظروف التشويش (Jamming Conditions)، والموقف الإلكتروني المعقد. يختلف نظام العمل هذا عن أنظمة العمل التقليدية المستخدمة، باستخدام ترميز ذي استقرار عالية (High Stability)، وبتحويل الإشارات من ضيقة العصبية إلى إشارات عريضة العصبية، وبالمعالجة المكانية - الزمانية للإشارات، ثم إنَّ الانتقال إلى نظام الحماية من التشويش يتم بعد كشف حقيقة وجود تشويش، أو من خلال وجود معلومات مسبقة، أو إضافية، عن وجود تشويش [1]. إن الميزات الزمنية لعملية الإرسال في نظام الحماية تختلف عن الميزات الزمنية لعملية الإرسال في نظام العمل العادي، وهذا ما يعرقل استخدام نماذج محددة لتحليل ودراسة فعالية عمل خطوط الاتصال في ظروف غير معروفة (هل هناك تشويش مقصود أم لا وكيفية تنظيم الإرسال) [2].

**أهمية البحث وأهدافه:**

يهدف البحث إلى تحليل عمل خطوط الاتصال اللاسلكية، ودراسة فعاليتها في ظروف كهروطيسية متغيرة، بوجود تشويش، وتحديد المميزات الزمنية لعملية الإرسال.

**طرائق البحث ومواده:**

لدراسة خطوط الاتصال اللاسلكي، والمميزات الزمنية لعملها، في ظروف كهروطيسية مختلفة؛ استخدمنا التحليل الرياضي، وطبقنا نظرية الشبكات العشوائية (The Stochastic Network Theory)، وأجرينا النمذجة البرمجية حاسوبياً؛ باستخدام برنامج MATHCAD.

**نمذجة عمل خطوط الاتصال اللاسلكية على الاتجاهات البحرية:**

إن إحدى أهم المسائل التي يتم بحثها عند حل مسألة حساب فعالية منظومات الاتصال العاملة على الاتجاه البحري هي مسألة تحديد احتمال وصول معلومات محددة إلى المشترك، وزمن وصولها إليه. وغالباً ما يتم وضع متطلبات للمنظومات العاملة على الاتجاه البحري؛ لتلبي الاحتياجات، وتأخذ بالحسبان خصوصية هذه المنظومات. طبقنا في هذا البحث نظرية الشبكات العشوائية؛ لتحديد مزايا عملية إيصال المعلومات لاسلكياً في ظروف مختلفة، بوصفها عملية عشوائية.

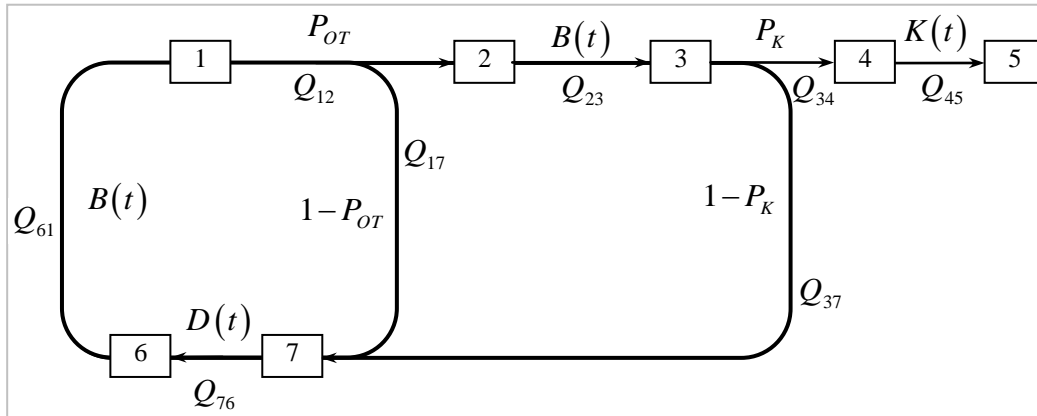
لرفع موثوقية إيصال المعلومات، على الاتجاه البحري، يمكن أن ترسل (تلك المعلومات) إلى المشترك مرات عدة. وهذا ما يستوجب تحديد الطريقة المثلى؛ لإرسال المعلومات ليتم استقبالها باحتمال محدد، خلال فترة زمنية محددة، وخاصة أن تكرار إرسال المعلومات يفرض استخدام نبضات بعرض محدد لتحقيق المستوى المطلوب من مؤشر الاستقرار (Stable Index) ضد التشويش [10]. ثم إن تحديد الطريقة المثلى لذلك يتحقق عند معرفة تابع توزيع زمن الإرسال فقط [3]. وسنفترض، عند نمذجة هذه المسألة، أن احتمال ورود إشارة مرسلة، في الزمن المخصص لإرسال إشارة أخرى، ضعيف جداً.

### 1- حساب أداء عمل خطوط الاتصال اللاسلكي، بغياب التشويش وتحليله:

ليكن لدينا خط اتصال لاسلكي، يتألف من قنوات اتصال، وفي كل قناة يتم إرسال معلومات (حزم من المعطيات)، بحجم عشوائي  $V$ ، وبسرعة إرسال  $R$ . ولنعتبر زمن إرسال المعلومة لمرة واحدة  $(t_{OT} = V / R)$ ، قيمة عشوائية، تتصف بتابع توزيع  $B(t)$ ، على سبيل المثال. ثم إن خطوط الاتصال اللاسلكي تعمل في ظروف التشويش الدائم (الظروف الطبيعية) التي عندها تحقق المعالجة المسبقة للمعلومة (ترميز المعلومة) إمكان الاستقبال المضمون للمعلومة المرسله لمرة واحدة باحتمال  $P_{OT}$ ، وعدم استقبالها باحتمال  $(1 - P_{OT})$  (احتمال استقبال المعلومة المرسله لعدة مرات)، وزمن الانتظار الذي يستغرقه تأكيد استقبال المعلومة هو  $t_W$  بتابع توزيع  $D(t_P)$ ، وهو زمن الانتظار الذي يمكن إعادة إرسال المعلومة خلاله.

في حال تأكد استقبال المعلومة، يقوم المستقبل، خلال زمن  $t_K$ ، بتابع توزيع  $K(t)$ ، بتأكيد الاستقبال الناجح، باحتمال  $P_K$ . ومن ثم يكون احتمال عدم تأكيد الاستقبال هو  $(1 - P_K)$ ، خلال الزمن العشوائي، لانتظار التأكيد  $t_W$  بتابع التوزيع  $D(t)$ ، وبعد ذلك تستمر عملية إرسال المعلومات.

لنعين كل من تابع التوزيع  $H(t)$ ، والزمن الوسطي  $t_M$  للإرسال الناجح للمعلومة، يمكن تصور مخطط إرسال المعلومات كما في الشكل (1). لتشكيل الشبكة العشوائية التي تمثل العملية السابقة لا بد من تحديد كل من شكل العقد، وبارامترات الفروع التي تقوم بالعمليات الأساسية.



الشكل (1): مخطط إرسال المعلومات

تتحقق العقدة 1 في حال ورود بلاغ جديد على مدخل خط الاتصال اللاسلكي، أو في حال عدم نجاح إرسال المعلومة السابق. وفي هذه الحالة لا يتم تخديم المعلومة الجديد حتى يتم إرسال المعلومة القديم. وهذا يعني أن العقدة 1 تعتبر عقدة احتمالية (بوابة OR). أما بقية العقد فتحتوي فرعاً واحداً على خرجها. وتمثل الفروع  $Q_{34}$ ، و  $Q_{17}$ ، و  $Q_{37}$  والقيم الاحتمالية الآتية  $(1 - P_K)$ ، و  $P_K$ ، و  $(1 - P_{OT})$ ، و  $P_{OT}$  على الترتيب، وهي قيم ثابتة خلال كامل عملية الإرسال. ولذا يعتبر قانون التوزيع للزمن، خلال العمليات السابقة، نبضياً، وتحويل لابلاس؛ من أجل أي قيمة لبارامتر التحويل  $s > 0$  يساوي 1.

إن الفرعين  $Q_{23}$  و  $Q_{17}$  نوا قيم احتمالية تساوي 1، وهما عمليتان عشوائيتان، تتحدد بارامتراتها (زمن العملية، واحتمال حدوث العملية) بتابع التوزيع  $B(t)$ ، ولذلك يعبر عن هذه الأفرع في الشبكات العشوائية بتحويل لابلاس (Laplace Transform) الآتي:

$$b(s) = \int_0^{\infty} \exp(-st) d[B(t)], \quad (1)$$

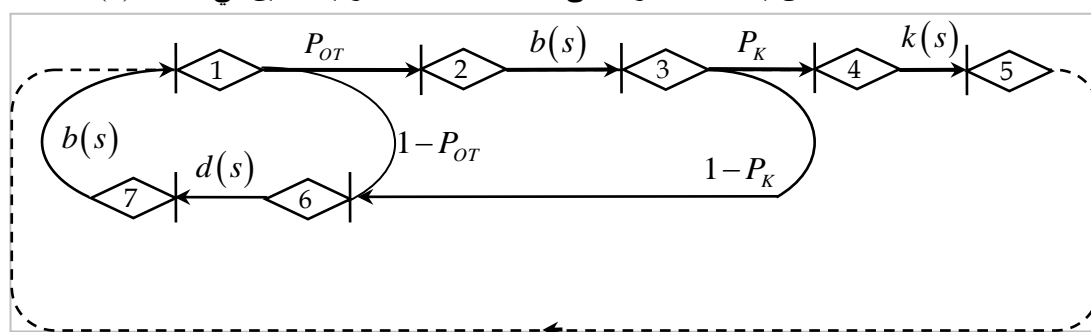
يتم اختيار الفرع  $Q_{45}$  باحتمال يساوي الواحد، ويعدّ العملية العشوائية الأولية التي يتعين احتمال وزمن إنجازها بتابع التوزيع  $K(t)$  تماماً. ولهذا السبب توصف هذه الفروع، في الشبكة العشوائية، بتحويل لابلاس الآتي:

$$k(s) = \int_0^{\infty} \exp(-st) d[K(t)]. \quad (2)$$

ويتم اختيار الفرع  $Q_{67}$  باحتمال 1 عند توافر العقدتين 3 و 6، ويُمثل زمن تحقق هذه العملية واحتماله عبر الفرع المشار إليه بتابع التوزيع  $D(t)$ . ويوصف الفرع المشار إليه في الشبكة العشوائية بتحويل لابلاس:

$$d(s) = \int_0^{\infty} \exp(-st) d[D(t)], \quad (3)$$

وبأخذ العلاقات السابقة بالحسبان يمكننا الحصول على مخطط الشبكة العشوائية المبين في الشكل (2).



الشكل (2): مخطط الشبكة العشوائية.

نحصل على التابع المكافئ باستخدام معادلة مايسون:

$$H = 1 + \sum_{k=1}^K (-1)^k Q_k(s) = 0, \quad (4)$$

حيث  $s$  بارامتر لابلاس،  $H$  التابع المكافئ لدارة مغلقة،  $K$  عدد الحلقات، و  $Q(s)$  تحويل لابلاس الموافق للخط. ومن أجل ذلك نغلق الدارة كما هو موضح في المخطط بالفرع  $Q_a(s) = 1/h(s)$  (التابع المكافئ)، ونحدد الحلقات كلها:

$$Q_{12} Q_{23} Q_{34} Q_{45} Q_a = P_{OT} b(s) P_K k(s) / h(s);$$

$$Q_{16}, Q_{67}, Q_{71} = (1 - P_{OT}) d(s) b(s);$$

$$Q_{36}, Q_{67}, Q_{71} Q_{12} Q_{23} = (1 - P_K) d(s) b(s) P_{OT} b(s),$$

وتأخذ معادلة مايسون للحلقات المتشكلة الشكل الآتي:

$$1 - Q_{12}, Q_{23}, Q_{34} Q_{45} Q_a - Q_{16}, Q_{67}, Q_{71} - Q_{36}, Q_{67}, Q_{71} Q_{12} Q_{23} = 0, \quad (5)$$

وبعد التعويض نحصل على العلاقة الآتية:

$$1 - P_{OT} b(s) P_K k(s) Q_a(s) - (1 - P_{OT}) d(s) b(s) - (1 - P_K) d(s) b(s) P_{OT} b(s) = 0,$$

فيأخذ التابع المكافئ الشكل:

$$h(s) = \frac{P_{OT} P_K b(s) k(s)}{1 - (1 - P_{OT}) b(s) d(s) - (1 - P_K) P_{OT} b^2(s) d(s)} \quad (6)$$

لتحديد النسب الحسابية لتابع التوزيع نفترض:

$$\left. \begin{aligned} D(t) &= 1 - \exp[-dt] ; \\ B(t) &= 1 - \exp[-bt] ; \\ K(t) &= 1 - \exp[-kt] , \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

حيث  $t_K$ ، و  $t_W$ ، و  $t_{OT}$ ، و  $k = 1/\bar{t}_K$ ، و  $d = 1/\bar{t}_W$ ، و  $b = 1/\bar{t}_{OT}$  هي القيم الوسطية لزمن إرسال المعلومات، والانتظار، وإرسال تأكيد المعلومات المستقبلية على الترتيب. وبعد تعويض المعادلات (7) في المعادلات (1)، و(2)، و(3)، والعلاقات الناتجة في المعادلة (6) نحصل على العلاقة الآتية:

$$h(s) = \frac{P_{OT} P_K b k (d + s) (b + s)}{s^4 + s^3 A + s^2 B + s C + D} \quad (8)$$

حيث:

$$A = d + 2b + k ; \quad B = db + dk + b^2 + 2bk + dbP_{OT} ;$$

$$C = dbk + b^2k + dbkP_{OT} + db^2kP_{OT}P_K ; \quad D = db^2kP_{OT}P_K .$$

وباستخدام منشور Hefi Said الذي يسمح بتحويل العلاقة (8) إلى مجموعة عوامل مرتبطة  $s_i$ ، عند تحقق العلاقة  $s_i \neq s_{i+1}$ ، نحصل على ما يأتي:

$$h(s) = \sum_{i=1}^4 \frac{P_{OT} P_K b k (d + s_i) (b + s_i)}{4s_i^3 + 3s_i^2 A + 2s_i B + C} \cdot \frac{1}{s - s_i} \quad (9)$$

إن الجداء الأول الواقع تحت إشارة المجموع لا يتعلق ببارامتر التحويل  $s$ . إذن للحصول على التابع الأصلي  $h(t)$  لتحويل لابلاس المعين بالعلاقة (9)، والتوابع الأصلية الخاصة الأخرى، نستعين بمعطيات الجداول، ونعين التابع الأصلي للمقدار  $(s - s_i)^{-1}$ :

$$L^{-1} \left\{ (s - s_i)^{-1} \right\} = \exp(s_i t) .$$

فنحصل على التابع:

$$h(t) = L^{-1} \{h(s)\} = \sum_{i=1}^4 \frac{P_{OT} P_K b k (d + s_i) (b + s_i)}{4s_i^3 + 3s_i^2 A + 2s_i B + C} \exp(s_i t) \quad (10)$$

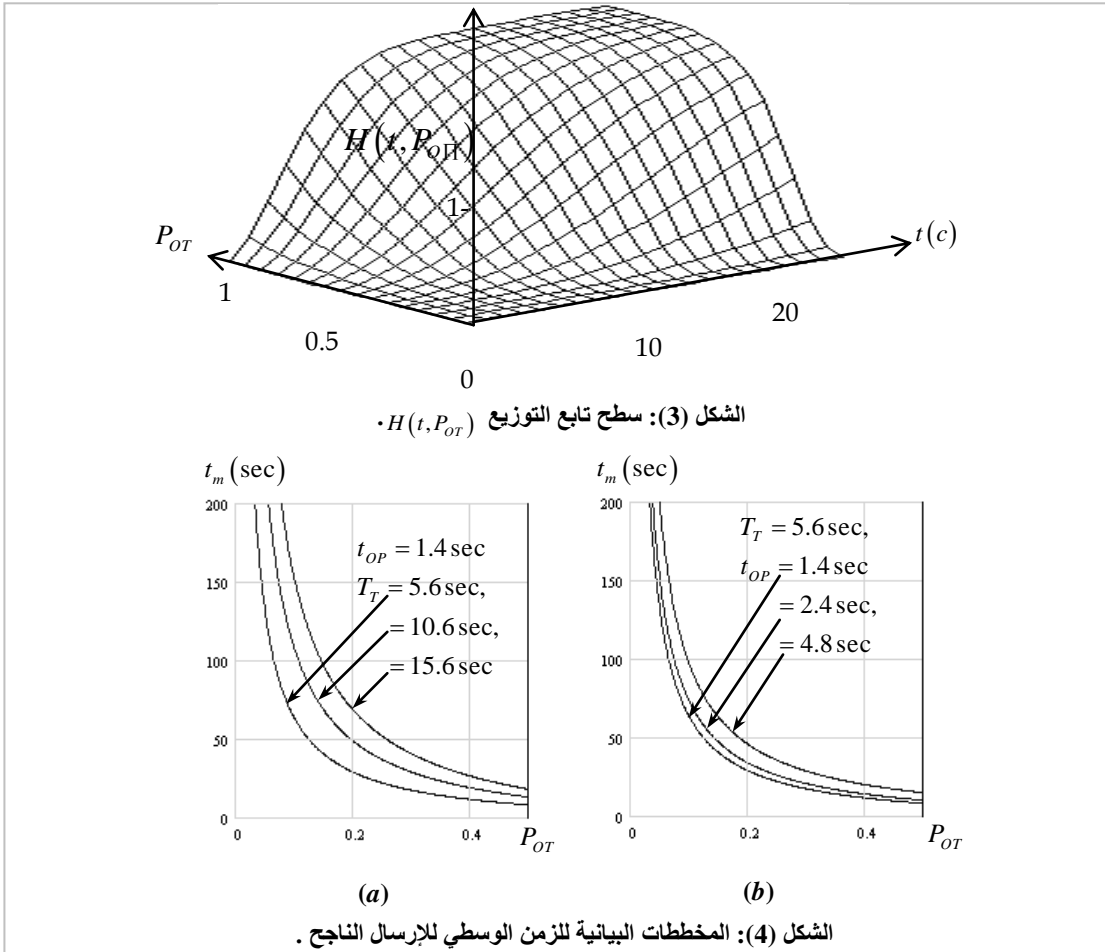
تعبير العلاقة (10) عن تابع كثافة الاحتمال، ولذلك يتعين التابع المجهول للتوزيع بالعلاقة:

$$H(t) = \int_0^t h(t) dt = \sum_{i=1}^4 \frac{P_{OT} P_K b k (d + s_i) (b + s_i)}{(4s_i^3 + 3s_i^2 A + 2s_i B + C)(-s_i)} [1 - \exp(s_i t)] \quad (11)$$

ويساوي الزمن الوسطي لإرسال ناجح للمعلومة إلى:

$$T_T = \int_0^{\infty} t h(t) dt = \sum_{i=1}^4 \frac{P_{OT} P_K b k (d + s_i) (b + s_i)}{(4s_i^3 + 3s_i^2 A + 2s_i B + C)(-s_i)^2} \quad (12)$$

يوضح الشكلان (3) و (4) المنحنيات البيانية التي تم الحصول عليها باستخدام العلاقات (11) - (12). يوضح الشكل (3) سطح التوزيعات  $H(t, P_{OT})$ ، ويبين الشكل (4-a,b) المنحنيات البيانية المعبرة عن تابعة الزمن الوسطي للإرسال الناجح للبلاغ - عبر حلقة الاتصال اللاسلكي - للاحتمال  $P_{OT}$ . افترضنا، عند إجراء الحسابات، أن الزمن الوسطي للإرسالات غير المتكررة، والفاصل الزمني بينها، تساوي  $t_{OP} = 1.4$  ثانية و  $T_T = 5.6$  ثانية على الترتيب. وفي الحالة الخاصة الموافقة لكون  $P_{OT} = 0.9$ ؛ يلزم 15 ثانية؛ لإرسال ناجح للمعلومة، باحتمال  $P(t \leq T_3) = 0.95$ . يساوي في هذه الحالة الزمن الوسطي اللازم للإرسال الناجح  $T_T = 3.289$  ثانية. تجدر الإشارة هنا إلى أن أحد التدابير المهمة المتخذة لإيصال المعلومات، في ظروف التشويش، هو اختصار الفاصل الزمني بين الإرسالات.



أضف إلى ذلك: تدل الحسابات على أنه، عند تنظيم الاتصال، بشكل يسمح بالحصول على تأكيد تلقي المعلومات، فإن الزمن الوسطي لإرسال المعلومة بنجاح يزداد بمقدار  $t_K / P_K$ . وللتحقق من ذلك نعين تابع توزيع الزمن الوسطي للإرسال الناجح عبر خط الاتصال اللاسلكي، بطريقة التقريب ثنائي اللحظة. ومن أجل ذلك لا بد من حساب قيم بارامترات شكل تابع - غاما غير التام، ومقياسه:

$$\mu = T_K / D_K ; \quad \alpha = T_K^2 / D_K$$

يُحسب التشتت الرياضي من العلاقة الآتية:

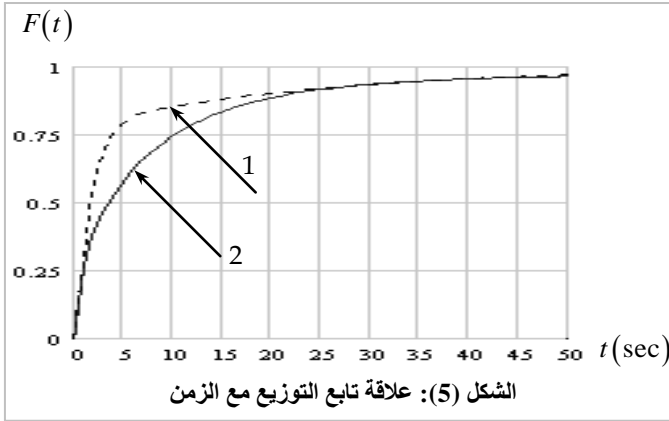
$$D_K = \sum_{i=1}^4 \frac{K(s_i)}{s_i^3} - T_K^2 . \quad (13)$$

ويتحدد تابع التوزيع في هذه الحالة بالعلاقة الآتية:

$$F(t) = \begin{cases} 0, & t < 0; \\ \int_0^t \frac{\mu^\alpha}{\Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} \exp[-\mu x] dx, & t \geq 0 \end{cases} \quad (14)$$

يوضح الشكل (5) نتائج الحسابات التي أجريت من أجل القيم الأولية  $t_{OP} = 1.4$  Sec و  $Sec t_k = 0.4$

و  $Sec T_T = t_w = 20$  و  $Sec P_{OP} = P_w = 0.9$ ، فالمنحني 1 يعبر عن تابع التوزيع الحقيقي  $F(t)$ ، والمنحني 2 عن التابع التقريبي للتوزيع المعطى بالعلاقة (11).



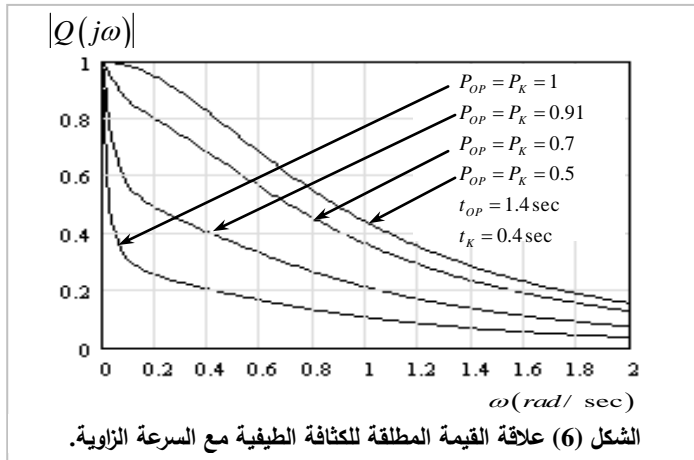
افترضنا أن فعالية العمل باستخدام خط

الاتصال تجريبي باختيار يوافق ألا يكون احتمال الإرسال الناجح، أكبر من زمن معطى  $T_3$ . ونحدد كلاً من التوقع الرياضي  $M[X(t)]$ ، والكثافة الطيفية  $|Q(j\omega)|$ ؛ باستخدام تابع أولر [4]، والتشتت الرياضي  $D[X(t)]$ ، وفاصل الترابط للعملية العشوائية  $X(t)$  بالعلاقات الآتية:

$$M[X(t)] = H(t = T_3) = P(t \leq T_3),$$

ويتطبيق علاقة أولر على التابع  $Q(j\omega)$  نحصل على القيمة المطلقة للكثافة الطيفية  $|Q(j\omega)|$ ، التي يبين نتائج حسابها الشكل (6):

$$Q(j\omega) = \sum_{i=1}^4 K(s_i) \frac{1}{|s_i| + j\omega} \Rightarrow |Q(j\omega)| = \sum_{i=1}^4 \frac{K(s_i)}{\sqrt{|s_i|^2 + \omega^2}}, \quad (15)$$



حيث  $K(s_i)$  نتائج حسابات التابع المكافئ  $h(s)$  في الأقطاب  $s_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) التي تم الحصول عليها من أجل إرسال المعلومة مع تأكيد استلامها من العلاقة (9). يُعيّن تابع الترابط للعملية العشوائية بالعلاقة الآتية [5,6]:



$$R(0) \leq \frac{1}{2} \left[ \sum_{i=1}^4 \frac{K^2(s_i)}{2|s_i|} + \frac{2K(s_1)K(s_2)}{\sqrt{|s_1s_2|}} + \frac{2K(s_1)K(s_3)}{\sqrt{|s_1s_3|}} + \frac{2K(s_1)K(s_4)}{\sqrt{|s_1s_4|}} + \frac{2K(s_2)K(s_3)}{\sqrt{|s_2s_3|}} + \frac{2K(s_2)K(s_4)}{\sqrt{|s_2s_4|}} + \frac{2K(s_3)K(s_4)}{\sqrt{|s_3s_4|}} \right], \quad (16)$$

ويعد ذلك نحسب قيمة فاصل الترابط من العلاقة الآتية [5,6]:

$$\tau_0 \leq \frac{1}{R(0)} \left[ \sum_{i=1}^4 \frac{K^2(s_i)}{2|s_i|^2} + \frac{K(s_1)K(s_2)}{|s_1 + s_2|\sqrt{|s_1s_2|}} + \frac{K(s_1)K(s_3)}{|s_1 + s_3|\sqrt{|s_1s_3|}} + \frac{K(s_1)K(s_4)}{|s_1 + s_4|\sqrt{|s_1s_4|}} + \frac{K(s_2)K(s_3)}{|s_2 + s_3|\sqrt{|s_2s_3|}} + \frac{K(s_2)K(s_4)}{|s_2 + s_4|\sqrt{|s_2s_4|}} + \frac{K(s_3)K(s_4)}{|s_3 + s_4|\sqrt{|s_3s_4|}} \right], \quad (17)$$

ولحساب تشتت معامل الفعالية (Efficiency Coefficient)، من الضروري حساب قيمة  $R_{in}(0)$  لقناة اتصال موثوقة تماماً، ونطرح منها القيمة  $R(0)$ ؛ باستخدام معطيات أولية حقيقية:

$$D[X(t)] = R_{in}(0) - R(0).$$

لنفترض أن عملية إرسال المعلومة عبر خط الاتصال يجب أن تُتجز بنجاح، خلال زمن  $T_3$ ، باحتمال ليس أقل من  $P_3$ . في هذه الحالة، ثباتية خط الاتصال  $K_{in}$  المُعبر عنها باحتمال استجابة خط الاتصال في أي لحظة زمنية لمتطلبات احتمال إرسال المعلومات خلال زمن لا يفوق الزمن المعطى، آخذين بالحسبان أن عملية تغير معامل الفعالية يخضع لتوزيع غوص، تساوي:

$$K_{in} = \Phi \left\{ \frac{H(T_3) - P_3}{\sqrt{D[X(t)]}} \right\}$$

ومثال على ذلك؛ نجد من أجل المعطيات  $t_{OP} = 1.4$  ثانية، و  $t_k = 0.4$  ثانية، و  $T_T = t_W = 20$  ثانية، و  $T_T = t_W = 20$  ثانية، و  $P_{OP} = P_W = 0.9$ ، و  $P_3 = 0.8$ ، و  $T_3 = 10$  ثانية، أن احتمال إرسال المعلومة يساوي  $P[t \leq T_3] = 0.854$ . و يبلغ فاصل الترابط، لعملية تغير معامل الفعالية القيمة  $\tau_0 = 2.7$  ثانية، والتشتت الرياضي لمعامل الفعالية يساوي  $D[X(t)] = 0.121$ ، و يبلغ معامل الاستقرار  $K_{in} = 0.587$ . وعند رفع قيم الاحتمالين  $P_{OP}$  و  $P_W$  حتى 0.98، وزيادة  $T_3$  حتى القيمة 40 ثانية، فإن قيمة التشتت الرياضي لمعامل الفعالية ينخفض حتى القيمة  $D[X(t)] = 0.028$ ، ويزداد الاحتمال  $P[t \leq T_3]$  للقيمة 0.993، ومعامل الاستقرار للقيمة 0.948.

ولاختصار زمن إرسال المعلومات، في ظروف التشويش القوي، يمكننا استخدام نظام العمل في ظروف الحماية من التشويش. ويتم نقل خط الاتصال من نظام العمل في الظروف العادية إلى نظام العمل في ظروف التشويش، وخاصة بعد كشف حقيقة وجود تشويش. إلا أن المميزات الزمنية لعملية إرسال المعلومات، في الظروف العادية، تختلف عنها في ظروف التشويش، ولا يمكن استخدام النموذج المبين أعلاه (التحليل المعتمد في حل المسألة) لحساب فعالية عمل خطوط الاتصال اللاسلكي، وتحليلها.

## 2- حساب فعالية عمل خطوط الاتصال اللاسلكي وتحليلها في ظروف التشويش:

نفرض أنه لدينا خط اتصال لاسلكي، يستخدم لإرسال إشارات (رسائل)، بمعدل محدد، في وحدة الزمن، يعبر عنه بكثافة الإرسال. إذاً، لدينا ثلاث حالات:

**الحالة الأولى:** يتم إرسال الرسائل بمعدل محدد، خلال زمن عشوائي، (أو شبه عشوائي)  $t_N$ ، بقانون توزيع  $B(t)$ ، وفي ظروف غياب التشويش.

**الحالة الثانية:** يوجد طرف مراقب، يقوم بكشف عملية التوليف، والإرسال، خلال زمن عشوائي  $t_j$ ، بتابع توزيع  $R(t)$ ، ويبدأ بالتشويش بشكل لا يسمح باستقبال الرسائل المرسله.

**الحالة الثالثة، وهي خاصة:** يتم، في أثناء عملية الإرسال، الكشف عن وجود تشويش، وذلك باستخدام أجهزة خاصة، أو بوساطة المستنمر، ويتم الانتقال إلى العمل بنظام الحماية. في هذه الحالة يُعبر عن الزمن اللازم لكشف وجود تشويش، والانتقال إلى نظام الحماية Protection System بالمقدار  $t_p$ ، وتابع التوزيع بالتابع  $D(t)$ .

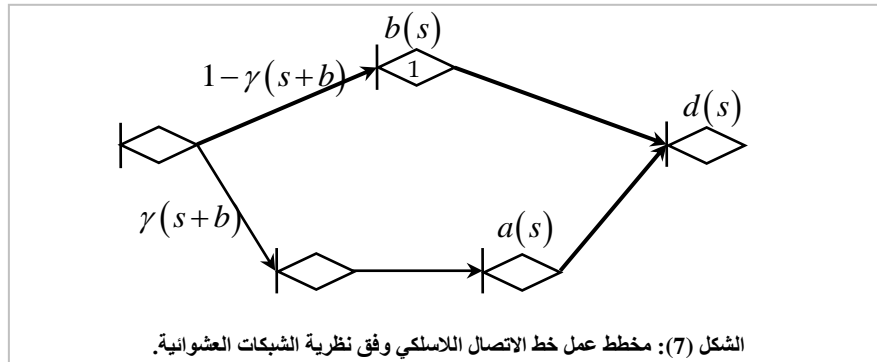
يتم، في نظام العمل بالحماية من التشويش، إرسال الإشارات بزمن عشوائي  $t_{jd}$ ، وتابع توزيع  $A(t)$ . ومن الضروري هنا تحديد كل من تابع التوزيع، والزمن الواسطي للإرسال الناجح للإشارات، عبر خط الاتصال اللاسلكي المعطى. وفي هذه الحالة نضع المخطط المبين في الشكل (7) المعبر عن عمل خط الاتصال اللاسلكي وفقاً لمعطيات المسألة. ووفقاً لهذه المعطيات يجب أن تحتوي الشبكة العشوائية [6] دارتين (اتجاهين) على الأقل. يتم اختيار الأول منهما باحتمال حصول الحدث الآتي: يجري خلال زمن الإرسال في ظروف الضجيج (دون تشويش) اكتشاف الإرسال، ويُنظم التشويش من الطرف الآخر. ويتحدد احتمال حدوث هذه الحالة بقيمة تابع التوزيع، للزمن اللازم، للقيام بالتشويش  $R(t)$ ، خلال الزمن  $t_N$ ، ويُعبر عن هذه الحالة بتحويل لابلاس للتابع  $R(t)$  بالبارامتر  $(s+b)$ ، حيث  $s$  بارامتر التحويل و  $b = 1/t_N$  (الزمن الواسطي للإرسال الناجح للإشارات في ظروف التشويش).

$$\gamma(s+b) = \int_0^{\infty} \exp(-st) h_b(t) d[R(t)], \quad (18)$$

حيث  $h_b(t)$  تابع كثافة الاحتمال لزمن الإرسال بشكل ناجح، في الظروف الطبيعية، دون وجود تشويش. ومن ثم يُعطى التابع الرياضي الذي يمثل الاتجاه الأول من المخطط بالعلاقة الآتية:

$$1 - \gamma(s+b) = 1 - \int_0^{\infty} \exp(-st) h_b(t) d[R(t)], \quad (19)$$

ويوضح الشكل (7) المخطط الذي يعبر عن عمل خط الاتصال اللاسلكي، في نظام العمل، بالحماية من التشويش.



إن  $b(s)$

حيث

تحويل لابلاس لتابع توزيع زمن إرسال الإشارات، في ظروف التشويش المقصود،  $a(s)$  تحويل لابلاس لتابع توزيع زمن الإرسال للإشارات في ظروف التشويش المنظم بنظام الحماية، و  $d(s)$  تحويل لابلاس لتابع توزيع زمن كشف التشويش المقصود والانتقال إلى نظام العمل بالحماية من التشويش المقصود. يعطى التابع الرياضي المكافئ للشكل (8) بالعلاقة الآتية [3,6,7]:

$$h(s) = [1 - \gamma(s+b)]b(s) + \gamma(s+b)d(s)a(s). \quad (20)$$

ومن ثم تأخذ علاقة تابع توزيع زمن الإرسال للإشارات، في ظروف تأثير التشويش، والضجيج، الشكل الآتي [12,11,10,9,6,7,2]:

$$H(t) = \sum_{i=1}^n -\frac{K(s_i)}{s_i} [1 - \exp(-s_i t)], \quad (21)$$

حيث  $H_a(t)$  و  $H_b(t)$  تابعان يطابقان ظروف التشويش، والضجيج، على الترتيب. ويفرض أن:

$$\left. \begin{aligned} D(t) &= 1 - \exp[-dt]; \quad d = 1/T_B; \\ R(t) &= 1 - \exp[-rt]; \quad r = 1/T_J, \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

نحصل على:

$$b(s) = \int_0^{\infty} \exp(-st) \sum_{i=1}^n K(s_{bi}) \exp(s_{bi}t) dt = \sum_{i=1}^n \frac{K(s_{bi})}{s - s_{bi}}, \quad (23)$$

$$a(s) = \int_0^{\infty} \exp(-st) \sum_{i=1}^n K(s_{ai}) \exp(s_{ai}t) dt = \sum_{i=1}^n \frac{K(s_{ai})}{s - s_{ai}}, \quad (24)$$

عندئذ:

$$d(s) = \frac{d}{d+s} \quad (25)$$

$$\gamma(s+b) = r \sum_{i=1}^n \frac{K(s_{bi})}{(s+r-s_{bi})}. \quad (26)$$

نعوض العلاقات (23)، (24)، (25)، (26) في العلاقة (4)، ونحدد التابع المكافئ، ثم نجري التكامل، فنحصل على تابع توزيع زمن الإرسال الآتي:

$$\begin{aligned} H(t) &= \int_0^t h(t) dt = \sum_{i=1}^n \frac{K(s_{bi})}{s - s_{bi}} \{1 - \exp[-s_i t]\} - r \sum_{k=1}^{2\pi} \frac{f_b(s_k)}{\phi'_b(s_k)(s - s_k)} \{1 - \exp[-s_k t]\} \\ &- rd \sum_{k=1}^{2\pi} \frac{f_a(s_k)}{\phi'_a(s_k)(s - s_k)} \{1 - \exp[-s_k t]\}, \end{aligned} \quad (27)$$

حيث:

$$f_b(s_k) = \left\{ \left[ \sum_{i=1}^n K(s_{bi}) \prod_{j=1, j \neq i}^{n-1} (s - s_{bi}) \right] \cdot \left[ \sum_{i=1}^n K(s_{bi}) \prod_{j=1, j \neq i}^{n-1} (s + r - s_{bi}) \right] \right\}_{s=s_k};$$

$$f_a(s_k) = \left\{ \left[ \sum_{i=1}^n K(s_{ai}) \prod_{j=1, j \neq i}^{n-1} (s - s_{ai}) \right] \cdot \left[ \sum_{i=1}^n K(s_{ai}) \prod_{j=1, j \neq i}^{n-1} (s + r - s_{ai}) \right] \right\}_{s=s_k} ;$$

$$\varphi_b(s) = \prod_{i=1}^n (s - s_{bi})(s + r - s_{bi}) = \prod_{i=1}^n (s - s_i),$$

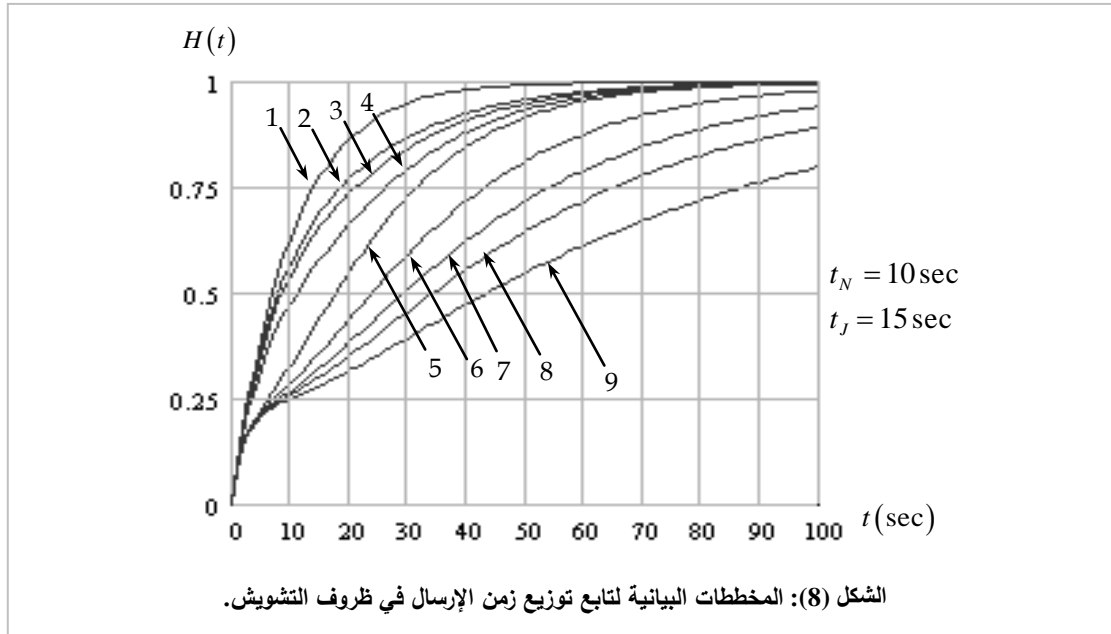
$$\varphi'(s_k) = \left[ \sum_{j=1}^{2n} \prod_{i=1}^n (s - s_i) / (s - s_j) \right]_{s=s_k},$$

علماً أن  $s_i = s_{bi}$  حيث  $i \leq n$ ، و  $s_{n+i-1} = -(r + s_{bi})$  حيث  $n < i \leq 2n$ ، و  $s_{2n+1} = -d$ ، ويساوي الزمن الوسطي للإرسال الناجح للإشارات، بنظام الحماية، عند وجود تشويش،:

$$T_T = \int_0^{\infty} th(t) dt = \sum_{i=1}^n \frac{K(s_{bi})}{(-s_{bi})^2} - r \sum_{k=1}^{2n} \frac{f_b(s_k)}{\varphi'_b(s_k)(-s_k)^2} - rd \sum_{k=1}^{2n} \frac{f_a(s_k)}{\varphi'_a(s_k)(-s_k)^2}. \quad (28)$$

يبين الشكل (8) نتائج الحسابات التي تم الحصول عليها بتطبيق العلاقة (28).

افتراضنا، عند إجراء الحسابات، أن الزمن الوسطي للإرسال الناجح للإشارات، في ظروف التشويش، سواء في نظام العمل التقليدي  $Sec t_N = 10$ ، أم في نظام الحماية  $Sec t_j = 15$ ، خلال ذلك الزمن الوسطي؛ لكشف التشويش، والانتقال إلى نظام الحماية، يأخذ القيم الآتية:  $Sec t_p = 10 \dots 60$ ، والزمن الوسطي لكشف الإرسال، وتنظيم التشويش المقصود  $Sec t_{wj} = 3 \dots 30$ .



يطابق المنحني البياني ذو الرقم 1 حالة عدم وجود تشويش مقصود، والمنحنيات البيانية الموافقة للأرقام من 2 حتى 5 تعبر عن الأزمنة الوسطية  $t_{wj} = 3, 10, 20, 30$  ثانية، عندما  $t_p = 10$  ثانية. وتم الحصول على المنحنيات البيانية، ذات الأرقام من 6 حتى 9 من أجل  $t_{wj} = 3$  ثانية، وأزمنة كشف التشويش، والانتقال إلى نظام الحماية، عند  $t_p = 20, 30, 40, 60$  ثانية.

## النتائج والمناقشة:

تحليل نتائج الحسابات و التوابع الرياضية التي تم الحصول عليها تظهر ما يأتي:

- 1- عند الموازنة بين القيم الاحتمالية لزمن الإرسال الناجح التي تم الحصول عليها بتابع توزيع يأخذ بالحسبان وجود تشويش، والقيم الاحتمالية لزمن الإرسال الناجح التي تم الحصول عليها بتابع توزيع لا يأخذ بالحسبان وجود تشويش، نلاحظ تقارب النتائج، أو عدم تحسنها، وهذا يمكن ملاحظته في (الخط البياني ذي الرقم 1 الشكل-8):

$$\lim_{T_j \rightarrow \infty} H(t) = B(t). \quad (29)$$

- 2- أما القيم الاحتمالية الأسوأ، لزمن الإرسال الناجح، التي تم الحصول عليها، فتحدد فعالية استخدام نظام الحماية، وسرعة الانتقال إلى نظام الحماية من التشويش؛ بتنفيذ إجراءات محددة، قد تكون تنظيمية، أو تقنية، وهذه الحالة تطابق الخط البياني ذا الرقم 9:

$$\lim_{T_j \rightarrow \infty} H(t) = \sum_{i=1}^{n+1} \frac{dK(s_{ai})}{s - s_{ai}} [1 - \exp(s_{ai}t)]. \quad (30)$$

حيث  $s_{ai} = -d$ .

- 3- لا بد من الإشارة إلى أهمية زمن كشف التشويش، والانتقال إلى نظام الحماية كبارامتر حساس، وفعال؛ للقيام برد الفعل المناسب وفق إطار محدد.
- 4- يمكن، في خطوط الاتصال اللاسلكي، نظام simplex، اختصار زمن كشف التشويش؛ باستخدام الخوارزمية المقترحة الموضحة في الشكل (9).
- 5- إن وجود نظام الحماية لا يؤدي إلى الاختصار الفعال لزمن الإرسال الناجح في ظروف التشويش المقصود، ومن أجل تحقيق الفعالية في استخدام نظام الحماية لا بد من وجود نظام مؤتمت (آلي)؛ لكشف التشويش، والانتقال إلى نظام الحماية. و نقتح استخدام الخوارزمية الآتية:

يُحسب، في أثناء إجراء الاتصال، عدد الإشارات (الرزم) المرسل والمستقبل في وحدة الزمن. وعند الاستقبال يتم قياس الفواصل الزمنية بين الإشارات  $(i = 1, N)$ ،  $t_{ji}$ . بعد ذلك تقوم الجهة المرسل بإرسال رقم تسلسلي  $N_j$ ، وتقوم الجهة المستقبل بالموازنة بين الرقم التسلسلي وعدد الإشارات المستقبل حقيقياً  $N_\phi$ . وفي حال عدم التطابق تقوم بإرسال  $R = N_j - N_\phi$ . ويستخدم الزمن المقيس  $t_{ji}$ ؛ لحل مسألة التنبؤ بالفواصل الزمنية بين الإشارات اللاحقة.

يمكن حل هذه المسألة بسهولة باستخدام التحليل الرياضي المناسب. ولما كان تدفق الإشارات يخضع لقانون توزيع بواسون (Poisson Distribution)، فإن احتمال استقبال إشارة في اللحظة  $N + 1$  يساوي:

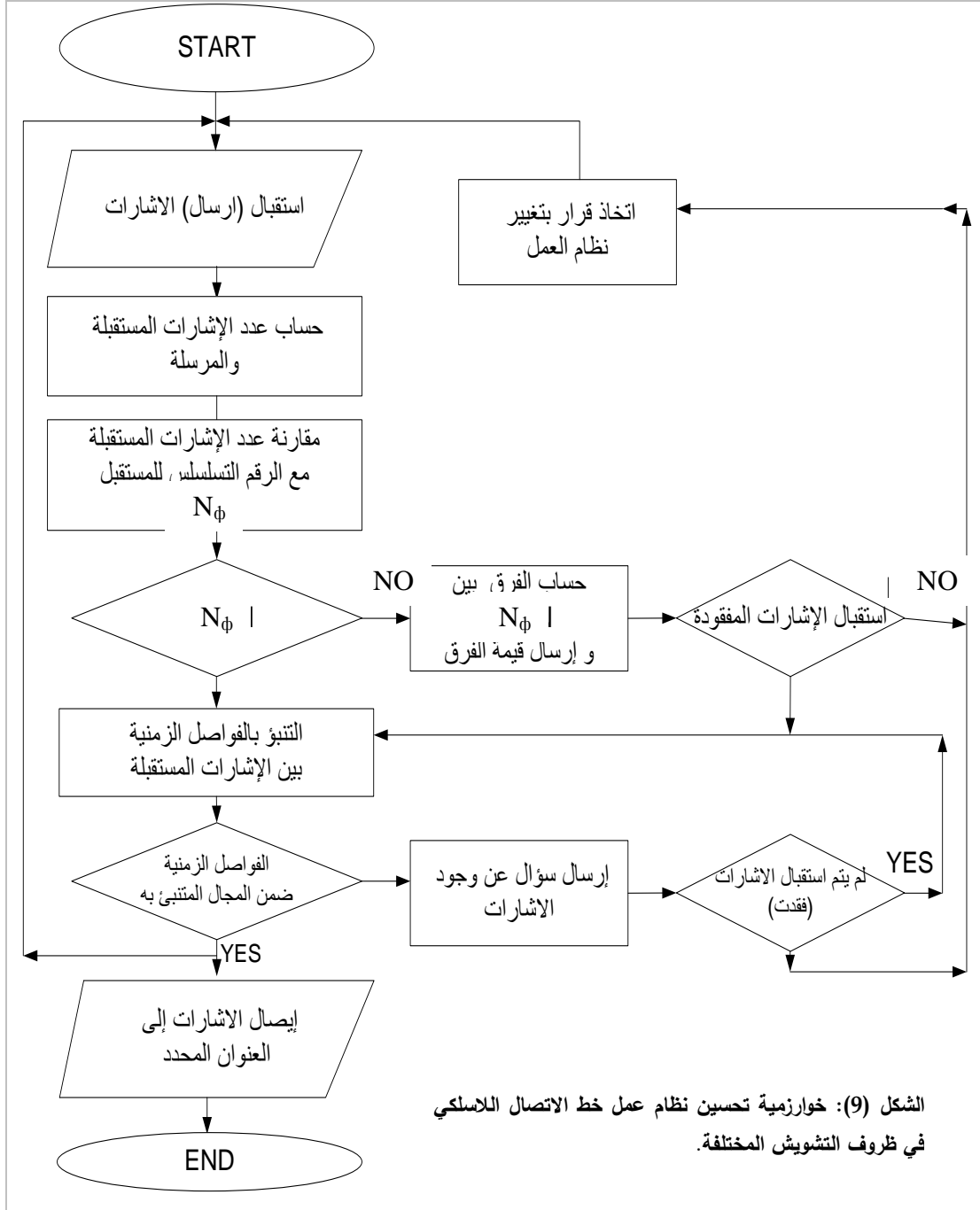
$$P_{N+1} = \left\{ 1 - \exp[-\lambda Y(N+1)] \right\}^N; \quad Y(N) = \sum_{i=1}^N \frac{t_{ji}}{i}, \quad (31)$$

حيث  $N$  عدد قيم  $t_{ji}$  المقيسة.

إذا لم يتم الاستقبال خلال الفاصل الزمني المتوقع، فإنه يرسل سؤال، يتضمن عدد الإشارات المستقبل حتى لحظة معينة (لحظة استقبال آخر رسالة)، وفي حالة عدم الاستقبال، أو عدم حصول تأكيد إشارة السؤال؛ يتم الانتقال إلى العمل بنظام الحماية. باستخدام هذه الطريقة زمن كشف التشويش:

$$t_{\text{det}} \approx \lambda_{\text{min}}^{-1}, \quad (32)$$

حيث  $\lambda_{\text{min}}$  القيمة الصغرى لكثافة الإرسال.



تم، عند تحليل كل مركبة، من مركبات التابع (العلاقة 20)، حساب قيم الكثافة الطيفية لاحتمال الإرسال الناجح  $|Q(j\omega)|$ ، والتابع الترابطي  $R(\tau)$  للعملية العشوائية  $X(t)$  التي تمثل احتمال الإرسال الناجح للإشارات، خلال زمن محدد [5,6] حيث يعطى تابع الكثافة الطيفية بالعلاقة الآتية:

$$Q(j\omega) = \sum_{i=1}^n \frac{f(s_i)}{\varphi'(s_i)} \cdot \frac{1}{|s_i| + j\omega} = \sum_{i=1}^n \frac{f(s_i) \exp[-j \arctan(\omega/s_i)]}{\varphi'(s_i) \sqrt{|s_i|^2 + \omega^2}} \quad (33)$$

والتابع الترابطي يعطى بالعلاقة الآتية:

$$R(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \left| \sum_{i=1}^n \frac{f(s_i)}{\varphi'(s_i) \sqrt{|s_i|^2 + \omega^2}} \right|^2 \exp(i\omega\tau) d\omega =$$

$$\frac{1}{2\pi} \left\{ \int_{-\infty}^{\infty} \sum_{i=1}^n \frac{[f(s_i)]^2 \exp(i\omega\tau)}{[\varphi'(s_i)]^2 (|s_i|^2 + \omega^2)} d\omega + \int_{-\infty}^{\infty} \frac{2f(s_1)f(s_2) \exp(i\omega\tau)}{\varphi'(s_1)\varphi'(s_2) \sqrt{|s_1|^2 + \omega^2} \sqrt{|s_2|^2 + \omega^2}} dx + \dots + \right.$$

$$\left. + \int_{-\infty}^{\infty} \frac{2f(s_{n-1})f(s_n) \exp(i\omega\tau)}{\varphi'(s_{n-1})\varphi'(s_n) \sqrt{|s_{n-1}|^2 + \omega^2} \sqrt{|s_n|^2 + \omega^2}} dx \right\} \leq \left\{ \sum_{i=1}^n \frac{[f(s_i)]^2 \exp(s_i\tau)}{2[\varphi'(s_i)]^2 |s_i|^2} + \right.$$

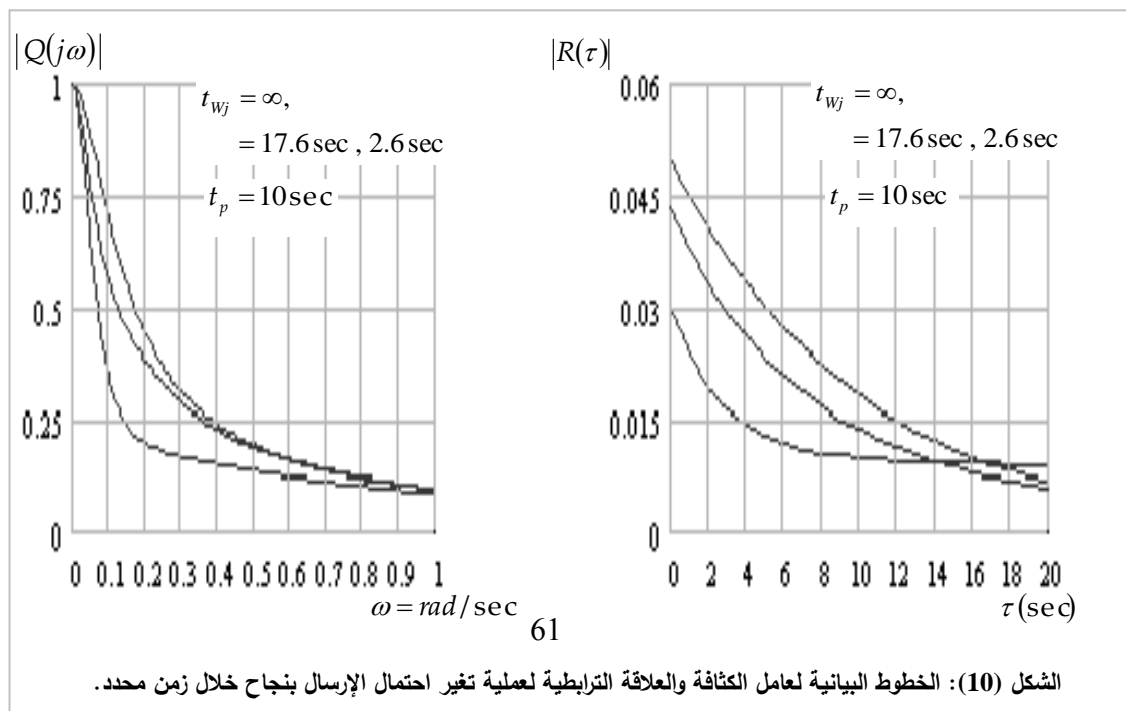
$$\left. + \frac{f(s_1)f(s_2) \exp\left[-\frac{\tau}{2}|s_1 + s_2|\right]}{\varphi'(s_1)\varphi'(s_2) |s_1s_2|} + \dots + \frac{f(s_{n-1})f(s_n) \exp\left(-\frac{\tau}{2}|s_{n-1} + s_n|\right)}{\varphi'(s_{n-1})\varphi'(s_n) |s_{n-1}s_n|} \right\};$$

كما يعطى فاصل الترابط بالعلاقة الآتية:

$$\tau_0 \leq \frac{1}{R(0)} \left[ \sum_{i=1}^n \frac{[f(s_i)]^2}{2[\varphi'(s_i)]^2 |s_i|^2} + \frac{2f(s_1)f(s_2)}{\varphi'(s_1)\varphi'(s_2) |s_1 + s_2| \sqrt{|s_1s_2|}} + \dots + \right.$$

$$\left. + \frac{2f(s_{n-1})f(s_n)}{\varphi'(s_{n-1})\varphi'(s_n) |s_{n-1} + s_n| \sqrt{|s_{n-1}s_n|^2}} \right] \quad (34)$$

يبين الشكل (10) نتائج الحسابات الموافقة للمعطيات:  $t_p = 20 \text{ Sec}$ ,  $t_N = 10 \text{ Sec}$ ,  $t_j = 15 \text{ Sec}$  الوسطي  $t_m = 17.6 \text{ Sec}$  و  $t_{Wj} = 2.6 \text{ Sec}$  و  $t_{Wj} = 10000 \text{ Sec}$ .



الشكل (10): الخطوط البيانية لعامل الكثافة والعلاقة الترابطية لعملية تغير احتمال الإرسال بنجاح خلال زمن محدد.

### الاستنتاجات والتوصيات:

من خلال الموازنة بين نتائج حل المسألة الأولى ونتائج بحث الحالات الثلاث في المسألة الثانية؛ نجد ما يلي (المسألة الأولى ظروف تشويش عادية، والمسألة الثانية - تشويش قوي، ونظام عمل متلائم):

1. نلاحظ، من الموازنة بين الشكلين (6) و(10)، أن طيف عملية إرسال المعلومات، بتطبيق نظام الحماية، يكون ضيقاً، ويضيق أكثر فأكثر مع زيادة قدرة الطرف الذي يقوم بالتشويش مع مرور الزمن.
2. يبين التابع الترابطي، في الوقت ذاته، أنه بازياد احتمال التشويش المقصود، في أثناء العمل، دون حماية تضيق العلاقة الترابطية لعملية الحسابات. وهذا ما يسمح بوضع المتطلبات الخاصة بالفواصل الزمنية؛ لاختيار القناة اللاسلكية، وبعدد الحزم المرسله، وطريقة الحصول على التأكيد، وعدد مرات تكرار الإرسال، ومتطلبات جودة القناة؛ وفقاً للحالة المدروسة، وظروف التشويش.
3. وبفرض أن  $P_3 = 0.85$  و  $T_3 = 60 \text{sec}$ ، نجد أن استقرار خط الاتصال كمقدار احتمالي  $P[P(t \leq T_3) \geq P_3]$ ، تبلغ القيم 0.981، و0.998، و0.852.
4. تبين، من تحليل النتائج، أن الخوارزمية المقترحة تسمح لنا بالحصول على نتائج منطقية، وأن هذه الخوارزمية تبدي استجابة للمعطيات الداخلة، والعوامل الأولية.

### المراجع:

1. ПРИВАЛОВ А. А.; РЫЖКОВ А. ЕЮ, *Современные Системы Персонального Радиовызова*. – СПб Суостроеие, 1998, 72.
2. ЗЮКО А. Г., *Помехоустойчивость И Эффективность Систем Связи*, 1972 М.: СВЯЗЬ, 220.
3. DAI AND J. G.; VANDE VATE. J., *The Stability Of Two-Station Multi-Type Fluid Networks*, Operations Research, V. 48, 2000, 721–744.
4. MICHAEL HARRISON J., *Stochastic Networks And Activity Analysis*, American Mathematical Society, Providence, RI, January 24-2002, 36.
5. ПРИВАЛОВ А. А., *Метод Топологического Преобразования Стохастических Сетей И Его Использование Для Анализа Систем Связи ВМФ*, 1999 СПб.: ВМА, 147.
6. ПРИВАЛОВ А. А., *Модели И Методы Исследования Информационных Сетей*, Под ред. Н. И. Буренина. Выпуск 1, 1999, СПб.: Тема, 139.
7. ЧЕМИРЕКО В. П.; ПРИВАЛОВ А. А. *Модели И Методы Исследования Стей Связи*. - СПб.: 2001г.-218р.
8. J. M. Harrison. *Brownian Models Of Open Processing Networks: Canonical Representation Of Workload*. Annals of Applied Probability, 10(1): 75–103, 2000. ISSN 1050-5164. Correction, 13:390–393, 2003.
9. RUTH J. WILLIAMS. *On Stochastic Processing Networks*, November 7, 2010, 40p.
10. S. P. Meyn. *Sequencing And Routing In Multiclass Queueing Networks.*, part I: Feedback regulation. to appear in SIAM J. on Control and Optimization, 2000.
11. S. L. Bell and R. J. Williams. *Dynamic Scheduling Of A Parallel Server System In Heavy Traffic With Complete Resource Pooling: asymptotic optimality of a threshold policy*. Electronic J. of Probability, 10:1044–1115, 2005. URL. <http://www.math.ucsd.edu/~williams/dyn/multiserv.html>.