جامعة دمشق
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية
قسم هندسة الإلكترونيات والاتصالات

تحسين كفاءة استطاعة المكبرات الراديوية العاملة ضمن أنظمة الجيل الخامس

RF Amplifier Power Efficiency Enhancement For 5G Systems

م. ربا فايز محمود
د.نضال زيدان

الملخص

نقدّم في هذا العمل دراسة وافية وشاملة لمنهجية تصميم نظام التكبير الراديوي، وبشكل خاص نبحث ونقيّم ونحاكي أداء الحل المقترح المبني على أساس مبدأ دوهرتي في تكبير استطاعة الخرج لدارة مكبر الاستطاعة عند التردد 28 GHz باستخدام تكنولوجيا الترانزستور GaAs HEMT، ونستخدم برنامج Advanced Design System في تقييم الأداء عن طريق المحاكاة الحاسوبية والمقارنة مع مكبرات الاستطاعة التقليدية فيما يخص تحسين الكفاءة والربح والخطيّة واستطاعة الخرج وعرض النطاق الترددي . نهتم في هذا العمل بدراسة تشكيلتين لمكبر دوهرتي أولهما هي التشكيلة التقليدية، والأخرى هي التشكيلة المبنية على أساس طبولوجيا STACKED-FET. تبيّن من خلال نتائج المحاكاة أنّ مكبر دوهرتي يعطي أداءً فعّالاً فيما يخص الكفاءة واستطاعة الخرج مع قيم ربح استطاعة مقبولة، ولكنّه يُبدي مناعة أقل تجاه التشوه التوافقي وهذا يوافق تدهور غير مقبول في الخطيّة؛ مما يستدعي تعزيز الخطيّة، ووجدنا أيضاً أنّ مكبر دوهرتي له عيب أساسي آخر يتمثّل بانخفاض عرض النطاق الترددي باستخدام شبكات توفيق كلاسيكية وباستخدام تقنية خطوط النقل بربع طول الموجة؛؛ مما يستدعي تركيز البحث المستقبلي على حل هذه المشاكل ليصبح الحل المقترح أكثر متانة وأكثر جودة للتطبيق في نطاق الجيل الخامس للاتصال.

القسم النظري

- **أهمية البحث:**

تختلف سيناريوهات مضخم الاستطاعة عن تلك الموجودة في الأجيال السابقة 2/3/4G إذ سيكون هناك العديد من مضخمات الاستطاعة التي تعمل بمستويات طاقة منخفضة جدًا. ومع هذه الحال، سيعاني المكبر من قيم PAPR عالية، وستكون الكفاءة اعتبارًا حاسمًا في التصميم. لذلك، من المرجح أن تكون مكبرات الصوت Doherty المنافس الرئيس لهذه التطبيقات، على الرغم من أنها ليست الاحتمال الوحيد. سوف نستعرض في هذا العمل دراسة نظرية ومراجعة أدبيات لحل مكبر دوهرتي؛ وفق تقنية GaAs أو GaN ونمر على المتطلبات الناشئة لمكبرات الاستطاعة في أنظمة الجيل الخامس، وسوف نّبيّن من خلال المحاكاة كيف يقوم حل دوهرتي بحل مشكلة تصميمية للتوفيق بين مَطلب الكفاءة العالية وتأمين خطيّة جيدة جداً في حالة استخدام تردد راديوي حامل؛ وفق الاطوال الموجية الميليمترية.؛ فضلاً عن ذلك، سنقدم حل دارة دوهرتي؛ وفق تشكيلة طبولوجيا Stacked-FET لمكبر الاستطاعة مع الانحياز غير المتماثل للبوابة Drain-Gate من أجل الترانزستور المُعتمّد في تصميم المكبر إذ يوجد العديد من مكبرات الاستطاعة GaAsأوGANالمبنية على أساس Stacked-FET.

- **مسوغات مشروع البحث:**

تفرض شبكات الاتصال من الجيل الخامس تحديّات عمليّة على تصميم مكبرات الاستطاعة Power Amplifiers (PA) في أجهزة الارسال عند كل من المستخدم النهائي (Up Link) والمحطة القاعدية للبث (Down Link). من هذه التحديات يطفو على السطح مَطلَب الخطيّة ذات الكفاءة العالية Linearity and highly efficiency عند استخدام ترددات الجيل الخامس

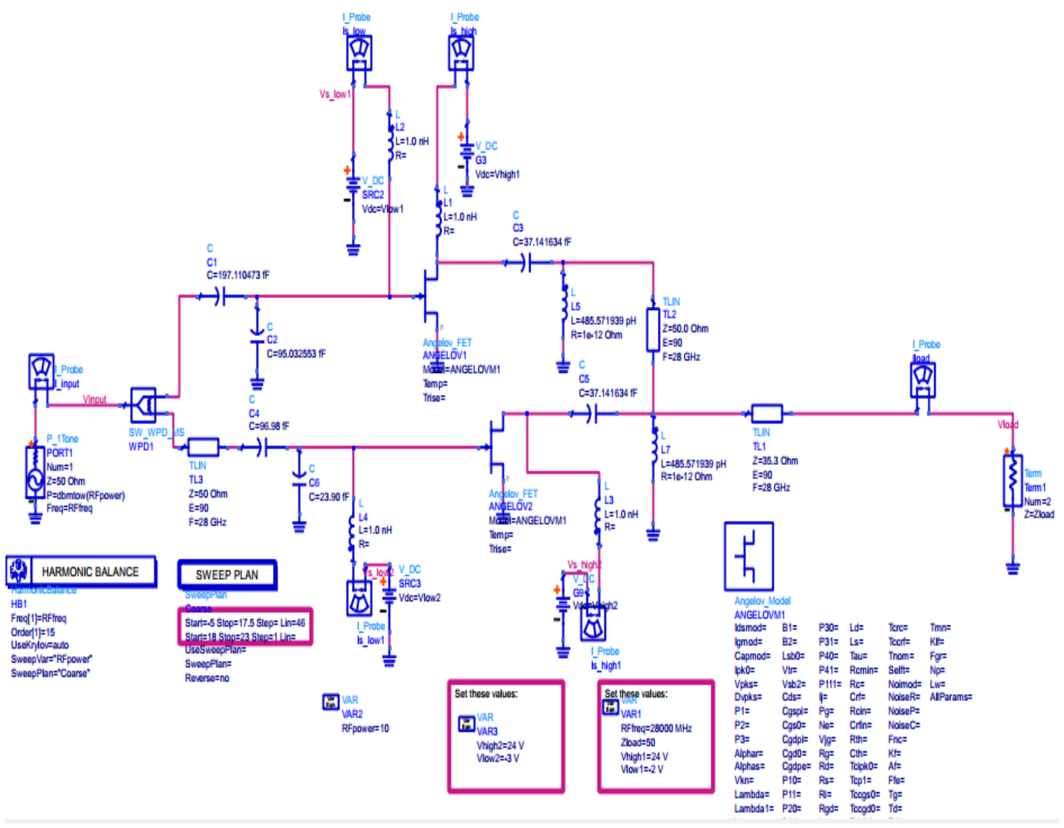
- **أهداف البحث:**

يهدف هذا البحث إلى تحسين كفاءة مكبرات الاستطاعة العاملة على الترددات الراديوية في الجيل الخامس وبالذات عند التردد 28GHz مع الحفاظ على مستوى جيد من علاقة الخطية بين إشارتي الدخل والخرج, إذ تُعدُّ مكبرات الاستطاعة المكون الإلكتروني الأساسي للمحطة القاعدية لأنها تهيمن على الجزء الأكبر من استهلاك الاستطاعة في النظام وتؤثر بشكل كبير على جودة الإشارة على الوصلة الهابطة ومن ثمّ، تشكل دراسة فعالية المكبرات الراديوية نقطة الاهتمام الأساسية في أنظمة الجيل الخامس؛ وفق الأمواج الميليمترية من أجل تحقيق كفاءة فعالة في مجال الاستطاعة والطيف، كما تشكل العلاقة بين استطاعة الخرج والفعالية تحدياً كبيراً بسبب نسبة PAPR العالية الناتجة عن استخدام تقنيتي تُعَدُّيل QAMوOFDM إضافة لمتطلبات عرض الحزمة العالية.

النتائج والمناقشة

تم تقديم تشكيلتين لمكبر دوهرتي أولهما هي التشكيلة التقليدية، والأخرى هي التشكيلة المبنية على أساس طبولوجيا Stacked–FET. تبيّن نتائج المحاكاة أنّ مكبر دوهرتي يعطي أداءً فعّالاً فيما يخص الكفاءة الأعظمية وكفاءة استطاعة 35% عند مستويات Back_Off 6 dB واستطاعة الخرج 30 dBm مع قيم ربح استطاعة مقبولة 11.6 dB، نستنتج من ذلك أنّ مكبر دوهرتي يعطي أداءً فعّالاً فيما يخص الكفاءة ولكنّه يُبدي مناعة أقل تجاه التشوه التوافقي وهذا يوافق تدهور غير مقبول في الخطيّة؛ مما يستدعي تعزيز الخطيّة.

	الكفاءة	استطاعة الخرج	درجة الخطيّة
مكبر DPA التقليدي الأول	%60	~30 dBm	سيئة
مكبر Stacked-FET DPA	%66	أكبر من 30 dBm	متوسطة
المكبر المتوازن؛ وفق الصنف AB	%22	26 dBm	جيدة
مكبر DPA التقليدي الثاني	%47	26.22 dBm	جيدة جداً



المراجع

[1] Nasri, A., Estebsari, M., Toofan, S., Piacibello, A., Pirola, M., Camarchia, V., & Ramella, C. (**2021**). Design of a Wideband Doherty Power Amplifier with High Efficiency for 5G Application.

[2] H. Xie, Y. J. Cheng and Y. Fan, "A Ka-Band Watt-Level High-Efficiency Integrated Doherty Power Amplifier in GaAs Technology," 2021 IEEE MTT-S International Microwave Workshop Series on Advanced Materials and Processes for RF and THz Applications (IMWS-AMP), **2021**, pp. 287-289, doi: 10.1109/IMWS-AMP53428.2021.9643881.

[3] N. Rostomyan, M. Özen and P. Asbeck, "A Ka-Band Asymmetric Dual Input CMOS SOI Doherty Power Amplifier with 25 dBm Output Power and High Back-Off Efficiency," 2019 IEEE Topical Conference on RF/Microwave Power Amplifiers for Radio and Wireless Applications (PAWR), **2019**, pp. 1-4, doi: 10.1109/PAWR.2019.8708739.

[4]Zhang, Z., Cheng, Z., Liu, G., Zhang, Z., & Cai, Y. (**2019**). Design of a broadband high-efficiency Doherty power amplifier for 5G communication systems. IEICE Electronics Express, 16(14), 20190371-20190371. doi: 10.1587/elex.16.20190371.

[5] D. Y. C. Lie , J. C. Mayeda, Y. Li, and J. Lopez, "A Review of 5G Power Amplifier Design at cm-Wave and mm-Wave Frequencies", Hindawi, Wireless Communications and Mobile Computing, Volume **2018** |Article ID 6793814 | https://doi.org/10.1155/2018/6793814.

[6] D.Y.C. Lie et al.,, Proc. IEEE Topics in RF/microwave Power Amplifiers (PAWR), pp. 15-17, Austin, Jan. 24-27 (2016)