EasyChair Preprint

№ 7536

Development of Vivaldi Antenna Applied for Digital TV Systems

Yoita Charoeniri and Shalermchon Tangwachirapan

EasyChair preprints are intended for rapid dissemination of research results and are integrated with the rest of EasyChair.

March 12, 2022

บทความวิจัย
การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ครั้งที่ 14
14th *ECTI-CARD 2022, Lopburi Thailand*

การพัฒนาสายอากาศวิวอลดิสำหรับสำหรับประยุกต์ใช้งานในระบบทีวีดิจิทัล

DEVELOPMENT OF VIVALDI ANTENNA APPLIED FOR DIGITAL TV SYSTEMS

โยษิตา เจริญศิริ [1] เฉลิมชนม์ ตั้งวชิรพันธุ์ [2]

[1] สาขาอิเล็กทรอนิกส์สื่อสารและคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ yosita.cha@vru.ac.th

[2]สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม shalerm123@yahoo.co.th

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแบบวิวอลดิสำหรับประยุกต์ใช้งานในระบบทีวีดิจิทัล โดยออกแบบให้มีสายนำสัญญาณระนาบร่วม ซึ่งมีผลทำให้การแผ่พลังงานเป็นแบบชี้ทิศทาง และมีการสร้างบนแผ่นวงจรพิมพ์ชนิด FR-4 แบบมีอินพุทอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม ทำให้มีขนาดกะทัดรัด น้ำหนักเบา ง่ายต่อการสร้าง การติดตั้งและใช้งาน การสร้างสายอากาศ มีการใช้เทคนิคการเซาะร่องร่วมกับการทำแบบจำลองผล (Simulation) ด้วยโปรแกรม Computer Simulation Technology (CST) เพื่อให้ได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับสายอากาศ โดยใช้ย่านความถี่ 510 MHz – 790 MHz ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ เท่ากับ 50 โอห์ม ผลการจำลองและการวัดค่าสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss) พบว่ามีค่าน้อยกว่า -10 dB ตลอดย่านความถี่ 510 MHz – 790 MHz และมีอัตราขยายประมาณ 5 dB ดังนั้นสายอากาศนี้สามารถนำไปใช้งานในระบบทีวีดิจิทัลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ไมโครสตริป, สายอากาศวิวอลดิ, โทรทัศน์ระบบดิจิตอล

Abstract

This paper presents a Vivaldi microstrip antenna design for applying for digital TV systems. The Vivaldi microstrip antenna was designed by using a common plane signal cable, which resulted in the radiating of directional energy. And it is built on FR-4 printed circuit board, with 50-ohm input impedance, making it compact, lightweight, easy to build, install and operate. The building antenna used the Grooving technique, together with simulation by Computer Simulation Technology (CST) program to obtain the parameters suitable for the antenna, which equal to 50-ohm. The simulation results and the return loss measurements were less than -10 dB across the 510 MHz – 790 MHz bandwidth, and the gain value was about 5 dB. Therefore, this antenna design can be effectively used in digital TV systems.

Keywords: Microstrip, Vivaldi Antenna, Digital TV

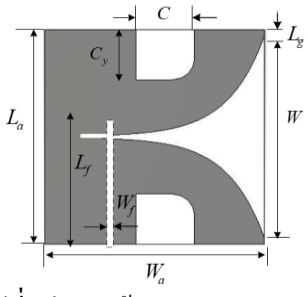
1. บทนำ

สายอากาศ ทำหน้าที่รับสัญญาณจากสถานีส่งเข้ามายังเครื่องรับในบ้าน สายอากาศแบ่งออกเป็น 2 ชนิดหลัก ชนิดแรกคือ สายอากาศภายนอกอาคาร (Outdoor antenna) หรือสายอากาศก้างปลา ซึ่งเป็นสายอากาศที่ดีที่สุดในการรับสัญญาณที่แรงกว่าการรับในบ้านแต่การติดตั้งยุ่งยาก ต้องมีความแข็งแรงต้องอาศัยช่างผู้ชำนาญในการติดตั้ง ชนิดที่สองคือสายอากาศภายในอาคาร (Indoor antenna) หรือ หนวดกุ้ง ซึ่งจะติดตั้งไว้ภายในบ้านใกล้ๆเครื่องรับโทรทัศน์ ถ้าบริเวณนั้นห่างไกลจากสถานีส่งมากสัญญาณมีระดับความแรงไม่เพียงพอก็จะไม่สามารถรับสัญญาณได้ กรณีนี้สามารถแก้ไขโดยให้ซื้อสายอากาศที่เป็นแบบ Active antenna ภายในอาคารแบบที่มีกระแสไฟเลี้ยง แต่ก็ยังไม่ครอบคลุม เพื่อขยายให้ระดับสัญญาณมีความแรงขึ้นเป็นการแก้ปัญหาดังกล่าว ดังนั้นงานวิจัยนี้ศึกษาและออกแบบสายอากาศวิวอลดิสำหรับการรับสัญญาณทีวีดิจิทัล ซึ่งสายอากาศวิวอลดิ (Vivaldi) เป็นสายอากาศที่ทำให้สามารถแพร่กระจายได้แบบระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane) และระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane) แบบชี้ทิศทาง [1] ทำให้มีอัตราการขยายสูงเมื่อเทียบกับสายอากาศแบบรอบทิศทาง และง่ายต่อการติดตั้งและใช้งานของผู้ใช้รับสัญญาณทีวี เพื่อให้ตอบสนองสัญญาณทีวีย่าน

ความถี่สูงยิ่ง (Ultra-High Frequency : UHF) ตามประกาศของ กสทช. กำหนดให้ระบบสัญญาณทีวีดิจิทัล ป้อนด้วยสัญญาณระนาบร่วมที่รองรับความถี่ 510 MHz – 790 MHz โดยใช้เทคนิคการปรับสายนำสัญญาณระนาบร่วม [2] และเพิ่มการเซาะร่อง [3] - [4] เพื่อทำการเพิ่มค่าของแบนด์วิดท์ เพื่อใช้งานครอบคลุมย่านความถี่ที่เราต้องการได้และส่วนของการจำลองแบบสายอากาศเพื่อทำการวิเคราะห์หาค่าความสูญเสียย้อนกลับของผลตอบสนองของค่าอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์และการกระจายคลื่นของสายอากาศ โดยผู้วิจัยจะเลือกใช้โปรแกรม Computer Simulation Technology (CST) เพื่อทำการออกแบบสายอากาศและหาค่าตัวแปรของที่เหมาะสมและได้สายอากาศที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด

2. โครงสร้างสายอากาศและผลการจำลอง

2.1 โครงสร้างสายอากาศ



รูปที่ 1 โครงสร้างสายอากาศวิวอลดิ

โครงสร้างสายอากาศไมโครสตริปแบบวิวอลดิสำหรับประยุกต์ใช้งานทีวีดิจิทัลแสดงดังรูปที่ 1 ประกอบด้วย ร่องเรียวที่เป็นส่วนโค้ง ที่ใช้ในการแผ่กระจายคลื่น (tapered slot radiation) ตัวป้อนสัญญาณ (Microstrip line) สร้างจากแผ่นวงจรพิมพ์ชนิด FR4 ที่มีค่าไดอิเล็กตริก (ε_r) 4.4 ความสูงบนฐานรองวัสดุ 1.6 ค่าสูญเสียแทนเจนต์ (Loss Tangent: δ) 0.035 ออกแบบโดยใช้ความถี่ 600 MHz ใช้ตัวป้อนสัญญาณแบบไมโครสตริป หลังจากทำการออกแบบค่าต่าง ๆ ของสายอากาศแล้วจะได้ ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบสายอากาศวิวอลดิแสดงดังตารางที่ 1 โดยที่ W_a, L_a คือขนาดความกว้างและความยาวของสายอากาศ คำนวณหาค่าได้จากสมการ (1)

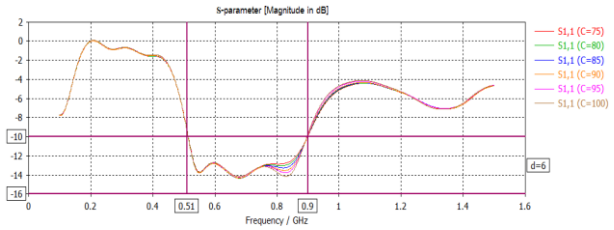
$$\lambda_g = \frac{c}{f\sqrt{\varepsilon_r}} \qquad (1)$$

ค่า W เป็นขนาดปลายช่องเปิดสำหรับแผ่กระจายคลื่นจากการศึกษาจะเห็นว่าสายอากาศวิวอลดิ จะให้การแผ่พลังงานได้มีประสิทธิคือภาพที่ดี และความกว้างของสายอากาศวิวอลดิมีค่ามากกว่าครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นที่ต่ำ $\left(W_a \geq \lambda_{\max}/2\right)$ ส่วนความยาวของสายอากาศจะต้องมีค่ามากกว่าความยาวคลื่นที่มีความถี่ต่ำ $\left(L_a \geq \lambda_{\max}\right)$ ค่า L_f, W_f เป็นขนาดความยาวและความกว้างของตัวป้อนสัญญาณ ค่า L_g คือค่าระยะห่างจากระนาบกราวด์ด้านหลังของสายอากาศมายังจุดปลายของร่อง ค่า L_sคือค่าความยาวของร่อง และค่า C ,C_y คือขนาดความกว้างและความยาวของร่องที่ทำการเซาะ หลังจากนั้นนำค่าพารามิเตอร์ที่ออกแบบมาจากตารางที่ 1 ทำการจำลองผลด้วยโปรแกรม CST เพื่อจำลองการสูญเสียย้อนกลับและค่าอัตราการขยายของสายอากาศ

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศวิวอลดิ

ค่าพารามิเตอร์	ความยาว (มม.)	ค่าพารามิเตอร์	ความยาว (มม.)
W_a	300	L_a	300
W	280	L_f	170
L	225	W_s	4
L_s	37.5	B	0.02
L_g	37.5	C_y	70
C	80	W_f	5

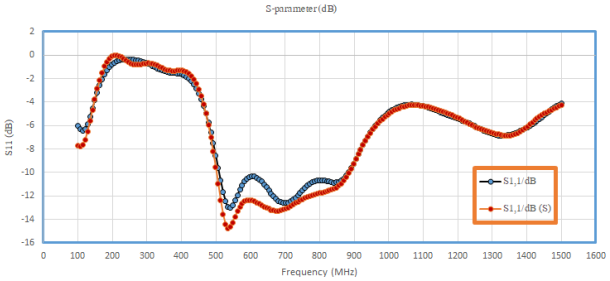
2.2 ผลการจำลองการทำงานของสายอากาศวิวอลดิ



รูปที่ 2 เปรียบเทียบค่าการสูญเสียย้อนกลับด้วยการปรับตำแหน่งการเซาะร่องค่า C

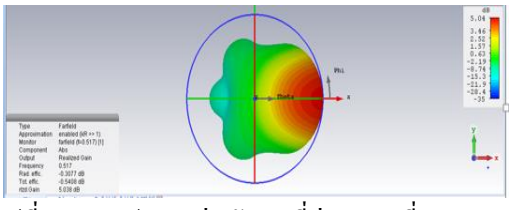
จากรูปที่ 2 เป็นการจำลองแบบของโครงสร้างสายอากาศวิวอลดิด้วยการปรับขนาดของการเซาะร่องโดยใช้โปรแกรม CST ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S_{11}) จะมีค่าต่ำกว่า -10 dB จะทำให้เห็นว่าการปรับความสูงของสายนำสัญญาณระนาบร่วมจะส่งผลทำให้มีค่ามากขึ้นจะได้ค่าที่ตอบสนองจะมีความถี่ลดลงจะส่งผลทำให้ได้ค่าความยาวของสายนำสัญญาณระนาบร่วมที่

เหมาะสมที่สุดคือ 170 mm. ช่วงความถี่ 510 – 790 MHz เมื่อทำการเซาะร่องค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ได้ดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับค่าสูญเสียย้อนกลับที่ยังไม่ได้เซาะร่อง แสดงดังรูปที่ 3

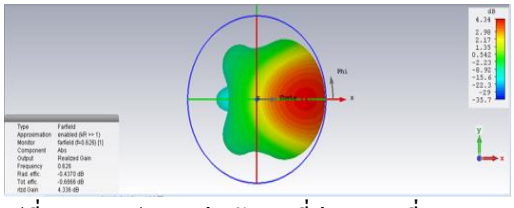


รูปที่ 3 เปรียบเทียบการจำลองผลสายอากาศที่ไม่ได้เซาะร่องของค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ

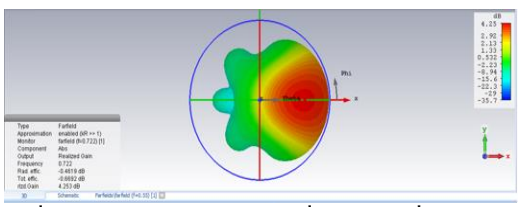
การจำลองแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศวิวอลดิแสดงดังรูปที่ 4-6 ที่ความถี่ 517 MHz, 626 MHz และ 722 MHz ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าผลการตอบสนองย่านความถี่ทีวีดิจิทัลตั้งแต่ 510 - 790 MHz สายอากาศวิวอลดิจะมีรูปแบบการแผ่พลังงานแบบสมมาตรมีการบิดเบี้ยวอยู่เพียงเล็กน้อย แต่ก็ยังคงให้การแผ่พลังงานแบบชี้ทิศทาง



รูปที่ 4 แบบรูปการแผ่พลังงานที่ช่วงความถี่ 517 MHz



รูปที่ 5 แบบรูปการแผ่พลังงานที่ช่วงความถี่ 626 MHz



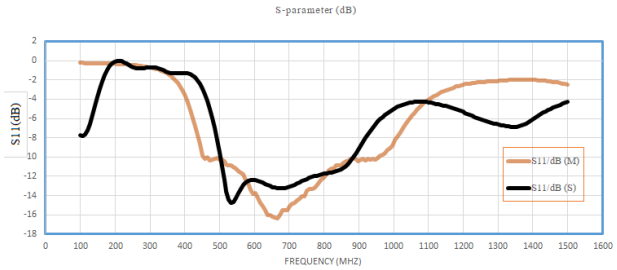
รูปที่ 6 แบบรูปการแผ่พลังงานที่ช่วงความถี่ 722 MHz

3. การวัดและทดสอบ

เมื่อทำการจำลองผล และทำการปรับพารามิเตอร์จนได้ค่าที่ดีเหมาะสมที่สุดนำมาสร้างเป็นสายอากาศวิวอลดิที่ถูกสร้างเป็นสายอากาศต้นแบบ ดังรูปที่ 7 ที่มีค่าสูญเสียย้อนกลับ S_{11} ต่ำกว่า -10 dB และสายอากาศมีแบบรูปพลังงานที่เป็นแบบชี้ทิศทาง ทำการวิเคราะห์ผลค่าสูญเสียย้อนกลับด้วยเครื่อง Network analyzer รุ่น E5071C ได้และนำมาเปรียบเทียบจากการจำลองผล แสดงผลดังรูปที่ 8

ก.ด้านหน้า ข.ด้านหลัง

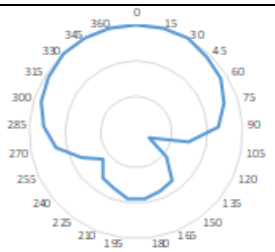
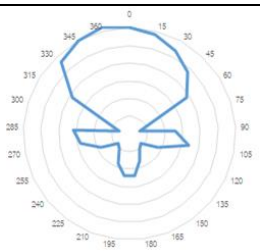
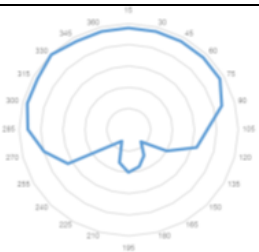
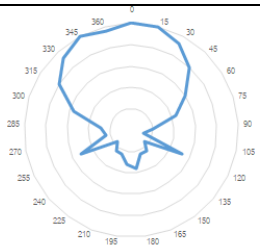
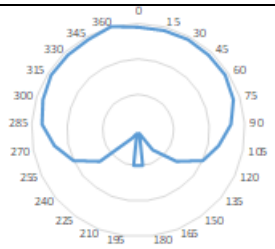
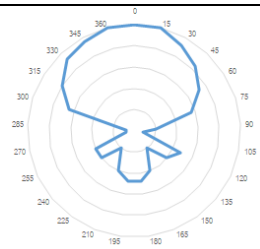
รูปที่ 7 สายอากาศต้นแบบ



รูปที่ 8 เปรียบเทียบค่าสูญเสียย้อนกลับสายอากาศจากการจำลองผลกับผลวัดจริง

จากรูปที่ 9 แสดงการวัดและทดสอบสายอากาศวิวอลดิต่อเข้ากับอุปกรณ์ทีวีดิจิทัล หลังจากนั้นทำการวัดค่าแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบ E-plane และ H-plane ที่ความถี่ 517 MHz, 626 MHz และ 722 MHz จะเห็นได้ว่าสายอากาศมีแบบรูปการแผ่พลังงานงานแบบชี้ทิศทางดังแสดงรูปที่ 10 การทดสอบการใช้งานจริงของสายอากาศต่อเข้ากับอุปกรณ์ทีวีดิจิทัลนั้น จะได้ผลการทดสอบภายในอาคารโดยใช้งานจริง ผลจากการทดสอบคุณภาพของการรับสัญญาณดูได้จากหน้าจอทีวี โดยใช้สายอากาศที่เป็นต้นแบบสำหรับสถานีช่องทีวีดิจิตอลจำนวน 10 ช่อง ดังแสดงตารางที่ 2

รูปที่ 9 การวัดและทดสอบสายอากาศ

ระนาบ E-Plane	ระนาบ H-Plane
	
ก. 517 MHz	ง. 517 MHz
	
ข. 626 MHz	จ. 626 MHz
	
ค. 722 MHz	ฉ. 722 MHz

รูปที่ 10 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศต้นแบบ

ตารางที่ 2 คุณภาพของสัญญาณทีวีดิจิทัลสายอากาศวิวอลดิ

ช่องทีวีดิจิทัล	ความแรงของสัญญาณ (%)	ช่องทีวีดิจิทัล	ความแรงของสัญญาณ(%)
TV5 HD	100	Workpoint	93
NBT HD	54	True4U	93
ThaiPBS	100	CH8	100
3 Family	100	3 SD	100
TNN24	100	ONE HD	98

4. อภิปราย

การออกแบบและการวัดคุณสมบัติของสายอากาศไมโครสตริปแบบวิวอลดิ ค่าการสูญเสียย้อนกลับ $S_{11} \leq -10$ dB ซึ่งในส่วนของการออกแบบนั้นจะได้สายอากาศต้นแบบ จะเห็นได้ว่าค่าแบนด์วิดท์ที่ช่วงความถี่ 510-790 MHZ จะได้รับการตอบสนองได้ในช่วงความถี่ที่ใช้งานซึ่งจะได้อยู่ในค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S_{11}) รูปแบบการแผ่กระจายคลื่นของระนาบสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าที่ช่วงความถี่ที่ 510 – 790 MHz ของสายอากาศต้นแบบ เป็นรูปแบบการแผ่พลังงานนั้นแบบชี้ทิศทาง ทำให้สายอากาศมีอัตราการขยายประมาณ 5 dB ตลอดย่านความถี่

เอกสารอ้างอิง

[1] A. Bayani, K. Rajakopal, A.J.M. Klalaf, S. Jafari, G.D. Leutcho and J. Kengne, “Dynamical analysis of a new multistable chaotic system with hidden attractor: Antimonotonicity, coexisting multiple attractors, and offset boosting,” Physics Letters A, vol.383, pp.1450-1456, 2019.

[2] ณัฐพร พรสวัสดิ์ ณัฐภัทร สมบูรณ์สุข ดลวัฒน์ ฉวิพันธ์ และพิพัฒน์ พรหมมี “นาฬิกาข้อมือสำหรับช่วยเหลือผู้สูงอายุ” งานประชุมวิชาการระดับชาติ ECTI-CARD 2019 ครั้งที่ 11, 4 - 7 มิถุนายน, ปี 2562.

[3] M. Crawford, *Catching the Sun*, American Society of Mechanical Engineers, Feb. 2013. Accessed on: Nov. 2, 2017. [Online].

[4] F. Lei , Z. Li , L. Luo, H. Zhang and Y. Yang, “A Novel Monopole Antenna for Digital Television Receiving Application,” IEEE International on Symposium Propagation & EM Theory (ISAPE 10th), pp. 163-166, 2012.

นางโยษิตา เจริญศิริ สาขาอิเล็กทรอนิกส์สื่อสารและคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ สนใจงานวิจัย ด้านสายอากาศ

นายเฉลิมชนม์ ตั้งวชิรพันธุ์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม สนใจในงานวิจัย ด้านสายอากาศ