

สายอากาศห้องปีดร่องสี่เหลี่ยมผืนผ้าร้านร่วมที่มีการปรับจูนสตั้นรูปขากรงสำหรับประยุกต์ใช้ งานย่านความถี่แอบกว้างยิ่ง

CTW-fed Rectangular slot antenna with antler-shape stub tuning for UWB application

วีรศักดิ์ นาภารักษ์คำ* วัชรพล นาคทอง¹ และ อรุณัย เรืองวารี²

*ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

²ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ท. รังสิต-นครนายก ต.คลองหก อ.สูงวู่ จังหวัดปทุมธานี 12110 โทรศัพท์: 0-2549-4620, 086-6060555

E-mail: weerasuk_k@hotmail.com, oachi525@gmail.com, amnoiy.r@enrmutt.ac.th

CM027

1. ค่าดำเนินการ

งานวิจัยนี้เสนอการออกแบบสายอากาศห้องปีดร่องสี่เหลี่ยมผืนผ้าร่วมที่มีการปรับจูนสตั้นรูปขากรงสำหรับประยุกต์ใช้งานย่าน
ดูดกว้างยิ่ง โดยใช้เทคนิคบริการเข้าร่องการเพิ่มสตั้นรูปด้วยไอโอ และการเพิ่มสตั้นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าร่วมกับโปรแกรม(Computer on Technology:CST) เพื่อปรับค่าอิมพีเดนซ์แบบทวิคท์ ให้มีการใช้งานย่านความถี่แอบกว้างยิ่ง (Ultra-wideband:UWB) ให้หน่วยงาน (Federal Communications Commission:FCC) ที่ระบุไว้ใน 3.1 - 10.6 GHz. โดยใช้ในการออกแบบและวิเคราะห์สตั้นแบบ เพื่อกำหนดขนาดของสตั้นรูปขากรงที่เหมาะสม สร้างข้อดีเมื่อเปรียบเทียบกับผลจากการวัดจริง พบว่ามีไปในทางเดียวกันและค่าอิมพีเดนซ์แบบทวิคท์ครอบคลุม การนวนความถี่แอบกว้างยิ่งที่ต้องการ โดยมีค่า 161.37% (1.38 - 12.91 GHz)

การติดต่อสื่อสารไร้สายย่านความถี่แอบกว้างยิ่ง UWB เป็นรูปแบบของการสื่อสารระยะสั้นที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีขนาดของแบนด์วิคท์ที่กว้าง เหมาะสำหรับการสื่อสารข้อมูลความเร็วสูงและมีขนาดใหญ่ยิ่ง นักคณิตศาสตร์ [1] การสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล (Personal Area Network) [2] ที่ถูกกำหนดโดย FCC มาตรฐาน IEEE 802.15.3a โดยย่านความถี่อยู่ที่ 3.1 - 10.6 GHz ที่มีแบนด์วิคท์กว้าง เกินกว่าเส้น -10dB มากกว่า 20% หรือมีแบนด์วิคท์ที่จำแนกมากกว่า 500MHz [3-5] จึงทำให้มีการศึกษาวิจัยและพัฒนาสายอากาศในรูปแบบดังๆ ให้ตอบสนองเทคโนโลยีของการสื่อสาร ให้พื้นที่มีขนาดกว้างยิ่ง แต่ยังพบว่าขนาดของสายอากาศยังมีขนาดใหญ่ [6-7] และส่วนสายอากาศที่มีขนาดเล็กแต่มีโครงสร้างชั้นขั้นเรื่อยมีจุดปรับจูนมากที่ตัวสายอากาศและ ใช้แผ่นวงจรพิมพ์ที่มีความหนาแน่นและบางโครงสร้างรูปไข่แผ่นวงจรพิมพ์ชนิด 2 หน้าเท่านั้น [8-10] จากที่กล่าวมา ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาการปรับโครงสร้างออกแบบสายอากาศห้องปีดร่องสี่เหลี่ยมผืนผ้าร่วมที่มีการปรับจูนสตั้นรูปขากรงสำหรับประยุกต์ใช้งานย่านความถี่แอบกว้างยิ่งเป็นการพัฒนาโครงสร้างสายอากาศรูปแบบใหม่ โดยใช้เทคนิคการเพิ่มสตั้นสตั้นรูปด้วยไอโอแนวตั้ง [11] ร่วมกับการเข้าร่อง [7] เพื่อปรับค่าอิมพีเดนซ์แบบทวิคท์ให้ครอบคลุมย่านความถี่ที่ต้องการ ในส่วนการศึกษาใช้วิธีการจำลองผลแบบโครงสร้างสายอากาศด้วยโปรแกรม CST เพื่อปรับค่า พารามิเตอร์ดังๆ ให้สายอากาศดีไซน์แบบมีขนาดเล็กและมีประสิทธิภาพดีที่สุด

2. โครงสร้างและหลักการออกแบบ

2.1 โครงสร้างของสายอากาศ

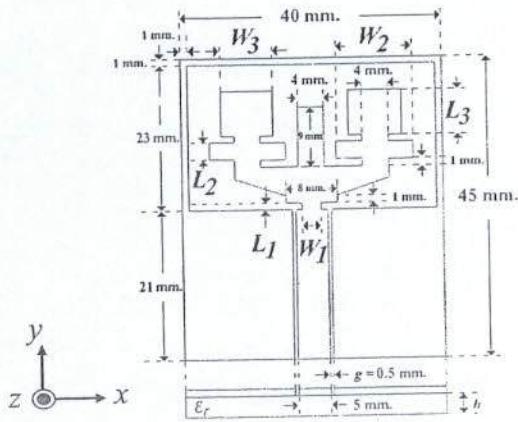
โครงสร้างสายอากาศห้องปีดร่องสี่เหลี่ยมผืนผ้าร่วมที่มีการปรับจูนสตั้นรูปขากรงและวิเคราะห์ โดยใช้วิธีเชิงประสมการ (Empirical Method) ร่วมกับโปรแกรม CST เพื่อให้ได้ขนาดโครงสร้างที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) ตัวสายอากาศดีไซน์แบบถูกสร้างบนแผ่นวงจรพิมพ์ที่มีวัสดุฐานรองชนิด FR4 มีค่าคงตัวไอโอเล็กซ์

: เสาอากาศ เสาอากาศร่อง เพิ่มสตั้น อิมพีเดนซ์แบบทวิคท์ กว้างยิ่ง

This research presents the Rectangular slot antenna with CTW-antler-shape stub tuning for UWB application. By using additional all-1-shape slot making and adding rectangular stub with Computer ion Technology: CST program to adjust the impedance bandwidth : all the using of Ultra-wideband: UWB according to the requirement of the Federal Communications Commission: FCC with the frequencies range between 3.1 - 10.6 GHz. By using in the antenna design to calculate for the proper size of antler-shape stub. The result when comparing with the real measurement tends to be in line direction and the impedance bandwidth value covered B: 161.37% (1.38 - 12.91GHz.)

Keywords: antler, slot, stub adding, impedance bandwidth, UWB

คริค (ε) เท่ากับ 4.3 มีค่าความหนาของแผ่น (h) เท่ากับ 0.764 mm. และด้วยสายอากาศมีขนาดเท่ากับ $40 \times 45 \text{ mm}^2$ ในส่วนของการปรับรักษาอินพุตเดนซ์เพื่อลดค่าความสูญเสียเนื่องจากการข้อนกลับ (S_{II}) และแบบทวิภาคที่ของสายอากาศให้กว้างขึ้นอีก 1.5 mm. สำหรับค่าความสูญเสียของวัสดุคือ $\epsilon_r = 1.0$ และค่าพารามิเตอร์ของปีร์อองส์เหลี่ยมคือ $g = 0.5 \text{ mm}$. แสดงในรูปที่ 1.

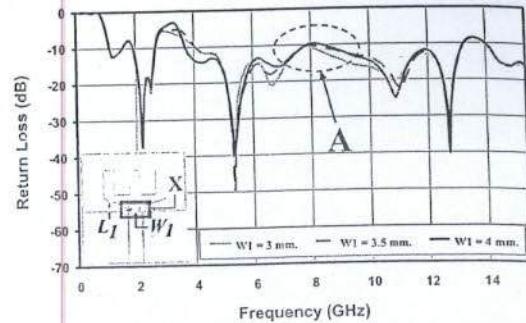


รูปที่ 1 โครงสร้างของสายอากาศ

2.2 ผลการวิเคราะห์การจำลองแบบ

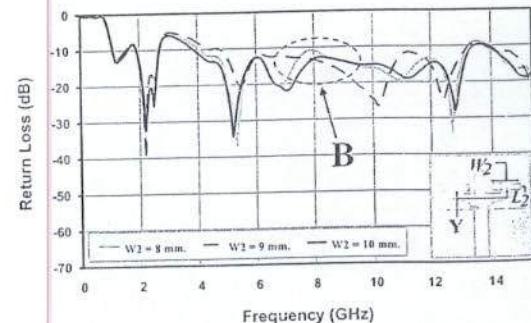
จากโครงสร้างของสายอากาศดังรูปที่ 1 ทำการวิเคราะห์โดยใช้ CST ที่มีศักยภาพในการเปลี่ยนแปลงของค่าความสูญเสียนี้เนื่องจากการข้อนกลับ (S_{II}) และวิเคราะห์หาค่าประสิทธิภาพที่ต่ำสุดของสายอากาศ พบว่าการเพิ่มสัดบันและเช่าร่องที่ทำการปรับขนาดความกว้างและความยาวของสัดบันจนกว่างมีอิทธิพลต่อความสูญเสียนี้เนื่องจากการข้อนกลับ (ดังจะได้นำเสนอในส่วนถัดไป) จากนั้นจึงทำการปรับขนาดต่างๆ ของสัดบันจนสายอากาศสามารถรองรับจำนวนค่าที่ต้องการประยุกต์ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยสามารถสรุปขั้นตอนการปรับขนาดออกเป็น 3 ส่วนดังแสดงในรูปที่ 2 ถึง 4 ตามลำดับ โดยการปรับในแต่ละส่วนจะมีการกำหนดค่าปรับ X (ที่ตัวแปร L_1 และ W_1) จะเป็นการเช่าร่องที่สายนำสัญญาณ บริเวณ Y (ที่ตัวแปร L_2 และ W_2) จะเป็นการเพิ่มสัดบันปรับจนรูปตัวไออยู่ด้วยสายอากาศและบริเวณ Z (ที่ตัวแปร L_3 และ W_3) จะเป็นการเพิ่มสัดบันปรับจนรูปตัวเหลี่ยมคืนผืนผ้าคู่ที่ปลายด้านบนของสายอากาศ โดยอธิบายหลักการได้ดังนี้ ในส่วนแรกคือการเช่าร่องที่บริเวณ X ทำให้ได้ค่าความสูญเสียนี้เนื่องจากการข้อนกลับของสัญญาณลดลง โดยใช้แนวคิดจากงานวิจัย [7] เริ่มทำการปรับรักษาความกว้างของແคนได้ค่าคงที่ $L_1 = 1 \text{ mm}$. ในส่วนที่ทำให้เกิดค่าความสูญเสียนี้เนื่องจากการข้อนกลับของสัญญาณลดต่ำลงคือ เลือกปรับขนาดของ W_1 โดยเริ่มที่ 3, 3.5 และ 4 mm. ตามลำดับ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงความยาวของແคน W_1 พบว่าขนาดที่เหมาะสมที่สุด 3 mm. ทำให้ค่าความ

สูญเสียนี้จากการข้อนกลับของสัญญาณลดต่ำกว่าเส้น -10 dB คลอด้วยความถี่ดังแสดงที่จุด (A) โดยผลการตอบสนองความถี่นี้ของจากรากปรับ W_1 แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ผลการจำลองแบบของค่าความสูญเสียนี้เนื่องจากการข้อนกลับ (S_{II}) เมื่อปรับ W_1

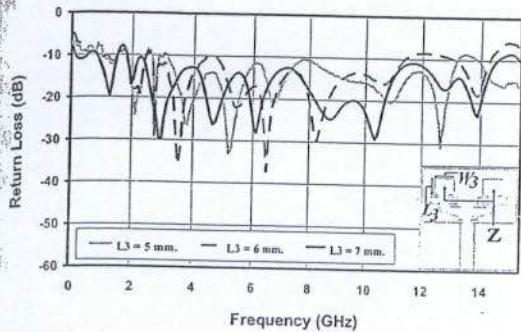
ในส่วนที่สองจะเป็นการเพิ่มเส้นสัดบันปรับจนรูปตัวไอ แนะนำอินเข้าที่ด้านข้างและขวาของสัดบันรูปตัวไอแนวตั้งที่บริเวณ Y โดยเลือกปรับค่าความกว้างของແคนได้ค่าคงที่ $L_2 = 3 \text{ mm}$. ในส่วนที่ทำให้เกิดค่าความสูญเสียนี้เนื่องจากการข้อนกลับลดลงมากที่สุดดังแสดงที่จุด (B) เมื่อปรับค่าความยาวของແคน W_2 โดยมีการปรับขนาดเริ่มตั้งแต่ 8, 9 และ 10 mm. ตามลำดับพบว่าค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมคือ $W_2 = 10 \text{ mm}$. ซึ่งผลความกว้างแบบนี้ค่าเท่ากับ 108.46 % (3.93 - 13.22 GHz.) แสดงผลให้ดังรูปที่ 3 มีผลทำให้ค่าความสูญเสียนี้เนื่องจากการข้อนกลับ (S_{II}) ต่ำลงกว่าจุด A เมื่อเทียบกับจุด B ในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ผลการจำลองแบบของค่าความสูญเสียนี้เนื่องจากการข้อนกลับ (S_{II}) เมื่อปรับ W_2

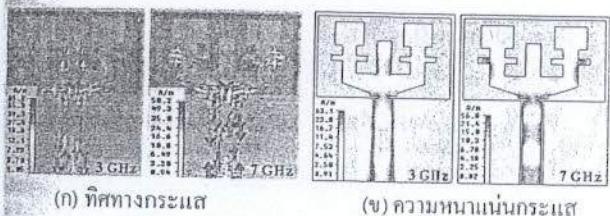
ส่วนที่สามทำการเพิ่มสัดบันปรับจนรูปสี่เหลี่ยมคืนผ้าเข้าที่ด้านข้างและขวาของสัดบันรูปตัวไอแนวตั้งที่บริเวณ Z เพื่อเพิ่มค่าแบบทวิภาคที่ให้กว้างมากขึ้น โดยปรับค่าน้ำดယความกว้างของແคนได้ค่าคงที่ $W_3 = 8 \text{ mm}$. และค่าที่ทำให้แนวคิดที่กว้างมากที่สุด เป็นการปรับรักษาความยาวของແคน L_3 โดยมีการปรับขนาดตั้งแต่ 5, 6 และ 7 mm. พบว่าขนาดที่เหมาะสมคือ $L_3 = 7 \text{ mm}$. ซึ่งตอบสนองต่อความถี่ดังต่อไปนี้ 159.42 % (1.61 - 14.35 GHz) แสดงผลให้ดังรูปที่ 4 มีผลทำให้ค่าความสูญเสีย

จากการซ้อนกลับของสัญญาณมีค่าต่ำกว่า -10dB มีแบนด์วิคท์เพิ่มขึ้นกว่า 44.26% เมื่อเทียบกับการปรับสัดส่วน Y ในรูปที่ 3



รูปที่ 4 ผลการจำลองแบบของค่าความสูญเสียเนื่องจากการซ้อนกลับ (S_{11}) เมื่อปรับ L_3

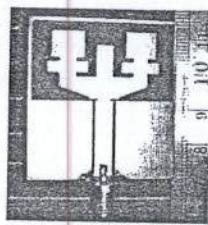
จากการปรับเพิ่มสัดส่วนในรูปที่ 4 พบว่ามีความสัมพันธ์กับทิศทางไฟลของกระแสในตัวสาขากลางและที่ความถี่ต่ำความหนาแน่นของกระแสประกายเรียงตระหง่านของตัวสาขากลางในทางตรงกันข้ามที่ความถี่สูงกระแสจะข้ายามีความหนาแน่นที่ส่วนด้านข้างของสาขากลางโดยสังเกตจากลักษณะคือทิศทางการไฟลกระแสจากบริเวณจุดป้อนสัญญาณของสาขากลางรูปที่ 5(ก) และความหนาแน่นกระแสตั้งรูปที่ 5(ข)



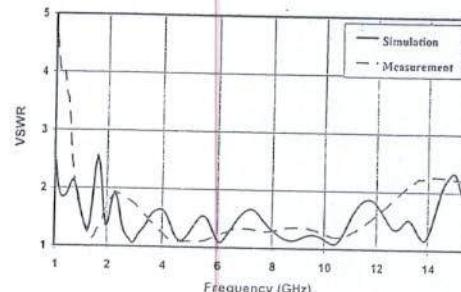
รูปที่ 5 การจำลองทิศทางกระแสและความหนาแน่นกระแสที่ความถี่ 3 GHz และ 7 GHz

3. การสร้างและการวัด

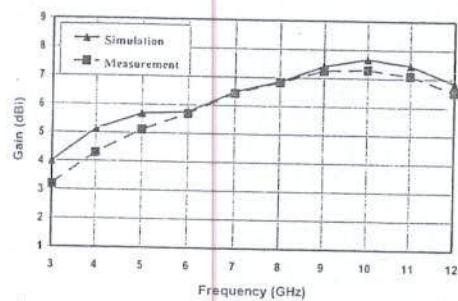
จากการวิเคราะห์ด้วยการจำลองแบบสาขากลางทำให้ได้ขนาดพารามิเตอร์ของสาขากลางที่เหมาะสมที่สุด และได้นำมาสร้างเป็นรากลางแบบดังแสดงในรูปที่ 6 จากนั้นทำการวัดค่าความสูญเสียเนื่องจากการซ้อนกลับ (S_{11}) และแบบคิวท์ของสาขากลางด้วยเครื่องมาร์ค์ฟอร์ม (Network Analyzer) รุ่น E8363B และนำค่าที่ได้จากการจำลองแบบและการวัดมาเปรียบเทียบเพื่อศึกษาคุณสมบัติกรอบด้านต่างๆ ผลการเปรียบเทียบ พบว่าค่าผลลัพธ์ที่ 2 มีแนวโน้มที่สอดคล้องกันแสดงในรูปที่ 7 คือค่าแบบคิวท์สามารถรองรับช่วงความถี่ใช้งานได้ 1.43 - 13.01 GHz โดยแสดงผลตอบสนองความถี่ที่ช่วงการใช้งานที่รูปแบบของอัตราส่วนคลื่นน้ำของแรงดันต่ำกว่าเดือน 2 (VSWR ≤ 1.43) ตลอดช่วงใช้งานที่ต้องการ และค่าอัตราขยายเฉลี่ย 5.70 dBi ตลอดช่วงความถี่ใช้งาน ดังรูปที่ 8



รูปที่ 6 สาขากลางแบบ

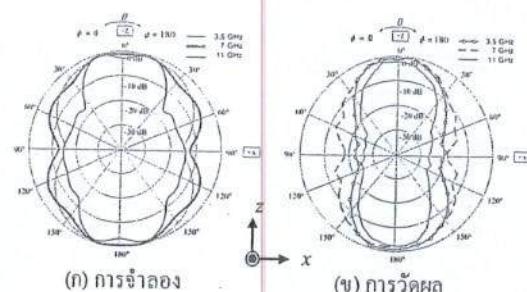


รูปที่ 7 เปรียบเทียบผลการจำลองแบบและการวัดของค่าอัตราส่วนคลื่นน้ำของแรงดัน VSWR (Voltage standing wave ratio) ของสาขากลาง

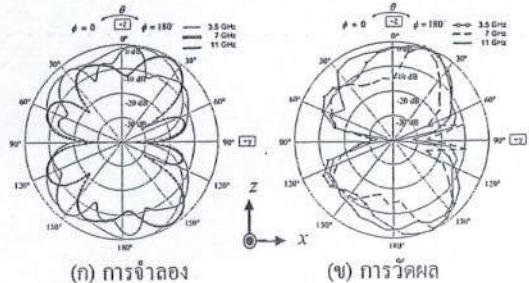


รูปที่ 8 อัตราขยายจากการจำลองแบบสาขากลางเทียบกับสาขากลางจริง

จากนั้นทำการวัดรูปแบบของการแผ่พลังงานของการจำลองแบบเปรียบเทียบกับสาขากลางจริงที่ความถี่ 3.5 GHz, 7 GHz และ 11 GHz พบว่าการแผ่พลังงานของสาขากลางจริงที่ความถี่ 3.5 GHz, 7 GHz และ 11 GHz ได้ทำการแผ่พลังงานของการจำลองแบบและการวัดผลในระนาบ x-z plane ดังรูปที่ 9 ในส่วนการแผ่พลังงานของสาขากลางเมื่อเหล็ก (H-plane) เป็นส่องทิศทาง โดยการแผ่พลังงานของการจำลองแบบและการวัดผลในระนาบ y-z plane ดังรูปที่ 10



รูปที่ 9 การจำลองและการวัดผลแบบรูปการแผ่พลังงานที่ความถี่ 3.5 GHz, 7 GHz และ 11 GHz ระนาบ E-plane



รูปที่ 10 การจำลองและการวัดผลแบบรูปการแพตเติลจังหว่างที่ความถี่ 3.5 GHz, 7 GHz และ 11 GHz ระหว่าง H-plane

4. สรุปผลการวิจัย

ในบทความนี้ได้นำเสนอสถาปัตยกรรมของเปิดร่องที่เหลือบมีด้ามระนาบร่วมที่มีการปรับอุณหสัณฐานเพื่อการสำหรับประยุกต์ใช้งานย่างความถี่เด่นกว้างขึ้น ในระบบสื่อสารไร้สาย IEEE 802.15.3a ย่างความถี่ 3.1 - 10.6 GHz ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองแบบและจากการวัดนั้นมีการตอบสนองความถี่ที่สอดคล้องกันตลอดด้วยความถี่การใช้งาน 3.1 - 10.6 GHz ก็มีค่า VSWR น้อยกว่า 2 (มีค่า S₁₁ ต่ำกว่า -10 dB) และพบว่ามีค่าเบอร์เซ็นต์เบนด์วิคที่มีค่า 160.83% (1.43 - 13.01 GHz) ในส่วนของแบบรูปการแพตเติลจังหวั้นนี้มีลักษณะเป็นแบบ 2 ทิศทาง (Bidirectional) และค่าอัตราขยายเฉลี่ย 5.70 dB; ลดอัตราความถี่ใช้งาน และอัตราที่ซึ้งสามารถลดขนาดของสายอากาศ จากเดิมในงานวิจัย [7] และ [11] ซึ่งมีขนาดสายอากาศเท่ากับ 44 x 51.1 mm.² และ 40 x 53 mm.² ลดลงถึง 18.71% และ 15.09% ส่วนแบบดีวิคที่มากกว่างานวิจัยที่ [7] คือ 41.22%

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา คณะครุศาสตร์ อุดสาหกรรมที่ให้ความอนุเคราะห์ให้ไปร่วมงาน CST และคณะวิศวกรรมศาสตร์ ในส่วนของเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer) รุ่น E8363B ในการวัดผลงานวิจัย

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Intel white paper, "Enabling high-speed wireless personal area Networks," Ultra Wideband (UWB) Technology, 2004.
- [2] Steven Stroh, "Ultra-Wideband: Multimedia Unplugged" IEEE Spectrum, pp. 24, Sep 2003.
- [3] FCC, FCC Report and Order for Part 15 Acceptance of Ultra Wideband (UWB) Systems from 3.1-10.6 GHz. Washington DC, 2002.
- [4] H. Schantz, "The Art and Science of Ultrawideband Antennas," Boston, London, Artech House, 2005.
- [5] FCC First Report and Order on Ultra-wideband Technology, FCC, 2002.

- [6] X. -C. Yin, C.-L. Ruan, S. -G. Mo, C.-Y. Ding, and J.-H. Chu, "Compact Ultra-Wideband Microstrip Antenna with Multiple Notches," Progress In Electromagnetics Research, PIER 84, pp. 321- 332, 2008.
- [7] Samad pokapanic and Amnoiy Ruengwaree, "CPW-Fed Rectangular Slot Antenna with Mortar Shape Stub Tuning for UWB Application," 32ST Electrical Engineering Conference (EECON-32), 2552.
- [8] A. A. Eldekk, "Numerical Analysis of a Small Ultra Wideband Microstrip-fed tap Monopole Antenna," Progress In Electromagnetics Research: PIER 65, pp. 59-69, 2006.
- [9] J. William and R. Nakkeeran, "CPW-Fed UWB Slot Antennas With Cross like Tuning Stub," Computing Communication and Networking Technologies (ICCCNT), 2010 International Conference on, pp.1-6, 29-31 July 2010.
- [10] Jen-Yea Jan, Jui-Chang Kao, Yuan-Tung Cheng, Wen-Shyan Chen and Huat-Ming Chen, "CPW-Fed Wideband Printed Planar Monopole Antenna for Ultra-Wideband Operation," Antennas and Propagation Society International Symposium, 2006, IEEE, , pp. 1697-1700, 9-14 July 2006.
- [11] Wen-Shan Chen Yu-Chen Chang Hong-Twu Chen Fa-Shi Chang and Hsin-Cheng Su "Novel Design of Printed Monopole Antenna for WLAN/WiMAX," Applications Antennas and Propagation Society International Symposium, 2007 IEEE, 9-13 June 2007, pp. 3281 – 3284, June 2007.



นายวีรศักดิ์ แก้วศรี ดำ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาสถาบันเทคโนโลยี โลหะและวัสดุ ใน ปี พ.ศ.2545 ปัจจุบัน กำลังศึกษาในระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์ ไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิจัยที่สนใจ Ultra-Wideband



นายวชิรพล นาคทอง สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์ มหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ ไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ปี พ.ศ.2554 งานวิจัยที่สนใจ Ultra-Wideband



ดร.อำนวย เรืองสวัสดิ์ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท สาขา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ประเทศสารสนเทศรัฐวิจัย ปี พ.ศ. 2551 ปัจจุบันดำรงตำแหน่งอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และ โทรคมนาคมคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิจัยที่สนใจ Ultra Wideband Radar System, Ultra Fast Electrical Pulse Generator, Antenna Design