

تأثير الضجيج على قياس الرجرجة في أنظمة الاتصال باستخدام قيم العينات اللحظية.

- د. ياسر عملة *
- د. هيثم الرضوان **
- م. عبد الغني شحود ***

(تاريخ الإيداع ٢٠٢٣/٧/٥ . قبل للنشر في ٢٠٢٣/٩/٧)

□ ملخص □

يهتم هذا البحث بقياس الرجرجة (Jitter) التي تحصل خلال مرور الإشارة عبر قناة الاتصال، مما يؤدي إلى تشوهات في الإشارة المستقبلية، ولذلك كان لابد من قياس هذا البارامتر. تم تحليل الطرق المستخدمة لقياس الرجرجة وتم توضيح آلية القياس في هذه الطرق. تم في هذا البحث اقتراح طريقة تعتمد على أخذ عينات من الإشارة المرسله وعينات من الإشارة المستقبلية، والربط بينها من خلال علاقات رياضية. تم التوصل إلى مجموعة علاقات رياضية تعطي قيمة الانزياح الطوري المكافئ للرجرجة وفق طريقتين: الطريقة الأولى باستخدام ٨ عينات خلال زمن البت، والطريقة الثانية باستخدام ١٦ عينة خلال زمن البت. اختبرت العلاقات الرياضية المستنتجة لقياس الرجرجة باستخدام الطريقتين تحت تأثير الضجيج الغاوسي، عن طريق المحاكاة الحاسوبية باستخدام الـ MATLAB وأجريت المقارنة بين النتائج للتحقق من صلاحيتها لقياس الرجرجة تحت تأثير الضجيج.

*أستاذ في قسم هندسة الالكترونيات والاتصالات- كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة البعث.
**أستاذ في قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين.
***طالب دكتوراه في قسم هندسة الالكترونيات والاتصالات- كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة البعث.

Analyze noise effect on Jitter measurement in communication systems using samples

Dr. Yaser Emleh *

Dr. Haisam Alradwan **

Eng. Abdul Ghani Sahoud ***

(Received 5/7/2023 . Accepted 7/9/2023)

□ ABSTRACT

This paper focuses on measuring Jitter, which occurs when a signal passes through a communication channel, resulting in distortions in the received signal. Therefore, it was necessary to measure this parameter. The methods used to measure Jitter were analyzed and the measurement mechanism in these methods was explained. In this paper, a method was proposed that relies on get samples from the transmitted and received signal, then linking them through mathematical relationships.

A set of relationships were derived that give the equivalent phase shift value for Jitter using two methods: the first method uses 8 samples during bit time, and the second method uses 16 samples during bit time.

The mathematical relationships derived to measure Jitter were tested using both methods under the influence of Gaussian noise, we used the MATLAB for a simulation. The results were compared to verify their validity for measuring Jitter under the influence of noise.

*Professor, Electronic and Communication Department, Mechanical and Electrical Engineering, Albaath University.

**Professor, Communication and Electronic Department, Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University.

***PHD.Student , Electronic and Communication Department, Mechanical and Electrical Engineering, Albaath University.

١ - مقدمة:

تستخدم نظم الاتصالات الرقمية في كافة مجالات الاتصالات السلكية واللاسلكية والخليوية والرادارية وشبكات الاتصال، وتعرض الإشارة أثناء عبورها قناة الاتصال إلى تشوهات مطالية وطورية وزمنية، وتعد الرجرجة (Jitter) أحد أهم البارامترات التي تؤدي إلى تشوه الإشارة زمنياً مما يؤدي إلى انزياح زمني بالإشارة المرسل [١-٢].

• تختلف الإشارة المستقبلية عن الإشارة المرسل بسبب الرجرجة، وتختلف قيمتها وتأثيراتها من تطبيق لآخر، وعادة تكون قيمتها لا تتجاوز ١٠% من زمن البت (0.1Tb) [٣].

• تؤدي الرجرجة في شبكات الحواسيب إلى انزياح في الرزم المستقبلية وبالنتيجة الحصول على معلومات مستقبلية مغايرة للمعلومات المرسل [٤].

• تستخدم قناة الاتصال الهاتفية لتراسل المعطيات وهذا يعني أيضاً وجود تشوه في المعلومات المستقبلية تحت تأثير عدة عوامل، مما يؤدي إلى تشوه الإشارة وانزياحها زمنياً على الرغم من تحسين الخواص الطورية والترددية لقناة الاتصال الهاتفية المستخدمة لتراسل المعطيات.

• تتأثر الإشارة المرسل في قناة الاتصال الخلوية بالرجرجة الزمنية أيضاً بسبب تأثير الضجيج (Poisson ، Rayleigh) وعوامل أخرى، تتأثر الإشارة الفيديوية المرسل عبر قناة الاتصال المختلفة بالرجرجة وتؤدي إلى حجب فترة زمنية في الاستقبال، مما يعني فقدان المقاطع الفيديوية المرسل في هذا المجال الزمني، كما تتأثر الإشارة الرادارية المستقبلية بتشوهات الرجرجة مما قد يؤدي إلى خطأ في تحديد السمات والاتجاه [٤، ٦، ٥].

مما ذكر أعلاه تتضح أهمية قياس الرجرجة على دخل مستقبلات نظم الاتصالات الرقمية.

٢ - هدف البحث:

دراسة وتطوير طرائق لقياس الرجرجة الزمنية باستخدام العينات المتقطعة على مدخل أجهزة الاستقبال في منظومات الاتصالات الحديثة، وتحديد أثر الضجيج الغاوصي عليها.

٣ - مبررات البحث:

تسبب الرجرجة الزمنية تقليل جودة الاتصال الرقمي، ومن المهم جداً قياس الرجرجة وتقليل تأثيراتها الزمنية على منظومة الاتصال بغية الحصول على اتصال جيد وتخفيض معدل خطأ البت (BER: Bit Error Rate).

٤ - أهمية البحث:

يعتمد نقل البيانات غالباً على الوصول من نقطة إلى أخرى باستخدام شبكات الاتصالات السلكية واللاسلكية، يؤدي التأخير الزمني في أنظمة الاتصالات المعتمدة على التجميع بتقسيم الزمن إلى ظهور مشاكل وأخطاء في الاتصال خاصة في تطبيقات الزمن الحقيقي. و يتسبب في تأخير إرسال الرزم في الشبكات الواسعة، وفقدانها نظام الاستقبال غير قادر على معالجة جميع الخانات الواردة [١٠-١١]، وهنا تكمن أهمية البحث في قياس الرجرجة من أجل معالجتها والحد من آثارها

٥- مفهوم الرجرجة:

نميز بين نوعين من الرجرجة: التمثيلية والرقمية.

في الشكل التمثيلي الرجرجة هي ضجيج أو انزياح طوري يتغير دائماً مع الزمن ويعبر عنها بالعلاقة (1):

$$S(t) = P(t + \phi(t)) \quad (1)$$

حيث أن $S(t)$ هي الإشارة المحتوية على الرجرجة، و $P(t)$ هي الإشارة الخالية منها، و $\phi(t)$ هي الانزياح الطوري.

يوجد في المفهوم الرقمي تعريفان للرجرجة:

بعد الانتقال من المستوى (١) إلى المستوى (٠) أو العكس انتقالاً مهماً في الإشارة لأن الرجرجة تحصل في هذه اللحظة، و توجد طرق مختلفة لنقل الخانات الرقمية في نظام الاتصالات الرقمية:

النوع الأول: هو إرسال الخانات بحالة عدم العودة إلى الصفر (NRZ) ويكون تدفق البيانات في هذه الحالة دون وجود إشارة الساعة، حيث يتم إنشاء إشارة الساعة من خلال الاستقبال باستخدام دائرة الساعة واستعادة البيانات. [٩]

تعرف الرجرجة على نبضات الساعة في المعادلة (٢)

$$\phi_n = t_n - T_n \quad (2)$$

حيث أن t_n يعبر عن اللحظات التي تعبر فيها الإشارة العتية، وتكشف في الاستقبال.

T_n زمن أخذ العينات وتحدد نقاط أخذ العينات بدارة الساعة والاستعادة.

ϕ_n رجرجة نبضات الساعة.

النوع الثاني من الرجرجة هو الرجرجة التراكمية، وتوصف بالمعادلة:

$$\phi_m = t_m - mT \quad (3)$$

حيث أن

t_m - نقاط العينات التي تحصل عندها الرجرجة.

mT - عدد صحيح من الفترة الزمنية للخانة الواحدة.

ϕ_m - هي أن الرجرجة التراكمية.

٥-١- الرجرجة الزمنية

تسبب الرجرجة الزمنية للإشارة الواردة في نظام الاتصال الرقمي في حدوث خلل في نبضات الساعة ودائرة استعادة البيانات (CDR) في جهاز الاستقبال، مما يؤدي إلى زمن أخذ العينات خاطئ للبيانات ويسبب هذه حدوث أخطاء في البتات، أي أن الرجرجة الزمنية تسبب حدوث خطأ زمني في البيانات التي يتم استقبالها. تنتج الرجرجة الزمنية من الضجيج الحراري، ويتم تقييم مقدار الخطأ الناتج من الرجرجة الزمنية من خلال معدل خطأ البت (BER)، ويمكن أن تؤثر الرجرجة سلباً على طرف الاستقبال بسبب تغيير إشارة نبضات الساعة والإشارة التي تنتقل عبر قناة الاتصال [٧،١٢،١٣].

٦- الدراسات المرجعية:

قام (Langard) وزملاءه باقتراح طريقة محسنة لحساب الرجرجة في ADC، حيث ان هذه الطريقة لها القدرة على قياس فتحة الارتياح في ADC دون الوقوع في خطأ التكميم [٧]، واعتمدت الطريقة على ثلاث خطوات. الخطوة الأولى: التخلص من خطأ النظام والحصول على ضجيج الطور التفاضلي بالإضافة إلى ضجيج الجهد الكلي باستخدام التقنية تسمى ضرب التردد، والخطوة الثانية: التخلص من ضجيج طور (أو تأخير الطور)، والخطوة الثالثة: تحديد ضجيج الجهد (التي يسببها ADC) ثم استخلاص الرجرجة.

قام (Angrisani) وزملاءه باقتراح طريقة حيث تميزت بدقة عالية نظراً لأن إشارة خرج النظام يتم قياسها مباشرة. ولكنها معقدة حسابياً. استخدمت خوارزمية معالجة الإشارات الرقمية لتقدير الرجرجة في الإشارة [٦]، وتضمنت ست خطوات، الخطوة الأولى: يتم رقمنة إشارة بيانات، والخطوة الثانية: يتم تقدير معدل البت الفعلي من خلال الحصول على طيف المطال باستخدام تحويل فورييه السريع (FFT)، والخطوة الثالثة: يتم استخدام القيمة المقدرة لمعدل البت لاستعادة المعلومات بأرقام الثنائية لإشارة البيانات المكتسبة (حسب الكود المعتمد)، والخطوة الرابعة: يتم انشاء إشارة بيانات خالية من الرجرجات المرجعية، الخطوة الخامسة: تتم مزامنة إشارة البيانات المرجعية مع الحافة الصاعدة الأولى الأفضل ملائمة لإشارة البيانات. يتم إجراء قياس الرجرجة اللحظي عن طريق حساب التحول الزمني بين الحافة الصاعدة لإشارة مرجعية وإشارة البيانات المكتسبة، والخطوة السادسة: يتم اختيار تردد الرجرجة المناسب للحصول على فاصل زمني منتظم مما يعني الحصول على تردد الرجرجة.

قام (VODRAZKA) وزملاءه بإجراء قياساتهم واختباراتهم على خطوط ADSL، وقاموا بتقديم طريقة نمذجة للجهود. ونمذجوا بارامترات الرجرجة الزمنية للحزمة بتوزيع Pareto [7].

قام (S. Shariat) وزملاءه باقتراح هذه الطريقة لقياس الرجرجة بطريقة الاختبار العامة لتحديد الحد الأعلى لفتحة الارتياح [٨]، واعتمدت على خطوتين. الخطوة الأولى: يتم تطبيق إشارة موجة جيبية لمداخلات نظام الاستحواذ ((المحول التشابهي الرقمي (ADC))، وبعد ذلك يتم حساب القيم المتبقي يعني الفرق بين كل لحظة من الموجة الجيبية والإشارة الفعلية. الخطوة الثانية: يتم الحصول على قيمة الخطأ الثابتة لكل زمن عينة عن طريق حساب انحراف المعدل عن المتوسط. وتم تقدير الرجرجة عن طريق حساب قيمة جذر متوسط التربيع للخطأ الثابت لزمن الفرق (متوسط الفرق)، وهذه الطريقة غير مفضلة عندما يكون خطأ التكميم كبيراً بسبب وجود خطأ التكميم في قياس الرجرجة. طريقة اختبار البديلة لتحديد الحد العلوي لفتحة الارتياح [9]: لمعالجة عيب الطريقة السابقة تم اقتراح هذه الطريقة.

خطوات هذه الطريقة:

يبدأ تطبيق هذا الطريقة بواسطة موجتين جيبيتين، الأولى منخفضة التردد fa تطبق على مدخل ADC، والثانية موجة جيبية أخرى بتردد fb. هنا يفترض أن خطأ التكميم مستقل عن إشارة المحاكاة. ثم يتم تقدير الانحراف المعياري لارتعاش ADC باستخدام العلاقة التالية
قام (A. Parthasarathy) وزملائه بقياس الرجرجة الزمنية في مولد نبضات من مرتبة ميلي ثانية باستخدام [10].
تم في هذا العمل حساب المجال الزمني بين الحافتين الصاعدتين لإشارتي دخل كاشف الزمن الرقمي (DTV):

الإشارة الأولى إشارة خارجية مرجعية ER والإشارة الثانية من راسم إشارة تحكمي رقمي، ويتم انتاج الخطأ بوساطة دائرة PIC وهي تعبر عن ال (jitter) .

تمت عملية القياس بمرحلتين: المرحلة الأولى مرحلة التقدير وفيها تم تحديد قيمة زمن فجوة الرزمة المرسله، والمرحلة الثانية مرحلة التقييم وفيها استخدم ناتج المرحلة السابقة للحصول على قيمة الرجرجة.

استخدم الباحثون ٤٠٠٠ عينة قياس وحصلوا على النتائج الموضحة بالشكل بنسبة خطأ لا تتجاوز ٤% مع تزايد الطلب على تطبيقات الوسائط المتعددة في شبكات الانترنت والشبكات اللاسلكية والخليوية ... تزايد الاهتمام بنوعية الخدمة.

أثناء بث الاشارات الفيديوية تحصل بعض التشوهات الزمنية التي تؤدي إلى انقطاع في البث وتجميده لفترة زمنية وتعد الرجرجة أحد أهم البارامترات التي تؤدي لذلك [١،٢] .

لا توجد مشكلة كبيرة في تحميل الملفات فقد عولجت ودرست، لكن التشوهات الزمنية التي تسبب تأخيرا في المعلومات المستقبلية تمثل التحدي الأكبر [٣]، واضطر البعض الى اقتراح إعادة الارسل أكثر من مرة، واستخدام مضخم عازل لحفظ المعلومات غير المستقبلية لإعادة إرسالها [١٦، ١٥] .

عند العمل بالزمن الحقيقي تظهر حالات انقطاع وجمود للبث وقفزات، وقد تفقد الاشارة في الاستقبال، بسبب الرجرجة .

اقترحت طريقة للقياس من ثلاثة مراحل: حساب فترة التجميد، وحساب حجم البيانات المفقودة وفترة ضياع البيانات، حساب الاستجابة الزمنية.

نوقشت بافتراض وجود مضخمي عزل في الارسل والاستقبال وتبين ضرورة تساوي سعة المضخمات للحصول على الدقة.

٧- طرق البحث وموارده:

تم في هذا البحث اقتراح طريقة لقياس الرجرجة الناتجة في قنوات الاتصال الهاتفية المستخدمة لتراسل المعطيات، وذلك بوساطة استخدام العينات اللحظية للإشارة من طرفي الإرسال والاستقبال. استنتجت مجموعة من العلاقات الرياضية لقياس الرجرجة، وتم اختبارها تحت تأثير الضجيج الغاوصي، والمقارنة فيما بينها لتحديد مدى صلاحيتها لقياس الرجرجة بوجود الضجيج، و تم أخذ ١٠٠٠ عملية قياس للحصول على قيمة الرجرجة.

٧-١- الطريقة المقترحة:

تتلخص الفكرة بإرسال إشارة اختبارية ترددها واقع ضمن حزمة تمرير القناة وفق المراحل التالية:

١. ضرب الإشارة الرقمية في طرف الإرسال بإشارة جيبيية دورها يساوي إلى ضعف زمن

البث.

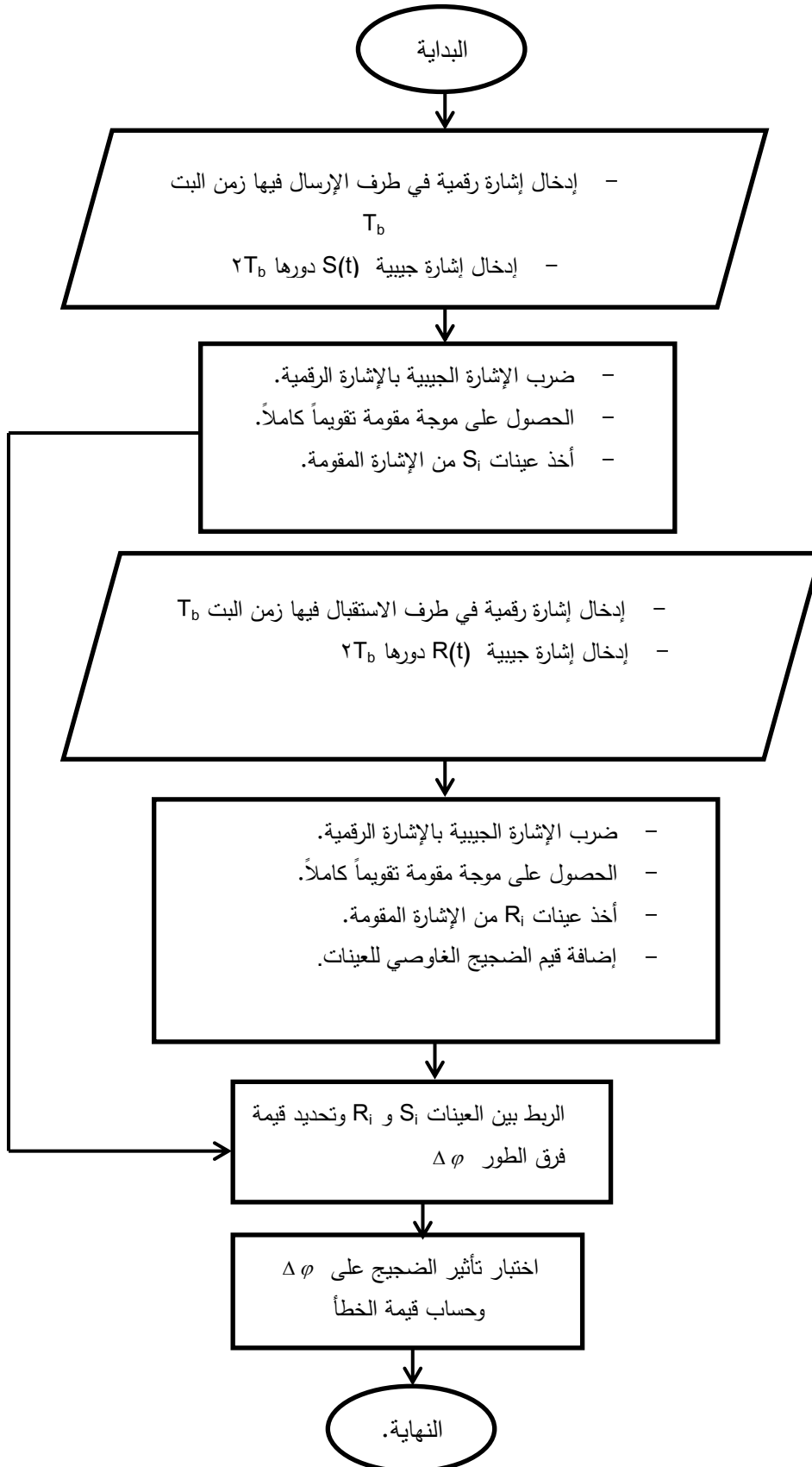
٢. تقويم الموجة الجيبية تقويماً كاملاً فنتج إشارة دورها يساوي إلى زمن البث.

٣. أخذ عينات من الإشارة المرسله.

٤. تكرر الخطوات من ١ إلى ٣ بعد $N.T$ دور حيث أن N عدد صحيح على الإشارة في

طرف الاستقبال ، الذي تصل إليه الإشارة مزاحة تحت تأثير الرجرجة.

٥. الربط بين عينات الدخل وعينات الخرج للحصول على علاقات تعطي قيمة الانزياح الطوري المكافئ لقيمة الانزياح المسبب.
٦. اختبار هذه العلاقات تحت تأثير الضجيج الغاوسي.
- ويوضح الشكل (١) مخططاً نهجياً للطريقة المقترحة لقياس الرجرجة.



الشكل (١) - مخطط نهجي للطريقة المقترحة لقياس الرجرجة.

١-١-٧ - الطريقة الأولى:

بفرض أن الإشارة الجيبية في طرف الإرسال هي:

$$S(t) = E \sin(\varphi) \quad (٤)$$

والإشارة في طرف الاستقبال هي:

$$R(t) = E \sin(\varphi + \Delta\varphi) \quad (٥)$$

تم في الطريقة الأولى أخذ ٨ عينات خلال زمن البت وبذلك نحصل في طرف الإرسال، بفرض أن الإشارة مقومة تقوياً كاملاً بالاتجاه السالب على العينات التالية:

$$S_0 = -E \sin(\omega t), \quad S_1 = -E \sin(\omega t + \frac{\pi}{8}), \quad S_2 = -E \sin(\omega t + \frac{\pi}{4}),$$

$$S_3 = -E \sin(\omega t + \frac{3\pi}{8})$$

$$S_4 = -E \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}), \quad S_5 = -E \sin(\omega t + \frac{5\pi}{8}), \quad S_6 = -E \sin(\omega t + \frac{3\pi}{4}),$$

$$S_7 = -E \sin(\omega t + \frac{7\pi}{8})$$

بينما نحصل في طرف الاستقبال على العينات التالية:

$$R_0 = -E \sin(\omega t + \Delta\varphi), \quad R_1 = -E \sin(\omega t + \frac{\pi}{8} + \Delta\varphi) \quad R_2 = -E \sin(\omega t + \frac{\pi}{4} + \Delta\varphi),$$

$$R_3 = -E \sin(\omega t + \frac{3\pi}{8} + \Delta\varphi), \quad R_4 = -E \sin(\omega t + \frac{\pi}{2} + \Delta\varphi), \quad R_5 = -E \sin(\omega t + \frac{5\pi}{8} + \Delta\varphi),$$

$$R_6 = -E \sin(\omega t + \frac{3\pi}{4} + \Delta\varphi), \quad R_7 = -E \sin(\omega t + \frac{7\pi}{8} + \Delta\varphi).$$

بالربط بين العينات S_2, R_2, S_6, R_6 نحصل على:

$$\Delta\varphi = 2 \arctg \sqrt{\frac{(S_2 - R_2)^2 + (S_6 - R_6)^2}{(S_2 + R_2)^2 + (S_6 + R_6)^2}} \quad (٦)$$

وبالربط بين العينات S_1, R_1, S_5, R_5 نحصل على:

$$\Delta\varphi = 2 \arctg \sqrt{\frac{(S_1 - R_1)^2 + (S_5 - R_5)^2}{(S_1 + R_1)^2 + (S_5 + R_5)^2}} \quad (٧)$$

وبالربط بين العينات $S_0, R_2, S_3, R_7, S_1, R_1$ نحصل على:

$$\Delta \varphi = 2 \operatorname{arctg} \frac{\frac{S_0 + R_2 + S_3 - R_7}{S_1 + R_1} - \cos \frac{\pi}{8} - \sin \frac{\pi}{4}}{\cos \frac{\pi}{4} - \sin \frac{\pi}{8}} \quad (٨)$$

وبالرابط بين العينات $S_1, R_7, S_2, R_2, S_3, R_5, S_0, R_0$ نحصل على:

$$\Delta \varphi = 2 \operatorname{arctg} \frac{\frac{S_1 - R_7 + S_2 - R_2 + S_3 - R_5}{S_0 + R_0} - (\sin \frac{\pi}{8} + \sin \frac{\pi}{4} + \sin \frac{\pi}{8})}{\cos \frac{3\pi}{8} + \cos \frac{\pi}{4} + \cos \frac{\pi}{8}} \quad (٩)$$

٧-٢-١- الطريقة الثانية:

تم في الطريقة الثانية أخذ ١٦ عينة خلال زمن البت وبذلك نحصل في طرف الإرسال، بفرض أن الإشارة مقومة تقوياً كاملاً بالاتجاه السالب على العينات التالية:

$$\begin{aligned} S_0 &= -E \sin(\omega t), & S_1 &= -E \sin(\omega t + \frac{\pi}{16}), & S_2 &= -E \sin(\omega t + \frac{\pi}{8}), \\ S_3 &= -E \sin(\omega t + \frac{3\pi}{16}), \\ S_4 &= -E \sin(\omega t + \frac{\pi}{4}), & S_5 &= -E \sin(\omega t + \frac{5\pi}{16}), & S_6 &= -E \sin(\omega t + \frac{3\pi}{8}), \\ S_7 &= -E \sin(\omega t + \frac{7\pi}{16}), \\ S_8 &= -E \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}), & S_9 &= -E \sin(\omega t + \frac{9\pi}{16}), & S_{10} &= -E \sin(\omega t + \frac{5\pi}{8}), \\ S_{11} &= -E \sin(\omega t + \frac{11\pi}{16}), & S_{12} &= -E \sin(\omega t + \frac{3\pi}{4}), & S_{13} &= -E \sin(\omega t + \frac{13\pi}{16}), \\ S_{14} &= -E \sin(\omega t + \frac{7\pi}{8}), & S_{15} &= -E \sin(\omega t + \frac{15\pi}{16}) \end{aligned}$$

بينما نحصل في طرف الاستقبال على العينات التالية:

$$\begin{aligned} R_0 &= -E \sin(\omega t + \Delta \varphi), & R_1 &= -E \sin(\omega t + \frac{\pi}{16} + \Delta \varphi), & R_2 &= -E \sin(\omega t + \frac{\pi}{8} + \Delta \varphi), \\ , & R_3 &= -E \sin(\omega t + \frac{3\pi}{16} + \Delta \varphi), & R_4 &= -E \sin(\omega t + \frac{\pi}{4} + \Delta \varphi), \\ R_5 &= -E \sin(\omega t + \frac{5\pi}{16} + \Delta \varphi), & R_6 &= -E \sin(\omega t + \frac{3\pi}{8} + \Delta \varphi), \\ R_7 &= -E \sin(\omega t + \frac{7\pi}{16} + \Delta \varphi), & R_8 &= -E \sin(\omega t + \frac{\pi}{2} + \Delta \varphi), \\ R_9 &= -E \sin(\omega t + \frac{9\pi}{16} + \Delta \varphi), & R_{10} &= -E \sin(\omega t + \frac{5\pi}{8} + \Delta \varphi), \end{aligned}$$

$$R_{11} = -E \sin(\omega t + \frac{11\pi}{16} + \Delta\varphi), \quad R_{12} = -E \sin(\omega t + \frac{3\pi}{4} + \Delta\varphi), \quad R_{13} = -E \sin(\omega t + \frac{13\pi}{16} + \Delta\varphi),$$

$$R_{14} = -E \sin(\omega t + \frac{7\pi}{8} + \Delta\varphi)$$

$$R_{15} = -E \sin(\omega t + \frac{15\pi}{16} + \Delta\varphi)$$

بالربط بين عينات من الإشارة المرسله S وعينات من الإشارة المستقبلة R ، وبنفس الأسلوب المتبع في الطريقة الأولى نحصل على العلاقات التالية لقياس الانزياح الطوري المكافئ للرجرجة:

$$\Delta\varphi = 2 \operatorname{arctg} 0.56 \frac{X_1 + X_2}{S_0 + R_0 + S_8 - R_8} \quad (10)$$

$$X_1 = S_1 - R_{15} + S_3 - R_{13} + S_5 - R_{11} + S_7 - R_9 \quad \text{حيث أن:}$$

$$X_2 = S_9 - R_7 + S_{11} - R_5 + S_{13} - R_3 + S_{15} - R_1$$

$$\Delta\varphi = 2 \operatorname{arctg} 0.51 \frac{S_9 - R_{15} + S_{10} - R_{14} + S_{14} - R_{10} + S_{15} - R_9}{X_3 + X_4} \quad (11)$$

$$X_3 = S_0 + R_8 + S_1 + R_7 + S_2 + R_6 + S_3 + R_5 \quad \text{حيث أن:}$$

$$X_4 = S_5 + R_3 + S_6 + R_2 + S_7 + R_1 + S_8 + R_0$$

(12)

$$\Delta\varphi = 2 \operatorname{arctg} 1.37 \frac{S_{11} - R_{15} + S_{12} - R_{14} + S_{14} - R_{12} + S_{15} - R_{11}}{S_2 + R_{15} + S_3 + R_7 + S_4 + R_6 + S_6 + R_4 + S_7 + R_3 + S_8 + R_2}$$

$$\Delta\varphi = 2 \operatorname{arctg} 0.41 \frac{S_6 - R_{14} + S_8 - R_{12} + S_{12} - R_8 + S_{14} - R_6}{S_1 + R_3 + S_8 + R_1} \quad (13)$$

يلاحظ أن قيمة الانزياح الطوري $\Delta\varphi$ باستخدام العلاقات من (٦) وحتى (١٣) لا تتعلق بقيمة مطال الإشارة في كل من طرفي الإرسال والاستقبال، مما يعني إمكانية استخدام هذه العلاقات سواء كان تقويم الموجة الكامل ذا قطبية موجبة أو سالبة، إضافة إلى ذلك تسهل عملية معالجة التشوهات المطالية للإشارة. نوه إلى عدم وجود خطأ تكميم نظراً لاستخدام قيم العينات اللحظية.

يمكن حساب قيمة تأثير الرجرجة وفق العلاقة:

$$j = \Delta\varphi \cdot \frac{T_b}{180} \quad (14)$$

حيث أن: J قيمة الرجرجة ، و T_b زمن البت.

٨- المحاكاة الحاسوبية:

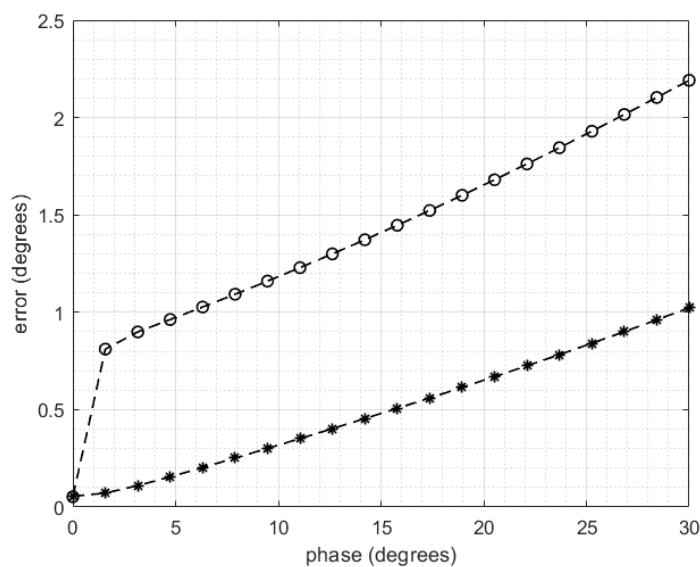
أجريت المحاكاة الحاسوبية لتأثير الضجيج الغاوصي على علاقات قياس الرجرجة باستخدام اللغة البرمجية Matlab بتأثير ضجيج ذو قيمة متوسطة تساوي الصفر وتشتت يساوي إلى الواحد. درس تأثير الضجيج الغاوصي بافتراض إن الإشارة وبالتالي العينات المأخوذة منها في طرف الإرسال لا تتأثر بالضجيج ، بينما تتأثر بالضجيج في طرف الاستقبال بسبب عبور الإشارة بقناة الاتصال. لذلك أضيفت قيم الضجيج

الغاوصي للعينات في علاقات حساب $\Delta \varphi$ ، وتم حساب تأثير الضجيج بتكرار عملية القياس ١٠٠٠ مرة وأخذ المتوسط.

السيناريو الأول: محاكاة تأثير الضجيج الغاوصي على علاقات قياس الرجرجة باستخدام ٨ عينات خلال دور واحد، باستخدام التقويم السالب، واستخدم المخطط النهجي المبين بالشكل (١) للمحاكاة مع وضع عدد العينات ٨ في المخطط.

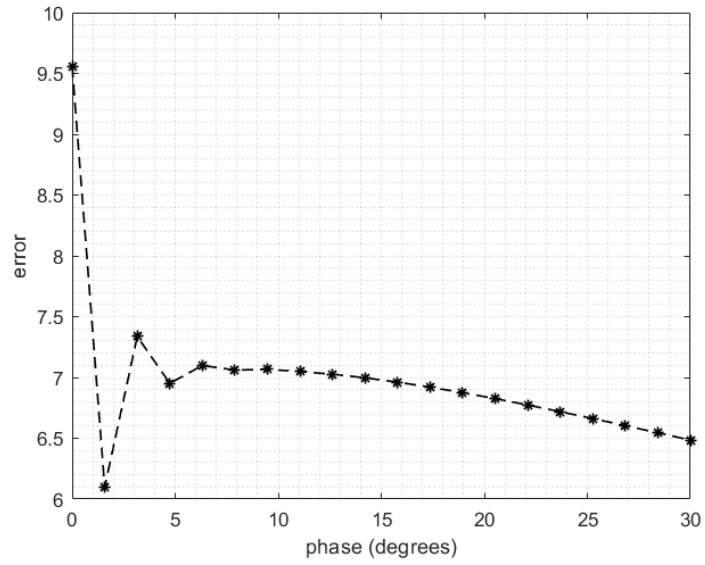
يبين الشكل (٢) تأثير الضجيج على قياس $\Delta \varphi$ باستخدام العلاقتين (٦) و (٧) حيث بوضوح المنحني السفلي التأثير باستخدام العلاقة (٦) والعلوي باستخدام العلاقة (٧) ، والشكل (٣) تأثير الضجيج على قياس $\Delta \varphi$ باستخدام العلاقة (٨) ، والشكل (٤) تأثير الضجيج على قياس $\Delta \varphi$ باستخدام العلاقة (٩).
بما أن قيمة الرجرجة ات تتجاوز 10% من زمن البت أي ما يعادل ١٨ درجة كانزياح طوري ، وباستخدام العلاقة (١٤) يمكن حساب تأثير الرجرجة على العلاقات المدروسة.

بحساب قيم تأثير الضجيج على قيمة الرجرجة بمساعدة الشكل (٢) تبين أن تأثير الضجيج على قيمة الرجرجة باستخدام العلاقة (٦) يتزايد من الصفر عندما لا يوجد تأثير للرجرجة إلى $3.6 \times 10^{-3} T_b$ عند القيمة الأعظمية للرجرجة، وتأثير الضجيج لدى استخدام العلاقة (٧) يتزايد من الصفر عندما لا يوجد تأثير للرجرجة إلى $0.06 T_b$ عند القيمة الأعظمية للرجرجة، ومن الشكل (٣) ولدى استخدام العلاقة (٨) يتضح أن قيمة الضجيج في حالة عدم وجود تأثير رجرجة $0.053 T_b$ ، وقيمته عندما تكافئ الرجرجة المقاسة ٢ درجة $0.034 T_b$ ، و $0.038 T_b$ عندما تكون قيمة الرجرجة المقاسة أعظمية. يتضح من الشكل (٤) عند استخدام العلاقة (٩) لقياس الرجرجة أن تأثير الضجيج مكافئاً لـ $0.53 T_b$ عند عدم وجود تأثير رجرجة ويصل إلى $0.75 T_b$ عندما تكون تكافئ قيمة الرجرجة المقاسة ٢ درجة بينما يصل إلى $0.03 T_b$ عندما تكون قيمة الرجرجة المقاسة أعظمية.



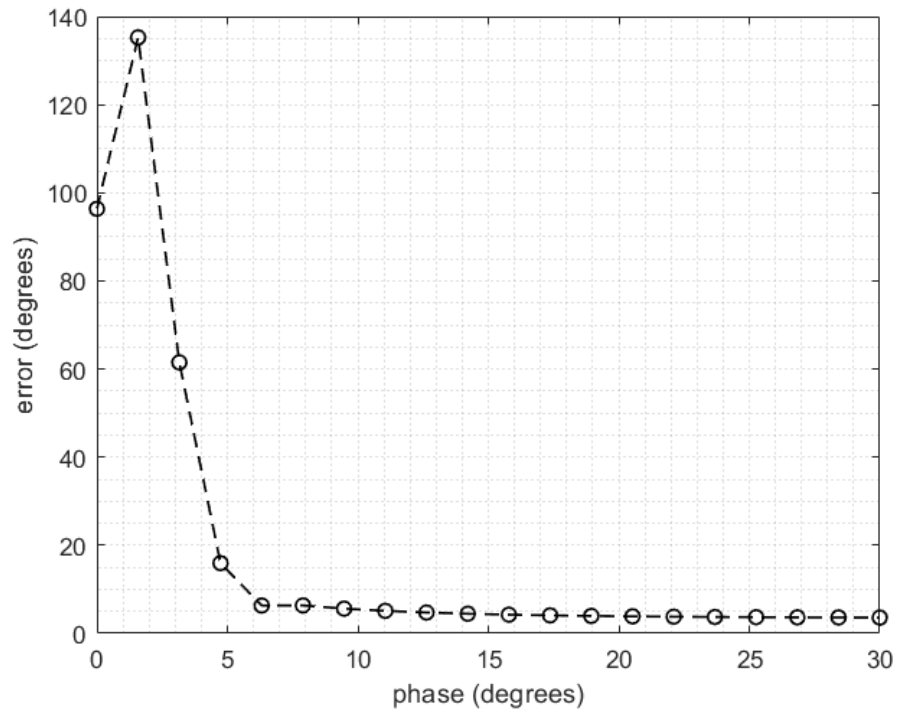
الشكل (٢) - تأثير الضجيج على قيمة الرجرجة باستخدام التابع

$$\Delta \varphi = 2 \arctg \sqrt{\frac{(S_1 - R_1)^2 + (S_5 - R_5)^2}{(S_1 + R_1)^2 + (S_5 + R_5)^2}} \quad \text{والتابع} \quad \Delta \varphi = 2 \arctg \sqrt{\frac{(S_2 - R_2)^2 + (S_6 - R_6)^2}{(S_2 + R_2)^2 + (S_6 + R_6)^2}}$$



الشكل (٣) - تأثير الضجيج على قيمة الدرجة باستخدام التابع

$$\Delta \varphi = 2 \arctg \frac{S_0 + R_2 + S_3 - R_7 - \cos \frac{\pi}{8} - \sin \frac{\pi}{4}}{S_1 + R_1 \cos \frac{\pi}{4} - \sin \frac{\pi}{8}}$$



الشكل (٤) - تأثير الضجيج على قيمة الرجرجة باستخدام التابع

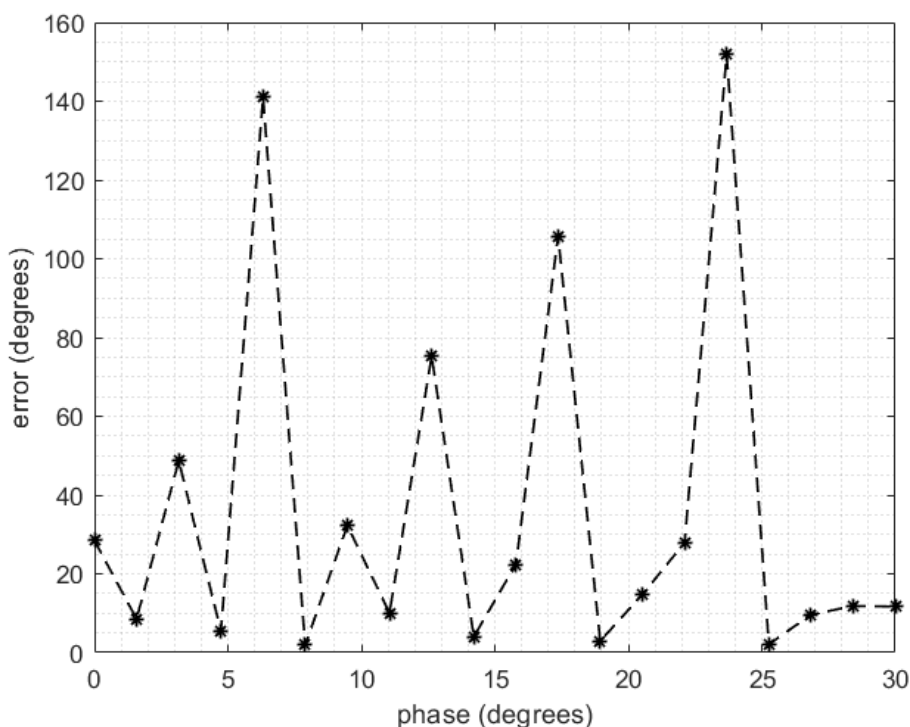
$$\Delta \varphi = 2 \arctg \frac{S_1 - R_7 + S_2 - R_2 + S_3 - R_5}{S_0 + R_0} - \left(\sin \frac{\pi}{8} + \sin \frac{\pi}{4} + \sin \frac{\pi}{8} \right) \cdot \left(\cos \frac{3\pi}{8} + \cos \frac{\pi}{4} + \cos \frac{\pi}{8} \right)$$

السيناريو الثاني: محاكاة تأثير الضجيج الغاوسي على علاقات قياس الرجرجة باستخدام ١٦ عينة خلال دور واحد. واستخدم المخطط النهجي المبين بالشكل (١) للمحاكاة مع وضع عدد العينات ١٦ في المخطط.

يبين الشكل (٥) تأثير الضجيج على قياس $\Delta \varphi$ باستخدام العلاقة (١٠)، والشكل (٦) تأثير الضجيج على قياس $\Delta \varphi$ باستخدام العلاقة (١١)، والشكل (٧) تأثير الضجيج على قياس $\Delta \varphi$ باستخدام العلاقة (١٢)، والشكل (٥) تأثير الضجيج على قياس $\Delta \varphi$ باستخدام العلاقة (١٣).

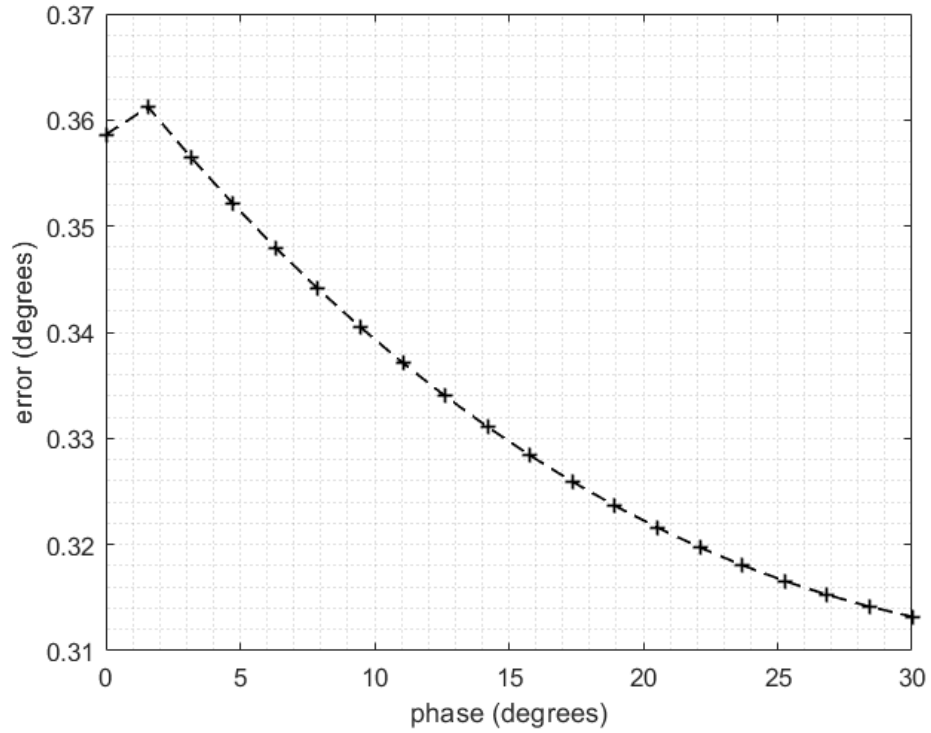
يتضح من الشكل (٥) أن تأثير الضجيج لدى استخدام العلاقة (١٠) أن قيمة تأثير الضجيج عندما لا يوجد تأثير للرجرجة تصل إلى $0.17 T_b$ ، وتصل إلى $0.85 T_b$ عندما تكون الرجرجة المقاسة ٧ درجات، بينما تكون $0.21 T_b$ عند القيمة الأعظمية للرجرجة.

يتضح ومن الشكل (٦) أنه لدى استخدام العلاقة (١١) تكون قيمة الضجيج في حالة عدم وجود تأثير رجرجة $2.1 \times 10^{-3} T_b$ ، وقيمتها $0.183 T_b$ عندما تكون قيمة الرجرجة المقاسة أعظمية.



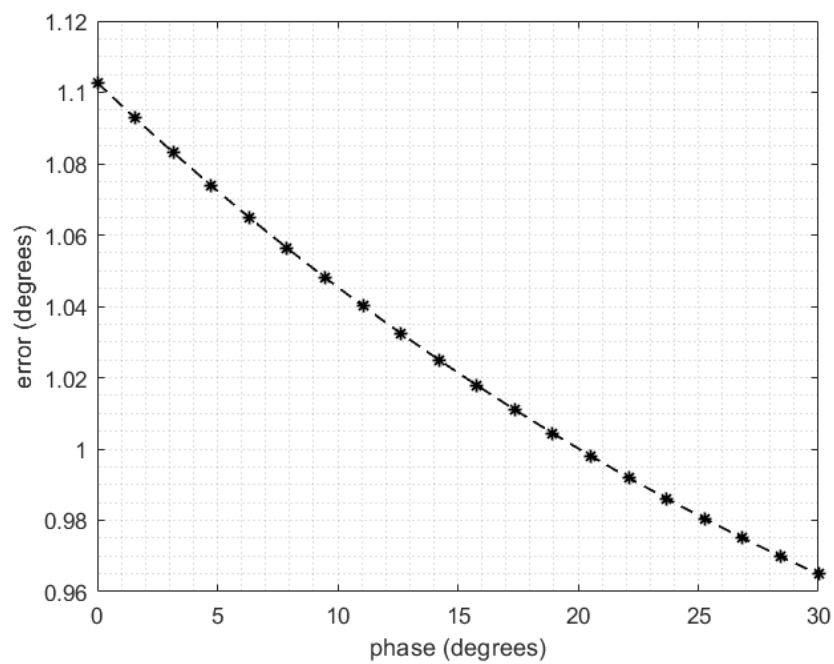
الشكل (٥) - تأثير الضجيج على قيمة الرجرجة باستخدام التابع

$$\Delta \varphi = 2 \arctg 0.56 \frac{X_1 + X_2}{S_0 + R_0 + S_8 - R_8}$$



الشكل (٦) - تأثير الضجيج على قيمة الرجعة باستخدام التابع

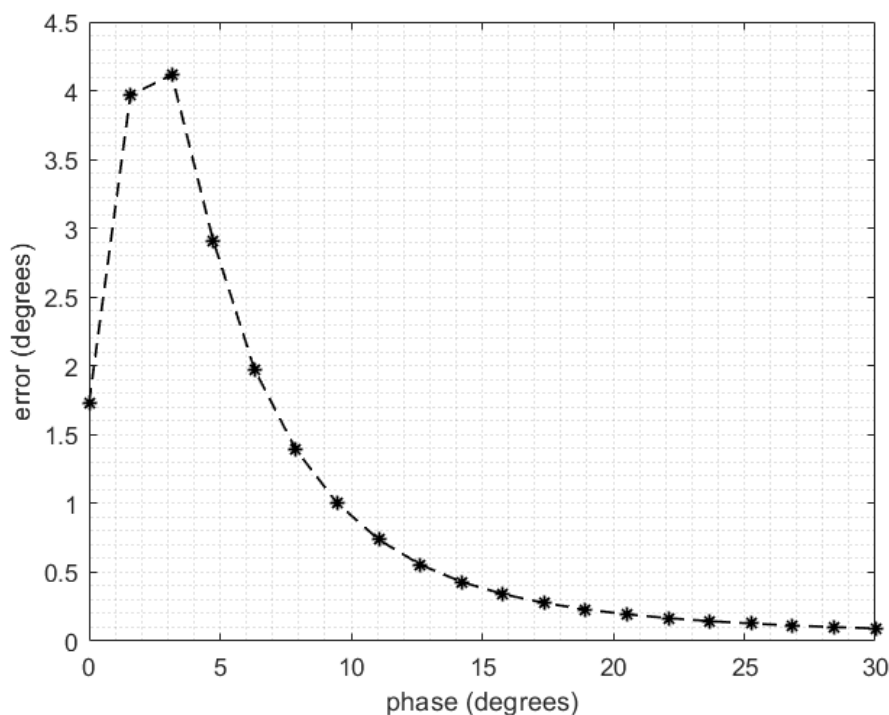
$$\cdot \Delta \varphi = 2 \arctg 0.51 \frac{S_9 - R_{15} + S_{10} - R_{14} + S_{14} - R_{10} + S_{15} - R_9}{X_3 + X_4}$$



الشكل (٧) - تأثير الضجيج على قيمة الرجرجة باستخدام التابع

$$\Delta \varphi = 2 \arctg 1.37 \frac{S_{11} - R_{15} + S_{12} - R_{14} + S_{14} - R_{12} + S_{15} - R_{11}}{S_2 + R_{15} + S_3 + R_7 + S_4 + R_6 + S_6 + R_4 + S_7 + R_3 + S_8 + R_2}$$

يتضح من الشكل (٧) أنه عند استخدام العلاقة (١٢) لقياس الرجرجة يكون تأثير الضجيج مكافئاً لـ $5.9 \times 10^{-3} T_b$ بحالة عدم وجود تأثير رجرجة ويصل إلى $5.34 \times 10^{-4} T_b$ عندما تكون قيمة الرجرجة المقاسة أعظمية.



الشكل (٨) - تأثير الضجيج على قيمة الرجرجة باستخدام التابع

$$\Delta \varphi = 2 \arctg 0.41 \frac{S_6 - R_{14} + S_8 - R_{12} + S_{12} - R_8 + S_{14} - R_6}{S_1 + R_3 + S_8 + R_1}$$

ويتضح من الشكل (٨) أنه عند استخدام العلاقة (١٣) لقياس الرجرجة يكون تأثير الضجيج مكافئاً لـ $0.011 T_b$ بحالة عدم وجود تأثير رجرجة ويصل إلى $9.2 \times 10^{-3} T_b$ عندما تكون قيمة الرجرجة المقاسة أعظمية، بينما تكون قيمته $0.0126 T_b$ عندما تكون قيمة الرجرجة المقاسة تكافئ ٢ درجة انزياح طوري

٩- الاستنتاجات والتوصيات:

من أجل قياس الرجرجة في أنظمة الاتصالات قمنا باقتراح طريقة تعتمد على القيم اللحظية للعينات المأخوذة من إشارة اختبارية، وقمنا بتحويل قياس معدل الانزياح الزمني المسبب بالرجرجة إلى قياس انزياح طوري. استنتجت مجموعة من العلاقات الرياضية بهدف قياس الانزياح الطوري ومن ثم استنتاج قيمة الرجرجة، وتم اختبار تأثير الضجيج الغاوصي على هذه العلاقات لمعرفة مدى صلاحيتها لقياس الرجرجة.

يبين الجدول (١) نتائج اختبار تأثير الضجيج الغاوصي على قياس الرجرجة من أجل السيناريو الأول لدى استخدام ٨ عينات .

الجدول (١) نتائج اختبار الغاوصي على قياس الرجرجة في السيناريو الأول.

القيمة العظمى لتأثير الضجيج بدلالة زمن البت	تابع قياس الرجرجة
$3.6 \times 10^{-3} T_b$	$\Delta \varphi = 2 \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{(S_2 - R_2)^2 + (S_6 - R_6)^2}{(S_2 + R_2)^2 + (S_6 + R_6)^2}}$
$0.06 T_b$	$\Delta \varphi = 2 \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{(S_1 - R_1)^2 + (S_5 - R_5)^2}{(S_1 + R_1)^2 + (S_5 + R_5)^2}}$
$0.053 T_b$	$\Delta \varphi = 2 \operatorname{arctg} \frac{\frac{S_0 + R_2 + S_3 - R_7}{S_1 + R_1} - \cos \frac{\pi}{8} - \sin \frac{\pi}{4}}{\cos \frac{\pi}{4} - \sin \frac{\pi}{8}}$
$0.75 T_b$	$\Delta \varphi = 2 \operatorname{arctg} \frac{\frac{S_1 - R_7 + S_2 - R_2 + S_3 - R_5}{S_0 + R_0} - (\sin \frac{\pi}{8} + \sin \frac{\pi}{4} + \sin \frac{\pi}{8})}{\cos \frac{3\pi}{8} + \cos \frac{\pi}{4} + \cos \frac{\pi}{8}}$

يتضح من الجدول (١) عدم صلاحية العلاقة (٩) لقياس الرجرجة نظراً لأن تأثير الضجيج عليها يساوي إلى $0.75 T_b$ وهي أكبر بكثير من قيمة الرجرجة المقدرة بـ $0.18 T_b$ ، بينما تصلح العلاقات من (٦) إلى (٨) لقياس الرجرجة نظراً لأن القيمة الأعظمية لتأثير الضجيج صغير بالمقارنة مع قيمة الرجرجة الأعظمية، وتعد العلاقة (٦) الأنسب من بين هذه العلاقات حيث أن قيمة تأثير الضجيج الغاوصي هي $3.6 \times 10^{-3} T_b$ وهي صغيرة جداً بالمقارنة مع القيمة الأعظمية للرجرجة $0.18 T_b$.

يبين الجدول (٢) نتائج اختبار تأثير الضجيج الغاوصي على قياس الرجرجة من أجل السيناريو الثاني لدى استخدام ١٦ عينة .

الجدول (٢) نتائج اختبار الغاوصي على قياس الرجرجة في السيناريو الثاني.

القيمة العظمى لتأثير الضجيج بدلالة زمن البت	تابع قياس الرجرجة
$0.85 T_b$	$\Delta \varphi = 2 \operatorname{arctg} 0.56 \frac{X_1 + X_2}{S_0 + R_0 + S_8 - R_8}$

$0.183 T_b$	$\Delta \varphi = 2 \arctg 0.51 \frac{S_9 - R_{15} + S_{10} - R_{14} + S_{14} - R_{10} + S_{15} - R_9}{X_3 + X_4}$
$5.9 \times 10^{-3} T_b$	$\Delta \varphi = 2 \arctg 1.37 \frac{S_{11} - R_{15} + S_{12} - R_{14} + S_{14} - R_{12} + S_{15} - R_{11}}{S_2 + R_{15} + S_3 + R_7 + S_4 + R_6 + S_6 + R_4 + S_7 + R_3 + S_8 + R_2}$
$0.0126 T_b$	$\Delta \varphi = 2 \arctg 0.41 \frac{S_6 - R_{14} + S_8 - R_{12} + S_{12} - R_8 + S_{14} - R_6}{S_1 + R_3 + S_8 + R_1}$

يتضح من الجدول (٢) عدم صلاحية (١٠) و(١١) و(١٣) لقياس الرجرجة نظراً لأن تأثير الضجيج عليها كبير حيث تبلغ قيمة تأثير الضجيج الغاوصي على قياس الرجرجة باستخدام العلاقة (١٠) $0.85 T_b$ وباستخدام العلاقة (١١) $0.183 T_b$ وهي قيم أكبر من قيمة الرجرجة الأعظمية، بينما تبلغ قيمة تأثير الضجيج الغاوصي على قياس الرجرجة باستخدام العلاقة (١٣) $0.0126 T_b$ وهي أصغر من القيمة العظمى للرجرجة لكنها كبيرة جداً بالمقارنة مع القيمة الأعظمية للرجرجة $0.18 T_b$.

بينما يمكن استخدام العلاقة (١٢) لقياس الرجرجة نظراً لأن قيمة تأثير الضجيج الغاوصي الأعظمية هي $5.9 \times 10^{-3} T_b$ وهي قيمة صغيرة جداً بالمقارنة مع القيمة الأعظمية للرجرجة.

يلاحظ بالمقارنة بين السيناريوهين أن زيادة العينات المأخوذة خلال دور مساو لزمناً لم تعط نتائج أفضل للخطأ الناتج عن تأثير الضجيج الغاوصي.

نوصي بدراسة تأثير التشوهات اللاخطية، والتشوهات الترددية على العلاقات المستنتجة لقياس الرجرجة.

المراجع

- [1]-IEEE *standard for a precision clock synchronization protocol for networked measurement and control systems*,” in IEEE Std 1588-2008.
- [2]- I.Nedyalkov, G.P. Georgiev, A.Stefanov,E.Botusharov. *Ways to Measure the Delay in IP Networks*. Proc. 28National Conference with International Participation "Telecom 2020", October 29-30, Sofia,Bulgaria.
- [3] -P. Daponte, L. De Vito, F. Picariello and S. Rapuano. *A cyclostationarity-based method for jitter measurement in waveform recorders*,” IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. 67, no. 8, pp. 1786-1794, Aug. 2018.
- [4]- L. Angrisani, M. Vadursi . *Cross-Layer Measurements for a Comprehensive Characterization of Wireless Networks in the Presence of Interference*. IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT, VOL. 56, NO. 4, AUGUST 2007.
- [5] Callet, P.; Möller, S.; Perkis, A. Qualinet. *White Paper on Definitions of Quality of Experience*. Available online: [http://www.qualinet.eu/index.php?option = com_content&view = article&id= 45&Itemid=52](http://www.qualinet.eu/index.php?option=com_content&view=article&id=45&Itemid=52) (accessed on 2 Mars 2023).
- [6] De', R.; Pandey, N.; Pal, A. *Impact of digital surge during Covid-19 pandemic: A viewpoint on research and practice*. Int. J.Inf. Manag. 2020, 55, 102171. [CrossRef] [PubMed]
- [7] E. Balestrieri, F.Picariello, S. Rapuano, I.Tudosa *The Jitter Measurement Ways: The Jitter Graphs*. IEEE Instrumentation & Measurement Magazine August 2019.
- [8] *Total Jitter Measurement at Low Probability Levels, Using Optimized BERT Scan Method, Application note*, Agilent Technologies, 2005 .
- [9] Balestrieri, F. Picariello, S. Rapuano, I. Tudosa , *Review on jitter terminology and definitions*, Elsevier Measurement 145 (2019) 264–273.
- [10] KOVAC, A. and M. HALAS. *E-Model MOS Esti-mate Precision Improvement and Modeling of Jit-ter E_ects*. *Advances in Electrical and lectronic Engineering*. 2012, vol. 10, no. 4. pp. 276{281. ISSN 1804-3119.
- [11] Jiri VODRAZKA, Pavel LAFATA. *Transmission Delay Modeling of Packet Communication over Digital Subscriber Line*, INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES AND SERVICES VOLUME: 11 / NUMBER: 4 / 2013 / SEPTEMBER, 260-265.
- [12] Hamid Moradi ,*STATE-OF-THE-ART WITHIN JITTER MEASUREMENT*, September 2013 Master's Thesis in Electronics, university of Gävle.
- [13] Joshua Liang ,*On-Chip Jitter Measurement and Mitigation Techniques for Clock and Data Recovery Circuits* , A thesis submitted in conformity with the requirements for the degree of Doctor of Philosophy Graduate Department of Electrical and Computer Engineering, University of Toronto.
- [14] B Wang, B Gao, L Wang, F M Xin, and X Song. *Radar Signal Sorting Algorithm Based on PRI for Large Jitter*,IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 466(2018) 012042 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/466/1/012042
- [15] I Nedyalkov, G.P. Georgiev, A.Stefanov,E.Botusharov. *Ways to Measure the Delay in IP Networks*. Proc. 28National Conference with International Participation "Telecom 2020", October 29-30, Sofia,Bulgaria
- [16] Alexander Mildner,*Time Sensitive Networking for Wireless Networks - A State of the Art Analysis*, Technical University of Munich, Germany,2019.