جامعة دمشق
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية
قسم هندسة الالكترون والاتصالات
اختصاص هندسة اتصالات متقدمة

تطوير هوائيات عريضة الحزمة الترددية لتطبيقات سبر أعماق الأرض

Development of UWB Antennas for Ground Penetrating Radar Applications

إعداد المهندس: اسامه العلي

الدكتور المشرف: أ. د .عبد الرزاق البدوية الدكتور المشارك: أ. د. محمد الحريري

الملخص

تم في هذا البحث تطوير هوائي ربطة عنق جديد لتحقيق متطلبات تطبيقات سبر أعماق الأرض من خلال اقتراح التعديلات المناسبة باستخدام فعال لتقنية الوجهين المتعاكسين مع تصميم شبكة تغذية جديدة تمت تسميتها بالثغرة المدببة لتأمين التوافق بالممانعات، وتدوير زوايا الأذرع واستخدام الشقوق المثلثية لتقليل عامل الانعكاس وتحقيق المجال الترددي فائق العرض، وإضافة العاكس المستوي وعاكس القطع المكافئ لتعزيز الربح والاتجاهية نحو الأرض. تم تقديم النماذج الرياضية المناسبة لكل مرحلة وإجراء المحاكاة الحاسوبية، كما تم تصنيع الهوائيات وأظهرت النتائج تطابقاً جيداً بين نتائج المحاكاة والقياسات المخبرية.
تم بعد ذلك تقديم منهجية متكاملة لتحصيل إشارات A-scan وبناء الصورة الرادارية B-scan مع دراسة عدة سيناريوهات كشف لأهداف مختلفة تحت الأرض، كما أثبتت هذه المنهجية نجاحها في توليد الصورة الرادارية الناتجة عن قياسات واقعية باستخدام جهاز محلل الشبكات VNA مما يجعلها مناسبة لتقييم أداء الكشف لأي نوع من أنواع الهوائيات.

القسم النظري

- دراسة مرجعية للتعرف على الطرائق المستخدمة سابقاً في تصميم الهوائيات لتحقيق متطلبات تطبيقات سبر أعماق الأرض.
- دراسة الأساسيات النظرية لأنظمة سبر أعماق الأرض GPR وفهم مبدأ عملها ومتطلباتها والعوامل المؤثرة عليها.
- دراسة نظرية لتصميم هوائيات ربطة العنق Bowtie التقليدية مع نموذجين لشبكات التغذية المناسبة.
- اقتراح التعديلات على هوائي ربطة العنق لتحقيق متطلبات تطبيقات سبر أعماق الأرض مع تقديم النماذج الرياضية المناسبة لكل تعديل.
- دراسة نظرية لمنهجية تحصيل إشارات A-scan وبناء الصورة الرادارية B-scan.

النتائج والمناقشة

تم إجراء المحاكاة باستخدام برنامج CST Microwave Studio وتم إجراء القياسات المخبرية باستخدام مولد الإشارات الميكروية وجهاز محلل الشبكات VNA وجهاز محلل الطيف وتم استخلاص النتائج التالية:

- حقق النموذج الأفضل لهوائي ربطة العنق التقليدي عرض نسبي للمجال الترددي 38% بينما المطلوب قيمة أكبر من 100%.
- حقق استخدام تقنية الوجهين المتعاكسين تحويل خطوط النقل في شبكة التغذية من نوع Coplanar Stripline (CPS) إلى خطوط نقل مزدوجة الوجهين Double Sided Parallel Strip Line (DSPSL) مما جعل عملية تصميم شبكة التغذية أكثر سهولة وأمن العمل بحرية في تغيير أبعاد الخطوط ودمجها فوق بعضها فراغياً.
- حقق التصميم الجديد المقترح لشبكة التغذية باستخدام الثغرة المدببة Tapered Gap تعزيزاً لعرض المجال الترددي حيث أصبح 124% مع تحقيق التوافق بالممانعات على كامل المجال الترددي 1-4.29 GHz عند عامل انعكاس $S11 \geq -10$ dB.
- حقق تدوير زوايا الأذرع زيادة في عرض المجال الترددي فأصبح 1-5.24 GHz بعرض نسبي 135.9%.
- حقق استخدام الشقوق المثلثية كتحميل سعوي زيادة في عرض المجال الترددي فأصبح 1-5.45 GHz بعرض نسبي 138%.
- لم يستطع العاكس المستوي الخروج عن السلوك العام لربح الهوائي الأصلي بينما تمكن عاكس القطع المكافئ من توجيه الحزمة الإشعاعية باتجاه الأرض.
- حقق الهوائي الجديد بإضافة عاكس القطع المكافئ ربحاً قدره 16 dBi متفوقاً على العاكس المستوي الذي لم يتجاوز 8.25 dBi.
- حقق الهوائي الجديد بإضافة عاكس القطع المكافئ نسبة الإشعاع الأمامي إلى الخلفي 33.8 dB بينما كانت قيمتها مع العاكس المستوي 14 dB.
- نجحت المنهجية المقدمة اعتماداً على استخدام تحول فورييه المتقطع لعامل العبور S_{21} في تحصيل إشارات A-scan وبناء الصورة الرادارية B-scan مما سمح بتحديد دقيق لعمق الأهداف المكتشفة لعدة سيناريوهات كشف تمت دراستها، كما نجحت هذه المنهجية في التعامل مع قياسات عملية للبارامتر S_{21} باستخدام جهاز محلل الشبكات VNA مما جعلها أداة فعالة لتقييم أداء الكشف لأي نوع من أ نواع الهوائيات.

المراجع

[1] Travassos, X. L., Fernández Pantoja, M., & Ida, N. (2021). Ground penetrating radar: Improving sensing and imaging through numerical modeling. The Institution of Engineering and Technology.
[2] Nayak, R., & Maiti, S. (2019). A Review of Bow-Tie Antennas for GPR Applications. IETE Technical Review, 36(4), 382–397.
[3] Wu, Y., Shen, F., Yuan, Y., & Xu, D. (2019). An Improved Modified Universal Ultra-Wideband Antenna Designed for Step Frequency Continuous Wave Ground Penetrating Radar System. Sensors, 19(5), 1045.
[4] Awl, H. N., Abdulkarim, Y. I., Deng, L., Bakır, M., Muhammadsharif, F. F., Karaaslan, M., Unal, E., & Luo, H. (2020). Bandwidth Improvement in Bow-Tie Microstrip Antennas: The Effect of Substrate Type and Design Dimensions. Applied Sciences, 10(2), 504.
[5] Raza, A., Lin, W., Ishfaq, M. K., Inam, M., Masud, F., & Dahri, M. H. (2021). A Wideband Reflector-Backed Antenna for Applications in GPR. International Journal of Antennas and Propagation.
[6] Perotoni, M., Junior, C., & Santos, K. (2021). Conversion of Scattering Parameters to Time-Domain for Imaging Applications: Rules and Examples. Journal of Communication and Information Systems,