

การพัฒนาสายอากาศวีวอลดิสำหรับสำหรับประยุกต์ใช้งานในระบบทีวีดิจิทัล

Development of Vivaldi Antenna Applied for Digital TV System

โยษิตา เจริญศิริ* และ เฉลิมชนม์ ตั้งวัชรพันธุ์

สาขาอิเล็กทรอนิกส์สื่อสารและ
คอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยี
อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏ
วไลยอลงกรณ์
* ผู้รับผิดชอบบทความ
yosita.cha@vru.ac.th

Received: 17 Dec 2021
Revised: 21 Mar 2022
Accepted: 30 Apr 2022

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแบบวีวอลดิสำหรับประยุกต์ใช้งานในระบบทีวีดิจิทัล โดยออกแบบให้มีสายนำสัญญาณระนาบร่วม ซึ่งมีผลทำให้การแผ่พลังงานเป็นแบบชี้ทิศทาง และมีการสร้างบนแผ่นวงจรพิมพ์ชนิด FR-4 แบบมีอินพุตอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม ทำให้มีขนาดกะทัดรัด น้ำหนักเบา ง่ายต่อการสร้าง การติดตั้ง และใช้งาน การสร้างสายอากาศ มีการใช้เทคนิคการเพาะร่องร่วมกับการทำแบบจำลองผล (Simulation) ด้วยโปรแกรม Computer Simulation Technology (CST) เพื่อให้ได้ค่า พารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับสายอากาศ โดยใช้ย่านความถี่ 510 MHz – 790 MHz ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ เท่ากับ 50 โอห์ม ผลการจำลองและการวัดค่าสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss) พบว่า มีค่าน้อยกว่า -10 dB ตลอดย่านความถี่ 510 MHz – 790 MHz และมีอัตราขยายประมาณ 5 dB ดังนั้นสายอากาศนี้สามารถนำไปใช้งานในระบบทีวีดิจิทัลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ไมโครสตริป สายอากาศวีวอลดิ โทรศัพท์ระบบดิจิทัล

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) หรือ

สายอากาศก้างปลา ซึ่งเป็นสายอากาศที่ดีที่สุดในการรับสัญญาณที่แรงกว่าการรับในบ้านแต่การติดตั้งยุ่งยาก ต้องมีความแข็งแรงต้องอาศัยช่างผู้ชำนาญในการติดตั้ง ชนิดที่สองคือสายอากาศภายในอาคาร (Indoor antenna) หรือ หนวดกุ้ง ซึ่งจะติดตั้งไว้ภายในบ้านใกล้ ๆ เครื่องรับโทรทัศน์ ถ้าบริเวณนั้นห่างไกลจากสถานีส่งมากสัญญาณมีระดับความแรงไม่เพียงพอที่จะไม่สามารถรับสัญญาณได้ กรณีนี้สามารถแก้ไขโดยให้ซื้อสายอากาศที่เป็นแบบ Active antenna ภายในอาคารแบบที่มีกระแสไฟเลี้ยง แต่ก็ยังไม่ครอบคลุม เพื่อขยายให้ระดับสัญญาณมีความแรงขึ้นเป็นการแก้ปัญหาดังกล่าว ดังนั้นงานวิจัยนี้ศึกษาและออกแบบสายอากาศวีวอลดีสำหรับการรับสัญญาณทีวีดิจิทัล ซึ่งสายอากาศวีวอลดี (Vivaldi) เป็นสายอากาศที่ทำให้สามารถแพร่กระจายได้แบบระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane) และระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane) แบบชี้ทิศทาง [1] ทำให้มีอัตราการขยายสูงเมื่อเทียบกับสายอากาศแบบรอบทิศทาง และง่ายต่อการติดตั้งและใช้งานของผู้ใช้รับสัญญาณทีวี เพื่อให้ตอบสนองสัญญาณทีวีย่านความถี่สูงยิ่ง (Ultra-High Frequency : UHF) ตามประกาศของ กสทช. กำหนดให้ระบบสัญญาณทีวีดิจิทัลบroadด้วยสัญญาณระนาบร่วมที่รองรับความถี่ 510 MHz – 790 MHz โดยใช้เทคนิคการปรับสายนนำสัญญาณระนาบร่วม [2] และเพิ่มการขยายช่อง [3-4] เพื่อทำการเพิ่มค่าของแบนด์วิดท์ เพื่อใช้งานครอบคลุมย่านความถี่ที่เราต้องการได้และส่วนของการจำลองแบบสายอากาศเพื่อทำการวิเคราะห์หาค่าความสูญเสียย้อนกลับของผลตอบสนองของค่าอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์และการกระจายคลื่นของสายอากาศ โดยผู้วิจัยจะเลือกใช้โปรแกรม Computer Simulation Technology (CST) เพื่อทำการออกแบบสายอากาศและหาค่าตัวแปรของที่เหมาะสมและได้สายอากาศที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด

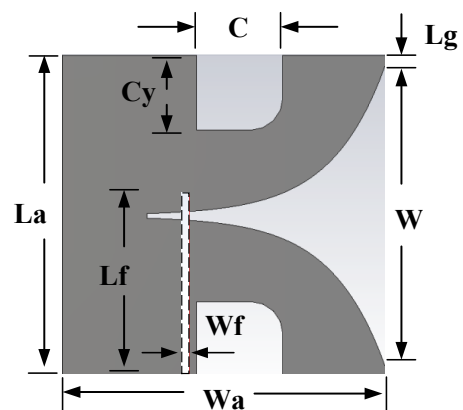
2. โครงสร้างสายอากาศและผลการจำลอง

2.1 โครงสร้างสายอากาศ

โครงสร้างสายอากาศไมโครสตริบแบบวีวอลดีสำหรับประยุกต์ใช้งานทีวีดิจิทัลแสดงดังรูปที่ 1 ประกอบด้วย ร่องเรียวที่เป็นส่วนโค้ง ที่ใช้ในการแผ่กระจายคลื่น (tapered slot radiation) ตัวบroadสัญญาณ (Microstrip line) สร้างจากแผ่นวงจรพิมพ์ชนิด

FR4 ที่มีค่าไดอิเล็กตริก (ϵ_r) 4.4 ความสูงบนฐานรองวัสดุ 1.6 ค่าสูญเสียแทนเจนต์ (Loss Tangent: δ) 0.035 ออกแบบโดยใช้ความถี่ 600 MHz ใช้ตัวบroadสัญญาณแบบไมโครสตริบ หลังจากทำการออกแบบค่าต่าง ๆ ของสายอากาศแล้วจะได้ ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบ [5-6] สายอากาศวีวอลดีแสดงดังตารางที่ 1 โดยที่ W_a , L_a คือขนาดความกว้างและความยาวของสายอากาศคำนวณหาค่าได้จากสมการ (1)

$$\lambda_g = \frac{c}{f\sqrt{\epsilon_r}} \quad (1)$$



รูปที่ 1 โครงสร้างสายอากาศวีวอลดี

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศวีวอลดี

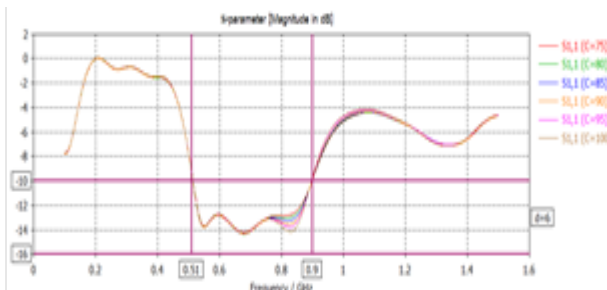
ค่าพารามิเตอร์	ความยาว (มม.)	ค่าพารามิเตอร์	ความยาว (มม.)
W_a	300	L_a	300
W	225	L_f	170
L_g	37.5	C_y	70
C	80	W_f	5

ค่า W เป็นขนาดปลายช่องเปิดสำหรับแผ่กระจายคลื่นจากการศึกษาจะเห็นว่าสายอากาศวีวอลดี จะให้การแผ่พลังงานได้มีประสิทธิภาพที่ดี และความกว้างของสายอากาศวีวอลดีมีค่ามากกว่าครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นที่ต่ำ ($W_a \geq \lambda_{\max}/2$) ส่วนความยาวของสายอากาศจะต้องมีค่ามากกว่าความยาวคลื่นที่มีความถี่ต่ำ ($L_a \geq \lambda_{\max}$) ค่า L_f , W_f เป็นขนาดความยาวและ

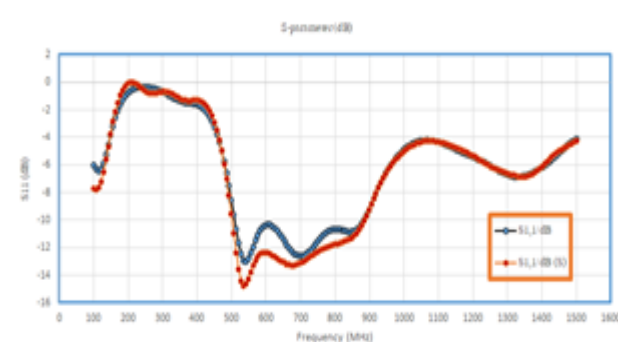
ความกว้างของตัวป้อนสัญญาณค่า L_g คือค่าระยะห่างจากกระนาบกราวด์ด้านหลังของสายอากาศมายังจุดปลายของร่อง [7] ค่า L_g คือค่าความยาวของร่อง และค่า C , C_y คือขนาดความกว้างและความยาวของร่องที่ทำการเจาะ หลังจากนั้นนำค่าพารามิเตอร์ที่ออกแบบมาจากตารางที่ 1 ทำการจำลองผลด้วยโปรแกรม CST เพื่อจำลองการสูญเสียย้อนกลับและค่าอัตราขยายของสายอากาศ

2.2 ผลการจำลองการทำงานของสายอากาศวิวอลติ

จากรูปที่ 2 เป็นการจำลองแบบของโครงสร้างสายอากาศ วิวอลติ ด้วยการปรับขนาดของการเจาะร่องโดยใช้โปรแกรม CST ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S_{11}) จะมีค่าต่ำกว่า -10 dB จะทำให้เห็นว่าการปรับความสูงของสายนำสัญญาณระนาบร่วมจะส่งผลทำให้มีค่ามากขึ้นจะได้ค่าที่ตอบสนองจะมีความถี่ลดลง จะส่งผลทำให้ได้ค่าความยาวของสายนำสัญญาณระนาบร่วมที่เหมาะสมที่สุดคือ 170 mm. ช่วงความถี่ 510 – 790 MHz เมื่อทำการเจาะร่อง [8-9] ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ได้ดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับค่าสูญเสียย้อนกลับที่ยังไม่ได้เจาะร่อง แสดงดังรูปที่ 3

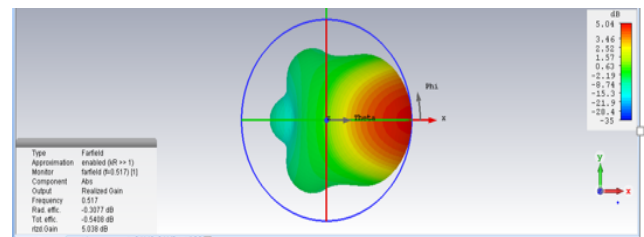


รูปที่ 2 เปรียบเทียบค่าการสูญเสียย้อนกลับด้วยการปรับตำแหน่งการเจาะร่องค่า C

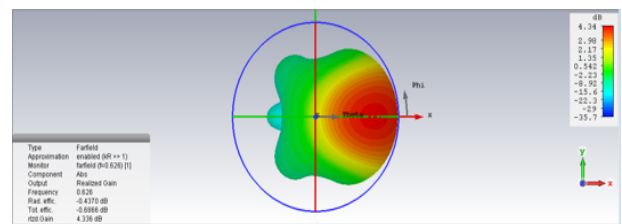


รูปที่ 3 เปรียบเทียบการจำลองผลสายอากาศที่ไม่ได้เจาะร่องของค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ

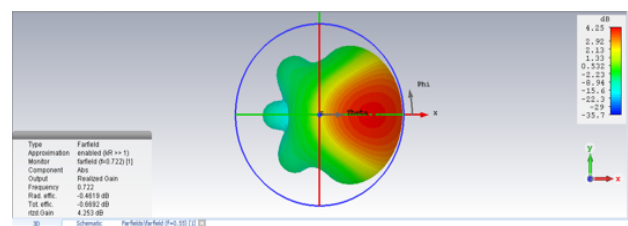
การจำลองแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศวิวอลติ โดยใช้โปรแกรม Computer Simulation Technology (CST) แสดงดังรูปที่ 4-6 ที่ความถี่ 517 MHz, 626 MHz และ 722 MHz ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าผลการตอบสนองย่านความถี่ที่วัดได้ตั้งแต่ 510 – 790 MHz สายอากาศวิวอลติจะมีรูปแบบการแผ่พลังงานแบบสมมาตร [10] มีการบิดเบี้ยวอยู่เพียงเล็กน้อย แต่ก็ยังคงให้การแผ่พลังงานแบบชี้ทิศทาง



รูปที่ 4 แบบรูปการแผ่พลังงานในช่วงความถี่ 517 MHz



รูปที่ 5 แบบรูปการแผ่พลังงานในช่วงความถี่ 626 MHz



รูปที่ 6 แบบรูปการแผ่พลังงานในช่วงความถี่ 722 MHz

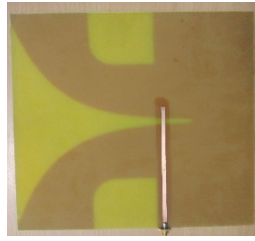
3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เมื่อทำการจำลองผล และทำการปรับพารามิเตอร์จนได้ค่าที่เหมาะสมที่สุดนำมาสร้างเป็นสายอากาศวิวอลติที่ถูกสร้างเป็นสายอากาศต้นแบบ ดังรูปที่ 7 ที่มีค่าสูญเสียย้อนกลับ S_{11} ต่ำกว่า -10 dB และสายอากาศมีแบบรูปพลังงานที่ได้เป็นแบบชี้ทิศทาง จากนั้นทำการวัดค่าและวิเคราะห์ผลค่าสูญเสียย้อนกลับด้วย

เครื่อง Network Analyzer รุ่น E5071C ได้และนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลการจำลองผล แสดงผลดังรูปที่ 8

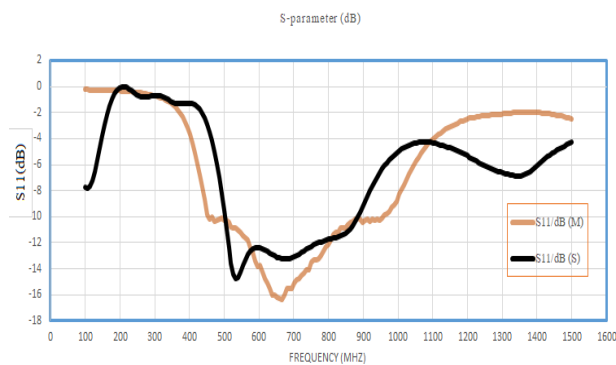


(ก) ด้านหน้า



(ข) ด้านหลัง

รูปที่ 7 สายอากาศต้นแบบ



รูปที่ 8 เปรียบเทียบค่าสูญเสียย้อนกลับสายอากาศจากการจำลองผลกับผลวัดจริง

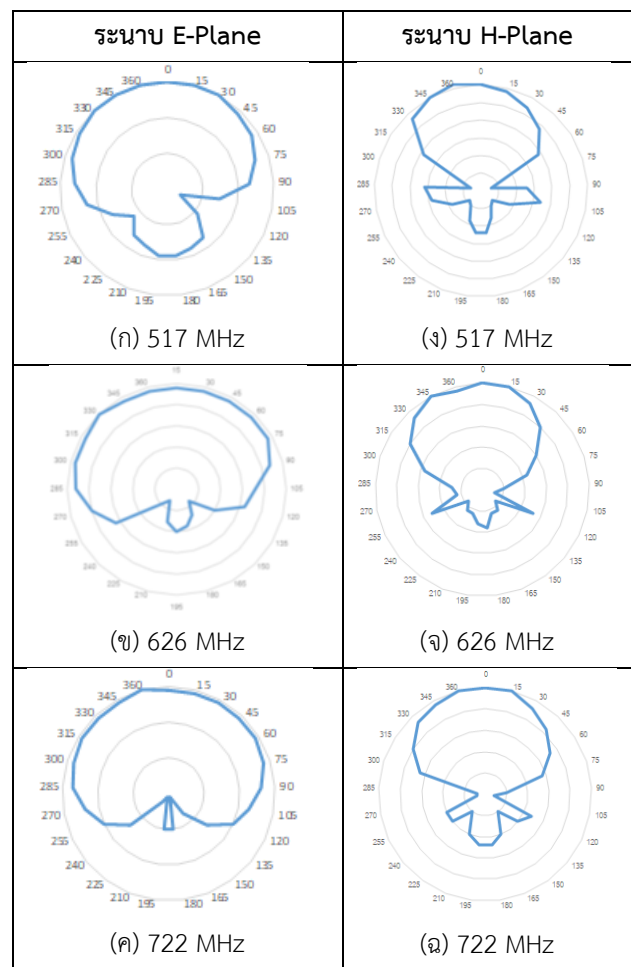


รูปที่ 9 การวัดและทดสอบสายอากาศ

จากรูปที่ 9 แสดงการวัดและทดสอบสายอากาศวิวลติต่อเข้ากับอุปกรณ์ทีวีดิจิทัล เพื่อทดสอบการรับสัญญาณ หลังจากนั้นทำการวัดค่าแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบ E-plane และ H-plane ที่ความถี่ 517 MHz, 626 MHz และ 722 MHz ตามลำดับ

ตารางที่ 2 คุณภาพของสัญญาณทีวีดิจิทัลสายอากาศวิวลติ

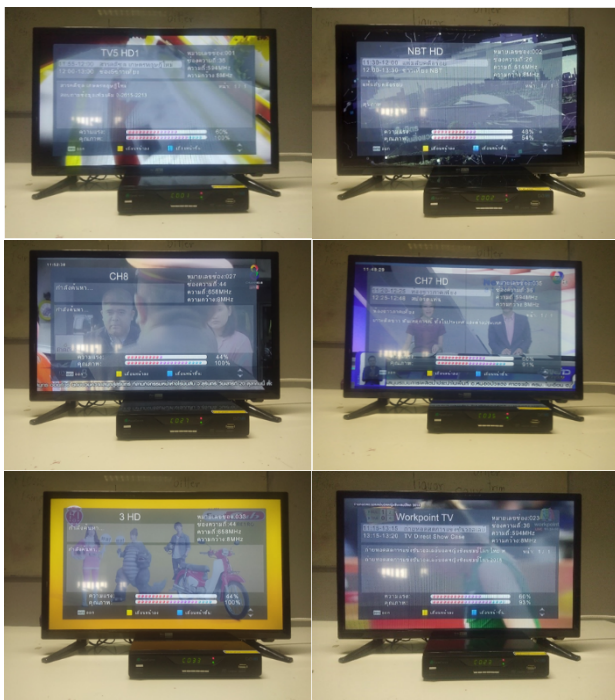
ช่องทีวีดิจิทัล	ความแรงของสัญญาณ (%)	ช่องทีวีดิจิทัล	ความแรงของสัญญาณ (%)
TV5 HD	100	Workpoint	93
NBT HD	54	True4U	93
ThaiPBS	100	CH8	100
3 Family	100	3 SD	100
TNN24	100	ONE HD	98
3 HD	100	7 HD	100



รูปที่ 10 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศต้นแบบ

จากผลการวัดจะเห็นว่า สายอากาศมีแบบรูปการแผ่พลังงานแบบขี้นทิศทางดังแสดงรูปที่ 10 การทดสอบการใช้งานจริงของสายอากาศต่อเข้ากับอุปกรณ์ทีวีดิจิทัลนั้น จะได้ผล

การทดสอบภายในอาคารโดยใช้งานจริง ผลจากการทดสอบคุณภาพของการรับสัญญาณได้จากหน้าจอทีวี โดยใช้สายอากาศที่เป็นต้นแบบ ซึ่งสามารถใช้งานได้จริง สำหรับสถานีช่องทีวีดิจิทัลจำนวน 12 ช่องแสดงคุณภาพของการรับสัญญาณทีวีดิจิทัลของสายอากาศวิวลติ แสดงดังตารางที่ 2 ตัวอย่างผลการทดสอบของสัญญาณแสดงดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 ผลการทดสอบการรับของสัญญาณทีวีดิจิทัล

4. วิธีดำเนินการ

การออกแบบและการวัดคุณสมบัติของสายอากาศไมโครสตริปแบบวิวลติ ค่าการสูญเสียย้อนกลับ dB ซึ่งในส่วนของการออกแบบนั้นจะได้สายอากาศต้นแบบ จะเห็นได้ว่าค่าแบนด์วิดท์ที่ช่วงความถี่ 510-790 MHz จะได้รับการตอบสนองได้ในช่วงความถี่ที่ใช้งานซึ่งจะได้อยู่ในค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S11) รูปแบบการแผ่กระจายคลื่นของระนาบสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าที่ช่วงความถี่ที่ 510 – 790 MHz ของสายอากาศต้นแบบ เป็นรูปแบบการแผ่พลังงานนั้นแบบชี้ทิศทาง ทำให้สายอากาศมีอัตราการขยายประมาณ 5 dB ตลอดย่านความถี่

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่ให้การสนับสนุนห้องปฏิบัติการ RF & Radio Frequency and Antenna มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

6. 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] อนุรักษ์ พรสวัสดิ์ อนุรักษ์ สมบูรณ์สุข ดลวัฒน์ ฌวิพันธ์ 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.
- [5] R. Janaswamy and D. H. Schaubert, "Analysis of the Tapered Slot Antenna", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. AP-35, No. 9, 1987.
- [6] P. J. Gibson, "The Vivaldi aerial", 9th Europ. Microwave Conf., pp. 101-105, 1979.
- [7] D. Lee, H. Yang, and Y. Cho, "Design and analysis of tapered slot antenna with 3.5/5.5 GHz band-notched characteristics," Prog. Electromagnet. Res. B, vol. 56, pp. 347-363, 2013.

- [8] Y. Charoensiri, W. Thairrot and P. Akkaraekthalin, "Design of Ultra-wideband Tapered slot Antenna by Using Binomial Transformer with Corrugation", Frequenz Journal. ISSN (Online) 2191-6349, ISSN (Print) 0016-1136, January 2017
- [9] M. E. Bialkowski and W. Yifan, "A size-reduced exponentially tapered slot antenna with corrugations for directivity improvement," Microw. Conf., pp. 2482–2485, 2009.
- [10] R. Janaswamy, "Radiation Pattern Analysis of the Tapered slot Antenna", Ph.D. dissertation, Univ. Massachusetts, UA, 1986