

دراسة تحليلية لتحسين الكثافة الطيفية للاستطاعه لإشارة GFDM باستخدام النوافذ Windowing

د. عبد الكريم السالم⁽¹⁾ د. فؤاد مَفْضي⁽²⁾ م. زكريا ادريس

الملخص

تعتبر عملية تطبيق النوافذ على إشارة النفاذ المتعدد المعمم بتقسيم التردد GFDM عملية مثمرة جداً في تحقيق تخميد كبير في مستوى الإشعاع خارج الحزمة وبالتالي تقليل التداخل مع الأجهزة المحيطة وخاصة في تطبيقات الأجيال الخلوية القادمة. في هذا البحث تم تقديم دراسة تحليلية لعملية تطبيق النوافذ Windowing على إشارة GFDM حيث تمت دراسة النوافذ الزمنية بأنواعها المختلفة وتوضيح التابع الرياضي لكل نافذة زمنية على حدى وتطبيق كل تابع بمساعدة برمجيات MATLAB واستخراج النتائج من عملية المحاكاة ومناقشتها.

الكلمات المفتاحية: الحوامل المتعددة، النفاذ المتعدد بالتقسيم الترددي المعمم، التجميع بالتقسيم الترددي المتعامد، الجيل القادم، النوافذ.

⁽¹⁾ دكتور في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية جامعة دمشق.

⁽²⁾ دكتور في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية جامعة دمشق.

Analysis Study to Improve The Power Spectral Density of the GFDM Signal Using Windowing

Eng. Zakaria Idres ⁽¹⁾ Dr. Fawaz Mofde Dr. Abdulkareem Assalem

ABSTRACT

The application of windowing to Generalized Frequency Division Multiplexing GFDM signal is very fruitful in achieving significant damping of the level of Out Of Band (OOB) emission and thus reducing interference with surrounding devices, especially in next cellular generation applications.

In this paper, an analytical study of the windowing application process on the GFDM signal was presented, where the different types of time windows were studied, the mathematical function of each time window was clarified, and each function applied with the help of MATLAB software, and the results were extracted from the simulation process and discussed.

Keywords: Multicarrier, GFDM, OFDM, Next Generation ,Windowing.

⁽¹⁾Master of Advanced Communication Engineering.

1- مقدمة:

يزداد الاهتمام بتحسين الكثافة الطيفية للاستطاعة للإشارة GFDM وذلك بهدف تخميد الانبعاث خارج الحزمة OOB وبالتالي تقليل التداخل الذي يمكن أن يحصل في تطبيقات الأجيال الخلوية القادمة وتطبيقات إنترنت الأشياء IoT التي بدأت بالانتشار بشكل واسع.

الهدف من هذه الدراسة التحليلية هو الاستخدام الأمثل للنوافذ الزمنية ومن ضمنها تم تطبيق النوافذ التالية

■ نافذة Hamming

■ نافذة Hanning

■ نافذة Blackman

■ نافذة Kaiser

■ نافذة Nuttall's Blackman-harris

■ نافذة Dolph-Chebyshev

ولمحاولة الإحاطة ببحوث المسألة قدر الإمكان تم اتباع التسلسل التالي في هذا البحث:

- دراسة مرجعية لتقنيات النفاذ المتعدد غير المتعامدة.
- تقديم دراسة مرجعية عامة لتقنية GFDM.
- تقديم دراسة مرجعية للنوافذ Windows.
- محاكاة نوافذ الترشيح الرقمي وتطبيقها على إشارة GFDM ببرمجيات MATLAB.

1- مناقشة النتائج النهائية التي تم الحصول عليها باعتماد برمجيات المحاكاة MATLAB-R2017b.دراسة مرجعية لتقنيات النفاذ المتعدد غير المتعامدة:

نظراً لصعوبة تحقيق التعامد بين الحوامل الجزئية تم البحث عن تقنية لا تحتاج إلى تعامدية حيث إن تقنيات النفاذ المتعدد غير المتعامدة السابقة هي:

:LDS-CDMA

سلاسل النثر المتعامدة تخفف من أثر التداخل بين المستخدمين [1].

:SCMA

يتم تطبيق خوارزمية فصل عدة مستخدمين مناسبة، عادةً ما تكون عملية تخطيط MAP، بحيث يتم الاستفادة من النثر الموجود ضمن كلمات الترميز المستخدمة في نظام SCMA [2].

:MUSA

سلاسل النثر في تقنية النفاذ المشترك لعدة مستخدمين MUSA لا تملك خاصية الكثافة المنخفضة. بينما الرموز منخفضة الكثافة (المتبددة) تخفض تعقيد خوارزميات الكشف على مستوى الرمز، مثل MAP، فإن كاشف إزالة التداخل التكراري SIC على مستوى كلمة الترميز (-CW SIC) يقلل الحاجة لاستخدام كواشف معقدة على مستوى الرمز [3] [4].

:PDMA

يستخدم النفاذ المتعدد بتقسيم النمط PDMA أنماطاً غير متعامدة، تم تصميمها من خلال زيادة التنوع وتقليل التداخل بين المستخدمين [5].

2- دراسة مرجعية عامة لتقنية GFDM:

تقنية GFDM:

إن GFDM هي تقنية واعدة للجيل الخامس بسبب كفاءته الطيفية العالية وعدم التعمد بين الحوامل الفرعية وهو الشرط الرئيسي للأجيال القادمة [6].

2-1 إرسال واستقبال GFDM:

يقدم الشكل (1) بنية رزمة GFDM. تنتشر رموز البيانات عبر الزمن والتردد، كما هو الحال في التجميع بالتقسيم الترددي المتعامد OFDM. ويتم التحكم في دفق البيانات في كل موجة حاملة فرعية من خلال المرشح الذي يحدد استجابة التردد الخاصة به لعرض حزمة محدود. وعلى غرار OFDM، تُرسل رموز البيانات (أعمدة رزمة

يمكن تنفيذ تجميع حزمة من GFDN في زمن منفصل وفقاً للرسم التخطيطي الموضح في الشكل (2). بدون أي خسارة، يكون العرض هنا للحالة حيث $N = 4$ ، $K = 2$ ، و $M = 2$. تجمع كتلة "التحول والتراكم الدائري" نتائج IFFT لكل مجموعة من رموز البيانات، بعد تطبيق الإزاحة الدائرية. تتمثل الإزاحة الدائرية في الاهتمام بالتأخير الزمني بين أعمدة البيانات المتتالية في نسق الرزمة في الشكل (1). التأخير المرتبط بمجموعة الرموز المقابلة لمؤشر الزمن n ، في الزمن المستمر هو nT . في الزمن المتقطع يتوافق هذا مع تأخير عينة nN .

3- النوافذ Windows:

يقوم مبدأ النوافذ على تطبيق تابع يدعى تابع النافذة، ويتم اختيار مجال تطبيق النافذة بناء على التصميم حيث تكون الاستجابة الناتجة محدودة ذات قيمة غير صفرية داخل فترة الترشيح المختارة وذات قيمة صفرية خارج هذه الفترة.

التأثير الأساسي للنوافذ هو تحويل فواصل الحماية في الاستجابة الترددية إلى حزم انتقال على جانبي هذه الفواصل حيث يمكن القول أن الميزة الرئيسية للنوافذ هو التنعيم Smoothing.

يوجد عدة أشكال من النوافذ التي تستخدم في تصميم مرشحات FIR منها [8]:

نافذة Hamming:

تتميز بأن عرض الفص الرئيسي Main Lobe يساوي $\frac{8\pi}{N}$ وأن قيمة المطال الأعظمي لأول فص رئيسي Side Lobe هي -43dB.

يمكن التعبير عن نافذة Hamming بالعلاقة الرياضية التالية [8]:

$$w(n) = \alpha - \beta \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right) \quad (3)$$

GFDN (على فاصل T ويتم ضبط تباعد الموجات الحاملة الفرعية بما يعادل $F = 1/T$).

cyclic prefix	$s_0[0]$	$s_0[1]$	$s_0[2]$...	$s_0[M-1]$
	$s_1[0]$	$s_1[1]$	$s_1[2]$		$s_1[M-1]$
	$s_2[0]$	$s_2[1]$	$s_2[2]$		$s_2[M-1]$
	\vdots	\vdots	\vdots		\vdots
	$s_{N-1}[0]$	$s_{N-1}[1]$	$s_{N-1}[2]$		$s_{N-1}[M-1]$

الشكل (1) بنية رزمة GFDN [7]

يتم تجميع عمود البيانات في رزمة GFDN في الشكل (1) على النحو التالي [7]:

$$x_n(t) = \sum_{l=0}^{N-1} \sum_{k=-K+1}^{K-1} s_l[n] \tilde{c}_k e^{j\frac{2\pi(Ml+k)}{MT}(t-nT)} \quad (1)$$

C: الحوامل و M: عدد الرموز الجزئية و T: دور الرمز و K: عدد الحوامل الجزئية و n: التقطيع.

يتم تجميع رموز البيانات $S_n[k]$ عبر حزم الموجة الحاملة الفرعية N باتباع طريقة انتشار التردد. نلاحظ أيضاً أن $x_n[t]$ هو مجموع توافقيات MN عند الترددات $0, 1/MT, \dots, MN-1/MT$ نظراً لأن جميع هذه التوافقيات يمكن اعتبارها دورية مع فترة MT، فإن $x_n[t]$ هي أيضاً دورية بنفس الفترة. يتم الحصول على المجموعة الكاملة التي تحمل جميع رموز البيانات في رزمة GFDN في الشكل (1) من خلال تليخيص نتيجة المعادلة (1) عبر المجال $0 \leq n \leq M-1$.

هذا يكون [7]:

$$x(t) = \sum_{n=0}^{M-1} x_n(t) \quad (2)$$

نلاحظ بأن مكونات $x_n[t]$ دورية مع فترة MT وبالتالي يتم الحصول على تجميع حزمة من GFDN بأخذ قطعة من $x_n[t]$ خلال الفاصل الزمني $-T_{CP} \leq t \leq MT$.

إن نافذة Blackman أفضل من نافذتي Hamming , Hanning حيث أن استجابتها أفضل وهذا ما يمنحها تنوعاً أفضل للإشارة المراد ترشيحها.

نافذة Kaiser:

تتميز هذه النافذة بخصائص قريبة من توابع الأمواج الكروية الممددة PSWF ويتعلق عرض الفص الرئيسي وتخمد الفصوص الجانبية بالمعامل β ، حيث يزداد عرض الفص الرئيسي وتخمد الفصوص الجانبية مع ازدياد β والعكس بالعكس [9].

تعطى العلاقة الرياضية المعبرة عن النافذة بالمعادلة التالية [9]:

$$w_k(\beta, n) = \frac{I_0 \left[\left[1 - \left(\frac{2n}{N-1} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right]}{I_{0\beta}} \quad (7)$$

$$\frac{N-1}{2} \leq |n| \leq \frac{N-1}{2}$$

حيث أن N طول النافذة و n قيمة المعامل الزمني

I_0 تابع بيسل المعدل من النوع الأول ويعطى

بالعلاقة التالية [9]:

$$I_0(x) = \sum_{k=0}^x \left[\frac{\left(\frac{x}{2} \right)^k}{k!} \right]^2 \quad (8)$$

نافذة Nuttall's Blackman-harris:

تتميز هذه النافذة بأن عرض الفص الرئيسي واسع ومستوى الفصوص الجانبية منخفض جداً [10] وتعطى العلاقة الرياضية المعبرة عن النافذة بالمعادلة التالية [10]:

$$w(n) = a_0 - a_1 \cos\left(2\pi \frac{n}{N-1}\right) + a_2 \cos\left(4\pi \frac{n}{N-1}\right) - a_3 \cos\left(6\pi \frac{n}{N-1}\right) \quad (9)$$

$$-\frac{N-1}{2} \leq n \leq \frac{N-1}{2}$$

$$\alpha = 0.54$$

$$\beta = 1 - \alpha = 0.46$$

نافذة Hanning:

تتميز هذه النافذة بأن عرض الفص الرئيسي Main Lobe يساوي إلى $\frac{8\pi}{N}$ وأن قيمة المطال الأعظمي لأول فص رئيسي Side Lobe هي -32dB.

تعطى العلاقة الرياضية لنافذة Hanning السببية بالعلاقة الرياضية التالية [8]:

$$w_{\text{Hann}}(n) = \begin{cases} 0.5 + 0.5 \cos \frac{2\pi n}{N-1} & (4) \\ 0; \text{ otherwise} \\ 0 \leq n \leq N-1 \end{cases}$$

بينما يعبر عن نافذة Hanning غير السببية بالعلاقة الرياضية التالية [8]:

$$w_{\text{Hann}}(n) = \begin{cases} 0.5 + 0.5 \cos \frac{2\pi n}{N-1}; & (5) \\ 0; \text{ otherwise} \\ 0 \leq |n| \leq \frac{N-1}{2} \end{cases}$$

نافذة Blackman:

يمكن التعبير عن نافذة Blackman بالعلاقة الرياضية التالية [8]:

$$w_{\text{black}}(n) = a_0 + a_1 + a_2 \cos \frac{4\pi n}{N-1} \quad (6)$$

$$-\frac{N-1}{2} \leq n \leq \frac{N-1}{2}$$

حيث أن a_0, a_1, a_2 ثوابت تعطى قيمتها بـ

$$a_0 = \frac{1-\alpha}{2}, a_1 = \frac{1}{2}, a_2 = \frac{\alpha}{2}$$

تعطى قيمة α بـ 0.16 والذي يمكن من حساب

حيث تعطى قيمهم بـ:

$$a_0 = 0.42, a_1 = 0.5, a_2 = 0.08$$

حيث أن N طول النافذة.

الجدول (1) بارامترات محاكاة GFDM باعتماد برمجيات

:MATLAB-R2017b

البارمتر	القيمة
نموذج الـ GFDM	TTI
عدد الرموز الفرعية M	15
عدد العينات في الرمز الفرعي K	512
عدد الحوامل الفرعية المخصصة K_{on}	1200
نوع المرشح	RRC filter
معامل التدوير a	0.1
عدد الحيزات الزمنية Mon	14

$$a_0 = 0.3635819$$

$$a_1 = 0.4891775$$

$$a_2 = 0.1365995$$

$$a_3 = 0.0106411$$

نافذة Dolph-Chebyshev :

العلاقة الرياضية المعبرة عنها هي [11]:

$$w(n) = \frac{\cos\{M \cos^{-1}[\beta \cos(\frac{\pi k}{M})]\}}{\cosh[M \cosh^{-1}(\beta)]} \quad (10)$$

$$K=1,2,3,4,\dots,M-1$$

$$\beta = \cosh\left[\frac{1}{M} \cosh^{-1}(10^\alpha)\right]$$

$$\alpha \approx 2,3,4$$

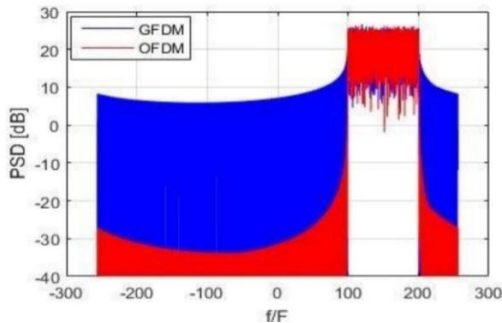
1-4 الكثافة الطيفية للاستطاعة Power Spectral

:density PSD

يبين الشكل (2) الكثافة الطيفية للاستطاعة في تقنية

GFDM حيث إن الباحثون حققوا تخميد للإشعاع خارج الحزمة المفيدة بمقدار -35dB- كما هو موضح في الدراسة

المرجعية [12] :



الشكل (2) الكثافة الطيفية للاستطاعة لإشارة GFDM

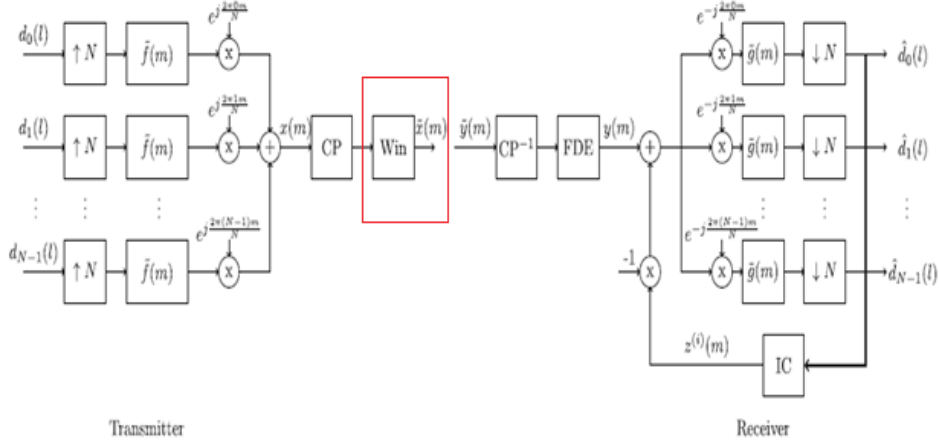
بالدراسة المرجعية [12]

4- محاكاة نوافذ الترشيح الرقمي وتطبيقها

على إشارة GFDM ببرمجيات MATLAB:

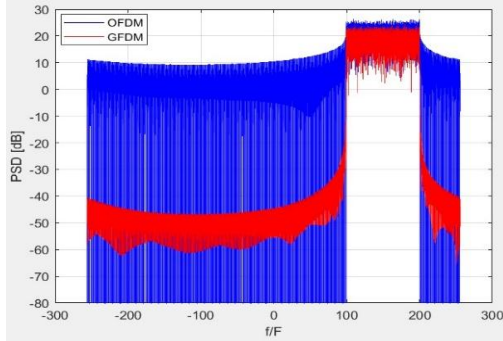
تم دراسة تقنية GFDM ومقارنة كل من الكثافة الطيفية للاستطاعة ونسبة الاستطاعة العظمى الى المتوسطة PAPR بالنسبة لكل نافذة من النوافذ المطبقة وذلك بإجراء دراسة تجريبية باستخدام برنامج MATLAB-R2017b

ويوضح الشكل التالي تطبيق عملية النوفذة على إشارة GFDM باستخدام النوافذ الزمنية بأنواعها المختلفة:



الشكل (3) المخطط الصندوقي لتقنية GFDM باستخدام النوافذ [13]

يبين الشكل (5) الكثافة الطيفية للاستطاعة لإشارة GFDM عند تطبيق نافذة Hanning والتي أعطت تحسين في تخميد الإشعاع خارج الحزمة بمقدار -14 dB :



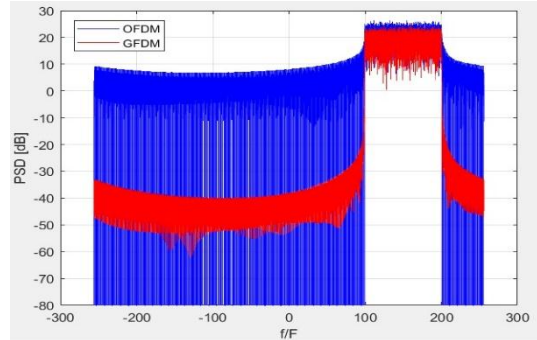
الشكل (5) إشارة PSD ل GFDM عند تطبيق نافذة

Hanning مقارنة مع [12]

يبين الشكل (6) الكثافة الطيفية للاستطاعة لإشارة GFDM عند تطبيق نافذة Kaiser والتي أعطت تحسين في تخميد الإشعاع خارج الحزمة بمقدار -19 dB :

إن تقنية GFDM بالمقارنة مع OFDM [14] حققت الكثير من الميزات لذلك كانت من التقنيات المقترحة للاستخدام في الأجيال القادمة للاتصالات النقالة، وباستخدام المرشحات الرقمية [15] [16] [17] مع تطبيق نوافذ التنعيم تم تصميم بيئة محاكاة تتغلب على المشاكل التي يعاني منها OFDM [18] وتحقيق نظام متكامل لتقنية GFDM [19] يحقق متطلبات الجيل القادم للاتصالات النقالة.

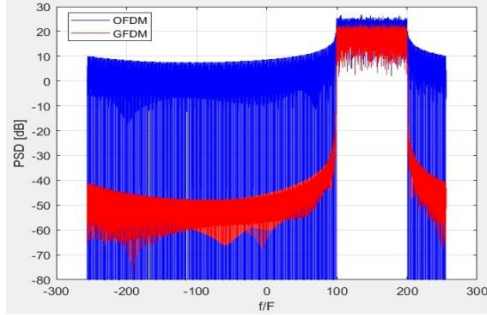
يبين الشكل (4) الكثافة الطيفية للاستطاعة لإشارة GFDM عند تطبيق نافذة Hamming والتي أعطت تحسين في تخميد الإشعاع خارج الحزمة بمقدار -6 dB :



الشكل (4) إشارة PSD ل GFDM عند تطبيق نافذة

Hamming مقارنة مع [12]

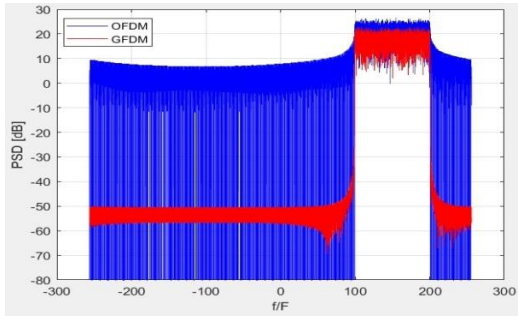
والتي أعطت تحسين في تخميد الإشعاع خارج الحزمة بمقدار -15 dB :



الشكل (8) إشارة PSD ل GFDM عند تطبيق نافذة

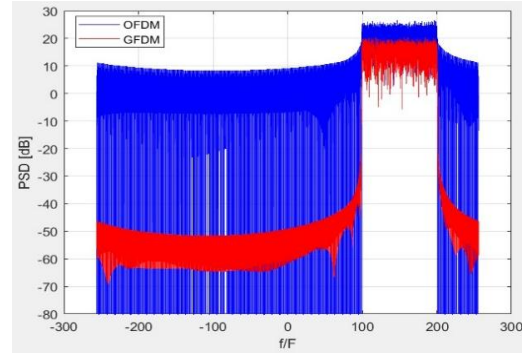
Nuttall's Blackman-harris مقارنة مع [12]

يبين الشكل (9) الكثافة الطيفية للاستطاعة لإشارة GFDM عند تطبيق نافذة Dolph-Chebyshev والتي أعطت تحسين في تخميد الإشعاع خارج الحزمة بمقدار -13 dB



الشكل (9) إشارة PSD ل GFDM عند تطبيق نافذة

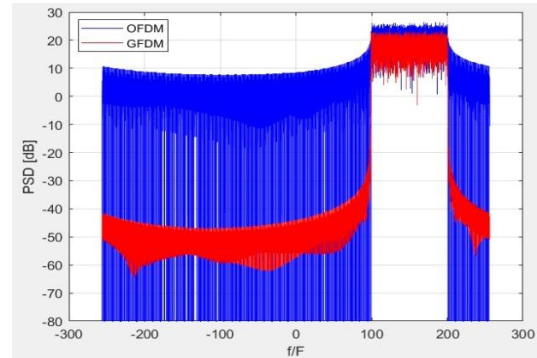
Dolph-Chebyshev مقارنة مع [12]



الشكل (6) إشارة PSD ل GFDM عند تطبيق نافذة

Kaiser مقارنة مع [12]

يبين الشكل (7) الكثافة الطيفية للاستطاعة لإشارة GFDM عند تطبيق نافذة Blackman والتي أعطت تحسين في تخميد الإشعاع خارج الحزمة بمقدار -18 dB :



الشكل (7) إشارة PSD ل GFDM عند تطبيق نافذة

Blackman مقارنة مع [12]

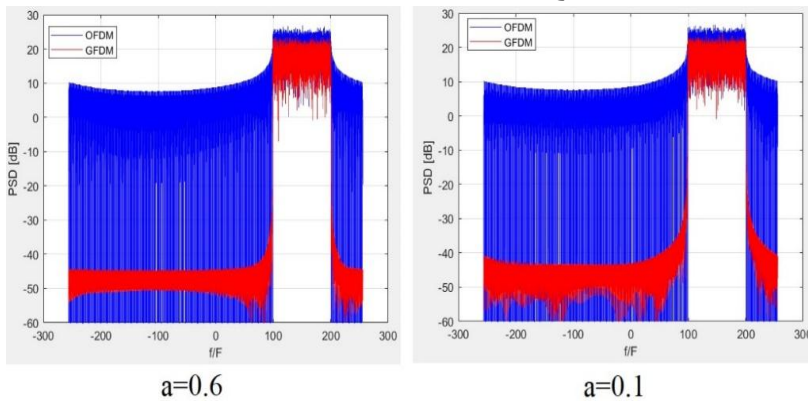
يبين الشكل (8) الكثافة الطيفية للاستطاعة لإشارة GFDM عند تطبيق نافذة Nuttall's Blackman-harris

يوضح الجدول (2) مقارنة للتحسينات التي قدمتها عملية تطبيق نوافذ التنعيم Windowing على تقنية GFDM:

	Hamming	Hanning	Kaiser	Blackman	Nuttall	Chebyshev
PAPR for OFDM (dB)	9.3603	10.1627	10.1615	10.3732	10.4729	10.0685
PAPR for GFDM (dB)	12.1988 متوسطة	13.4884 متوسطة	19.197 مرتفعة (سليبي)	13.2081 متوسطة	15.7474 مرتفعه (سليبي)	13.7522 متوسطة (إيجابي، يمكن التحكم بها بخوارزميات تخفيض PAPR)
عدد الرموز ضمن كتلة البيانات	7680	7680	7680	7680	7680	7680
نسبة التخميد	لا يوجد تحكم بالتخميد (سليبي)	لا يوجد تحكم بالتخميد (سليبي)	100 يمكن تغييرها مرونة (إيجابي)	لا يوجد تحكم بالتخميد (سليبي)	لا يوجد تحكم بالتخميد (سليبي)	100 يمكن تغييرها مرونة (إيجابي)
مقدار تخميد الانبعاثات الجانبية (dB)	55	62	67	62	62	71 (إيجابي)
مطال الإشعاع الرئيسي (dB)	22	22	19 (سليبي)	22	21	21
التعرجات في قمة الإشعاع الرئيسي	كبيرة (سليبي)	متوسطة	كبيرة (سليبي)	متوسطة	صغيرة	صغيرة (إيجابي)

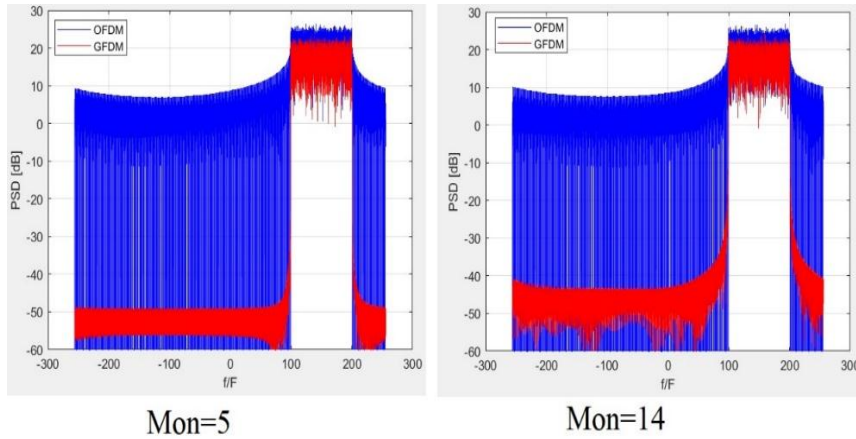
ويعد تبيان الميزات التي قدمتها نافذة Chebyshev في الجدول السابق مقارنة مع باقي النوافذ حيث إنها حققت مرونة في التحكم في التخميد وبعد تثبيت النافذة المطبقة نلاحظ أنه عند زيادة معامل التدوير a للمرشح RRC من $a=0.1$ إلى القيمة $a=0.6$ فإننا نلاحظ تحسن في تخميد الإنبعاث خارج حزمة التمرير بمقدار 5dB كما هو موضح في الشكل (10).

ويعد تبيان الميزات التي قدمتها نافذة Chebyshev في الجدول السابق مقارنة مع باقي النوافذ حيث إنها حققت مرونة في التحكم في التخميد وبعد تثبيت النافذة المطبقة نلاحظ أنه عند زيادة معامل التدوير a للمرشح RRC من



الشكل (10) يوضح التحسن في تخميد الإشعاع خارج الحزمة عند زيادة قيمة a مقارنة مع [12]

أيضا من أجل تطبيق نافذة Chebyshev فإنه عند تصغير عدد الحيزات الزمنية Mon المستخدمة بشكل فعال من كثلة تحتوي M حيز زمني بحيث نغير القيمة من Mon=5 إلى Mon=14 مع تثبيت قيم باقي البارامترات فإننا نلاحظ تحسن في تخميد الإنبعاث خارج حزمة التمرير بمقدار 10 dB كما هو موضح في الشكل (11).



الشكل (11) يوضح التحسن في تخميد الإشعاع خارج الحزمة Mon مقارنة مع [12]

5- مناقشة النتائج النهائية التي تم الحصول عليها

باعتقاد برمجيات المحاكاة MATLAB-R2017:

وهي موضحة بالجدول التالي:

المراجع:

- [1] R. Hoshyar, F. P. Wathan and R. Tafazolli, "Novel Low-density signature for synchronous CDMA system over AWGN channel," IEEE Transactions on signal processing, vol. 56, no.4, PP. 1616-1626, 2008.
- [2] F. Wei and W. Chen, "Sparse Code Multiple Access and Low complexity iterative design for sparse code multiple access," IEEE Transactions on Communications, vol. 65, no. 2, PP. 621-634, 2020.
- [3] Z. Yuan, G. Yu, W. Li, Y. Yuan, X. Wang and J. Xu, "Multi-User Shared Access for internet of things," in 2016 IEEE 83rd Vehicular Technology Conference (VTC Spring), 2016.
- [4] S. Loyka and F. Gagnon, "Performance analysis of the V-BLAST algorithm: An analytical approach," IEEE Transactions on wireless communicati, vol. 3, no. 4, pp. 1326-1337, 2014.
- [5] Jie Zeng, Bing Li, Xin Su, Liping Rong, Rongrong Xing, "Pattern Division Multiple Access (PDMA) for Cellular Future Radio Access," 2015.
- [6] Nagarjuna, Telagam, S.Lakshmi, K.Nehru "Theoretical Analysis and Performance Comparison of OFDM and GFDM Signals for 5G Cellular Networks: A Review," Math. Sci., Vol.-14, No.-1, January-February (2019) pp 446—465.
- [7] Behrouz Farhang, Hussein Moradi, and Idaho National, "Derivation of GFDM Based on OFDM Principles," 2015.
- [8]. PODDER. P. KHAN.T. KHAN. M, R2014- Comparative Performance Analysis of Hamming, Hanning and Blackman Window, International Journal of Computer Applications, Vol. 96, pp. 1-7.
- [9]. ARYA. R. JAISWAL. S, R2015- Design of Low pass FIR Filters using Kaiser Window Function with variable parameter Beta (β), International Journal of Multidisciplinary and Current Research, Vol. 3, pp. 220-224.
- [10]. MAHANT. S. CHANDEL. P. RAHI. P, R2017- FIR Low Pass Filter Designing using Bartlett Hanning, Blackman Harris and Nuttall Window Techniques, International Journal of Advanced Research in Computer and

النافذة المستخدمة على إشارة GFDM	النتيجة
Kaiser	المرونة في تحقيق نسبة التخميد للفصوص الجانبية تزداد نسبة الاستطاعة العظمى إلى المتوسطة
Hanning Hamming Blackman Nuttall	نخسر المرونة في التحكم بتخميد الفصوص الجانبية تتخفف قيمة نسبة الاستطاعة العظمى إلى المتوسطة قليلاً تزداد التعرجات في قمة الإشعاع الرئيسي فيزداد استهلاك الإستطاعة
Chebyshev	المرونة في تحقيق نسبة التخميد للفصوص الجانبية تتخفف قيمة نسبة الاستطاعة العظمى إلى المتوسطة تتخفف التعرجات في قمة الإشعاع الرئيسي فيزداد استهلاك الإستطاعة
Chebyshev + معامل تدوير بقيمة مرتفعة	تحسن في تخميد الانبعاث خارج حزمة التمرير
Chebyshev + عدد حيزات زمنية منخفض	تحسن في تخميد الانبعاث خارج حزمة التمرير

الخاتمة:

بتطبيق النوافذ الزمنية تم تحقيق تخميد في مقدار الانبعاث الجانبي خارج حزمة تمرير إشارة GFDM وهذا جانب مهم جداً وخاصة في تطبيقات انترنت الأشياء IoT الحساسة جداً للتداخلات.

التوصيات:

يمكن للباحثين في هذا المجال في المستقبل دراسة طرق تخفيض PAPR وكذلك طرق إلغاء التداخل التكرارية SIC وذلك لإلغاء التداخل بين الحوامل الناتج عن استخدام النوافذ.

- Communication Engineering, Vol. 6, pp. 785-790.
- [11] Hrishi Rakshit , Muhammad Ahsan Ullah , “A Comparative Study on Window Functions for Designing Efficient FIR Filter,” 2019.
- [12] Abhishek Kumar ,Sourabh Santosh, “GFDM FOR NEXT GENERATION WIRELESS COMMUNICATION SYSTEM,” 2018.
- [13] Mahender, Umamaheshwar, Tallapalli, “Comparison of Power Spectral densities of multi access waveforms for 5G communications,” 2020.
- [14] Enver Hamiti, Fatlum Sallahu, “Spectrum Comparison between GFDM, OFDM and GFDM Behavior in a Noise and Fading Channel,” , Vol, Number 2, 2015.
- [15]. PASCUAL. R, R2018- Chapter 9: FIR and IIR Digital Filters, Researchgate, 15p.
- [16]. KUMAR. A. MAMTA. A, R2016- Comparison of Different Types of IIR Filters, International Journal of Advanced Research in Electronics and Communication Engineering (IJARECE), Vol. 5, pp. 393-402.
- [17]. ZAHOOR. S. NASEEM. S, R2017- Design and implementation of an efficient FIR digital filter, Cogent Engineering, 12p.
- [18] F. Arra, A. Azurdia “OFDM: Today and in the Future of Next Generation Wireless Communications,” Universita Di Bologna ,Italy, 54p,2016.
- [19] Catak , Moldsvor and Derawi “Transceiver Design for GFDM with Hexagonal Time–Frequency Allocation Using the Polyphase Decomposition,”2020.

Received	2021/2/1	إيداع البحث
Accepted for Publ.	2021/9/5	قبول البحث للنشر