

# สายอากาศโมโนโพลรูปสี่เหลี่ยมบนระนาบสร้างเงาที่มีช่องว่างไม่สมมาตรและสลับโหลดแบบขั้น สำหรับย่านความถี่แถบกว้างยิ่ง

## CPW Fed Square Printed Monopole Antenna

### With Stub Load Step Shape and Asymmetrical Gap for UWB Application

ปวีร์ ชัยบุญ<sup>1</sup> อภิรดา นามแสง<sup>2</sup> และ อำนวย เรืองวารี<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

อ.รังสิต-นครนายก ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110 โทรศัพท์: 02-575-4968 E-Mail: khunpawee@hotmail.com

<sup>2</sup>ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อ.รังสิต-นครนายก

ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110 โทรศัพท์: 02-549-4623 apirada@rmutt.ac.th amnoiy.r@en.rmutt.ac.th

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอสายอากาศโมโนโพลที่มีการป้อนสัญญาณ  
ระนาบสร้างเงารูปสี่เหลี่ยมสำหรับประยุกต์ใช้งานย่านความถี่แถบ  
กว้างยิ่ง การพัฒนาและออกแบบใช้เทคนิคการปรับแต่งระนาบสร้าง  
เงาด้วยสลับโหลดรูปขั้นบันไดและช่องว่างระหว่างสายนำสัญญาณแบบ  
ระนาบสร้างเงาไม่สมมาตร เพื่อให้สายอากาศมีประสิทธิภาพสูงสุด ทำ  
การจำลองแบบ โครงสร้างสายอากาศด้วยโปรแกรม CST และวัดค่า  
สูญเสียเนื่องจากการสะท้อนกลับของสัญญาณ ( $S_{11}$ ) จะได้ความถี่  
ครอบคลุมตั้งแต่ 3.03-13.83 GHz ความถี่แถบความถี่ของสายอากาศ  
ที่ได้สามารถรองรับการประยุกต์ใช้งานตามมาตรฐาน IEEE 802.15.3a

คำสำคัญ: สลับโหลด, ความถี่แถบกว้างยิ่ง, ช่องว่าง

#### Abstract

This paper is presented a square shaped coplanar monopole  
antenna for ultra-wideband. The development and design techniques are  
stub load step-shape and asymmetrical gap. For the maximum  
efficiency, the simulation of antenna structure is resulted by Computer  
Simulation Technology (CST) program and the measured return loss  
( $S_{11}$ ) is covered 3.03 – 13.81 GHz. The bandwidth of prototype antenna  
is supported the application in IEEE802.15.3a standard.

Keywords: Stub Load, Ultra Wideband, Gap

#### 1. บทนำ

การสื่อสารไร้สายที่ผ่านมามีการพัฒนาแบบการรับ-ส่ง  
ความถี่หลายรูปแบบ เช่น การสื่อสารแบบย่านความถี่เดียว, การสื่อสาร  
ย่านความถี่คู่ (Dual-band) และการสื่อสารสามย่านความถี่ (Tri-band)  
การสื่อสารที่กล่าวมานี้มีข้อจำกัดของปริมาณและความเร็วในการรับ-ส่ง

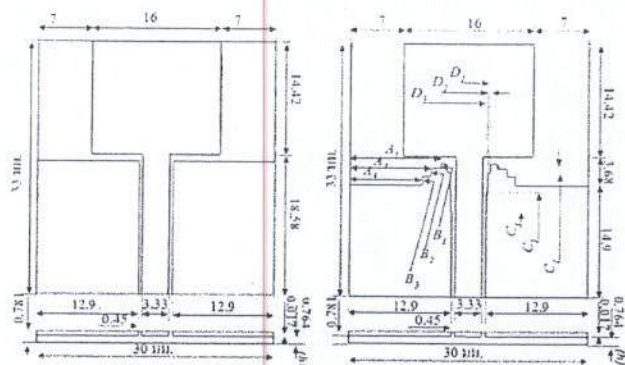
ข้อมูล ดังนั้นการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง (UWB) จึงถูก  
นำมาใช้เพื่อลดปัญหาที่เกิดขึ้น สายอากาศเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญ  
ในการสื่อสารแบบไร้สายในย่านความถี่นี้ จากการศึกษางานวิจัยในอดีต  
จนถึงปัจจุบัน [1-5] พบว่าสายอากาศ [1-2] ยังมีขนาดใหญ่ รูปแบบของ  
สายอากาศซับซ้อนและมีค่าแบนด์วิดท์กว้างไม่มาก

จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงได้ทำการออกแบบ และพัฒนา  
สายอากาศให้มีขนาดเล็กและมีรูปแบบที่ไม่ซับซ้อน ในการจำลองแบบ  
ใช้โปรแกรม CST เพื่อวิเคราะห์ผล และปรับแต่ง [3-4] จนได้สายอากาศที่  
ครอบคลุมย่านความถี่กว้างยิ่งตามมาตรฐาน IEEE 802.15.3a [5]

## 2. การออกแบบและผลการจำลองแบบสายอากาศ

### 2.1 โครงสร้างสายอากาศ

งานวิจัยนี้จึงได้ออกแบบและพัฒนสายอากาศโมโนโพลแบบ  
ระนาบรูปสี่เหลี่ยมให้ขนาดเล็กและมีรูปร่างไม่ซับซ้อน วัสดุฐานรองของ  
สายอากาศคั่นแบบเป็นแผ่นพิมพ์ชนิด FR4 ความหนาของวัสดุฐานรอง  
( $h$ ) = 0.764 มม. ค่าคงตัวไดอิเล็กตริก ( $\epsilon_r$ ) = 4.3 ความยาวคลื่นสัมพันธ์  
ในวัสดุฐานรอง ( $\lambda_g$ ) ที่ความถี่เรโซแนนซ์ มีค่า 22.24 มม. รูปแบบและ  
ขนาดของสายอากาศพื้นฐานรูปสี่เหลี่ยม ดังในรูปที่ 1



รูปที่ 1 สายอากาศคั่นแบบ

รูปที่ 2 สายอากาศนำเสนอ

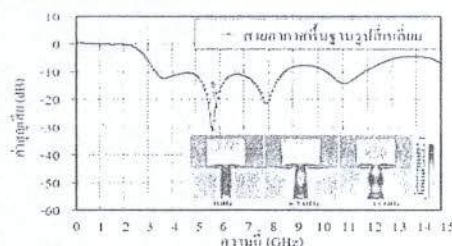
จากการจำลองแบบสายอากาศด้วยโปรแกรม CST (Computer Simulation Technique) จะทำให้ได้โครงสร้างสายอากาศต้นแบบ แสดงในรูปที่ 2 มีค่าพารามิเตอร์จากการปรับแต่งด้วยวิธีสลับโหลดแบบขั้นบันไดแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของสายอากาศต้นแบบ

| ขนาดความยาว |            | ขนาดความกว้าง |            |
|-------------|------------|---------------|------------|
| ตัวแปร      | ขนาด (มม.) | ตัวแปร        | ขนาด (มม.) |
| $A_1$       | 11.5       | $B_1$         | 0.6        |
| $A_2$       | 10.2       | $B_2$         | 1          |
| $A_3$       | 9.2        | $B_3$         | 1.1        |
| $C_1$       | 0.6        | $D_1$         | 1.1        |
| $C_2$       | 0.2        | $D_2$         | 2.5        |
| $C_3$       | 0.1        | $D_3$         | 2.5        |

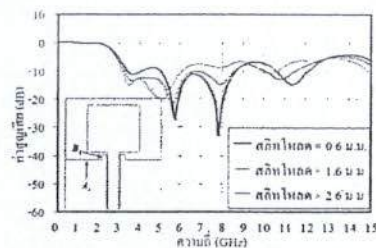
## 2. 2 ผลการจำลองแบบของสายอากาศ

ผลการจำลองแบบสายอากาศต้นแบบในรูปที่ 1 ด้วยโปรแกรม CST เพื่อศึกษาผลตอบสนองความถี่ 3, 6.5, 11 GHz. จะได้ผลกระทบพื้นผิวระนาบและค่าสูญเสียเนื่องจากการสะท้อนกลับ ( $S_{11}$ ) ดังรูปที่ 3



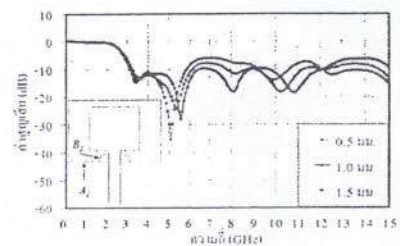
รูปที่ 3 กระแสบนพื้นผิวระนาบ และค่าสูญเสียเนื่องจากการสะท้อนกลับของสายอากาศของสายอากาศต้นแบบ

จากรูปที่ 3 พบว่าสนามกระแสคั้งที่ระนาบที่นำสัญญาณทำให้การไหลของกระแสพื้นผิวผ่านไปได้น้อย จากการจำลองแบบพบว่าค่าสูญเสียสะท้อนกลับมีค่าต่ำกว่า -10 dB มี 2 ช่วงความถี่ คือ 3.3 – 8.8 GHz และ 10.45–11.85 GHz จึงทำการทดลองปรับค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศดังรูปที่ 2 ด้วยวิธีสลับโหลดแบบขั้นบันได ที่จุด  $A_1$  และ  $B_1$  โดยกำหนดให้ขนาดความยาวของ  $A_1 = 0.51$ ,  $\lambda_g = 11.5$  มม. และทำการทดลองปรับขนาดกว้าง  $B_1$  มีค่าเท่ากับ 0.1, 0.6, 1.6 มม. ตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 4



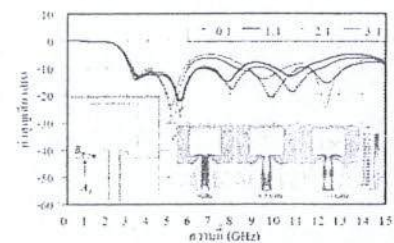
รูปที่ 4 ค่าสูญเสียสะท้อนกลับที่ได้จากการปรับค่า  $B_1$

จากรูปที่ 4 พบว่าเมื่อทำการปรับขนาด  $B_1 = 0.6$  มม. จะทำให้ได้ค่าแบนด์วิดท์ที่คั้ง คือจะทำให้ที่ช่วงความถี่ 3.3 – 4 GHz, 5.1 – 8.5 GHz และ 10.5 – 12.2 GHz มีค่าสูญเสียต่ำกว่า -10 dB ในทางกลับกันเมื่อ  $B_1 = 1.6$  มม. จะทำให้ค่าสูญเสียสะท้อนกลับมีแนวโน้มลดลง จึงทำการปรับแต่งด้วยสลับโหลดแบบขั้นบันไดที่ 2 ที่ระนาบสร้างเงาโดยให้  $A_2 = 10.2$  มม. ประมาณ  $0.45\lambda_g$  และให้  $B_2$  มีขนาดเท่ากับ 0.5 1 และ 1.5 มม. ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ค่าสูญเสียสะท้อนกลับที่ได้จากการปรับค่า  $B_2$

จากรูปที่ 5 พบว่าเมื่อทำการปรับขนาด  $B_2 = 1$  มม. จะทำให้ได้ค่าแบนด์วิดท์ ที่ช่วงความถี่ 3.3 – 12.2 GHz มีค่าสูญเสียต่ำกว่า -10 dB แต่เมื่อ  $B_2 = 1.5$  มม. จะทำให้ค่าสูญเสียสะท้อนกลับลดลง จึงทำการเพิ่ม สลับโหลดแบบขั้นบันไดที่ 3 ที่ขอบระนาบกราวที่  $A_3$  และ  $B_3$  โดยให้  $A_3 = 9.2$  มม. ประมาณ  $0.41\lambda_g$  และให้  $B_3$  มีขนาดเท่ากับ 0.1, 1.1, 2.1 และ 3.1 มม.ตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ค่าสูญเสียสะท้อนกลับที่ได้จากการปรับค่า  $B_3$

จากรูปที่ 6 พบว่ารูปแบบภายหลังจากเพิ่มสลับโหลดแบบขั้นบันไดที่ 3 จะทำให้ได้สลับโหลดรูปขั้นบันได และผลจากการปรับขนาด  $B_3 = 1.1$  มม. จะทำให้ค่าแบนด์วิดท์ที่ช่วงความถี่ 3.15 – 8.4 GHz และ 10 – 11.45 GHz มีค่าสูญเสียต่ำกว่า -10 dB จากการจำลองแบบสนามกระแสพื้นผิวภายหลังการทำสลับโหลด  $A_3$  และ  $B_3$  พบว่าที่ช่วงความถี่ 3 GHz มีความคั้งของกระแสที่ระนาบที่นำสัญญาณ จึงทำการลดความหนาแน่นของสนามกระแสที่คั้ง โดยวิธีปรับช่องว่าง (Gap) ระหว่างระนาบสร้างเงากับระนาบที่นำสัญญาณ เป็นแบบขั้นบันไดไม่สมมาตรที่ขอบระนาบสร้างเงา ใกล้กับระนาบที่นำสัญญาณ ซึ่งกำหนดให้  $C_1 = 0.6$  มม. และให้  $D_1$  มีขนาดเท่ากับ 0.6, 1.1 และ 1.6 มม. ดังแสดงรูปที่ 7

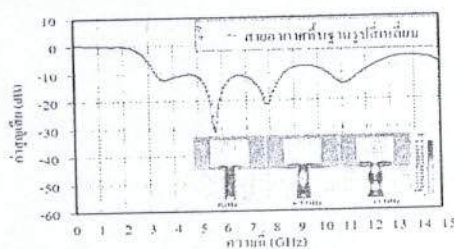
จากการจำลองแบบสายอากาศด้วยโปรแกรม CST (Computer Simulation Technique) จะทำให้ได้โครงสร้างสายอากาศคั่นแบบ แสดงในรูปที่ 2 มีค่าพารามิเตอร์จากการปรับแต่งด้วยวิธีสลับโหลดแบบขั้นดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของสายอากาศคั่นแบบ

| ขนาดความยาว |            | ขนาดความกว้าง |            |
|-------------|------------|---------------|------------|
| ตัวแปร      | ขนาด (มม.) | ตัวแปร        | ขนาด (มม.) |
| $A_1$       | 11.5       | $B_1$         | 0.6        |
| $A_2$       | 10.2       | $B_2$         | 1          |
| $A_3$       | 9.2        | $B_3$         | 1.1        |
| $C_1$       | 0.6        | $D_1$         | 1.1        |
| $C_2$       | 0.2        | $D_2$         | 2.5        |
| $C_3$       | 0.1        | $D_3$         | 2.5        |

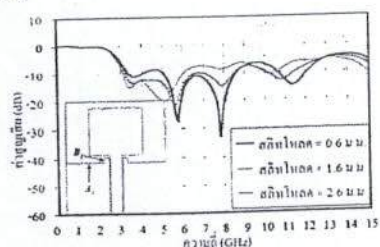
## 2.2 ผลการจำลองแบบของสายอากาศ

ผลการจำลองแบบสายอากาศคั่นแบบในรูปที่ 1 ด้วยโปรแกรม CST เพื่อศึกษาผลตอบสนองความถี่ 3, 6.5, 11 GHz. จะได้ผลกระแสพื้นผิวและค่าสูญเสียเนื่องจากการสะท้อนกลับ ( $S_{11}$ ) ดังรูปที่ 3



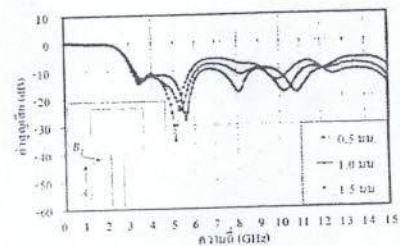
รูปที่ 3 กระแสพื้นผิวและค่าสูญเสียเนื่องจากการสะท้อนกลับของสายอากาศของสายอากาศคั่นแบบ

จากรูปที่ 3 พบว่าสนามกระแสที่ระดับที่ระนาบที่นำสัญญาณทำให้การไหลของกระแสพื้นผิวผ่านไปได้น้อย จากการจำลองแบบพบว่าค่าสูญเสียสะท้อนกลับมีค่าต่ำกว่า -10 dB มี 2 ช่วงความถี่ คือ 3.3 - 8.8 GHz และ 10.45 - 11.85 GHz จึงทำการทดลองปรับค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศดังรูปที่ 2 ด้วยวิธีสลับโหลดแบบขั้น ที่จุด  $A_1$  และ  $B_1$  โดยกำหนดให้ขนาดความยาวของ  $A_1 = 0.51 \lambda_g = 11.5$  มม. และทำการทดลองปรับขนาดกว้าง  $B_1$  มีค่าเท่ากับ 0.1, 0.6, 1.6 มม. ตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 4



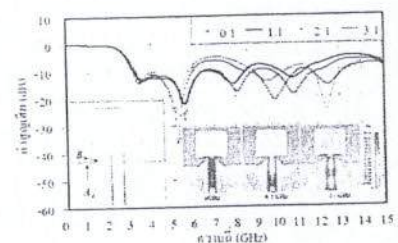
รูปที่ 4 ค่าสูญเสียสะท้อนกลับที่ได้จากการปรับค่า  $B_1$

จากรูปที่ 4 พบว่าเมื่อทำการปรับขนาด  $B_1 = 0.6$  มม. จะทำให้ได้ค่าแบนด์วิดท์ที่ขึ้น คือจะทำให้ช่วงความถี่ 3.3 - 4 GHz, 5.1 - 8.5 GHz และ 10.5 - 12.2 GHz มีค่าสูญเสียต่ำกว่า -10 dB ในทางกลับกันเมื่อ  $B_1 = 1.6$  มม. จะทำให้ค่าสูญเสียสะท้อนกลับมีแนวโน้มลดลง จึงทำการปรับแต่งด้วยสลับโหลดแบบขั้นขึ้นที่ 2 ที่ระนาบสร้างเงาโดยให้  $A_2 = 10.2$  มม. ประมาณ  $0.45 \lambda_g$  และให้  $B_2$  มีขนาดเท่ากับ 0.5, 1 และ 1.5 มม. ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ค่าสูญเสียสะท้อนกลับที่ได้จากการปรับค่า  $B_2$

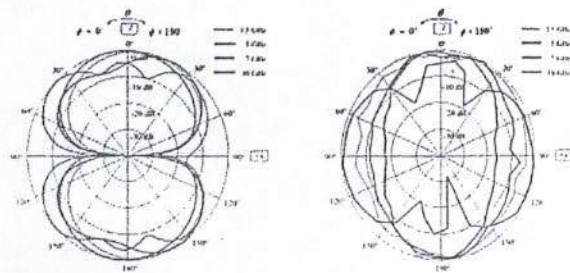
จากรูปที่ 5 พบว่าเมื่อทำการปรับขนาด  $B_2 = 1$  มม. จะทำให้ได้แบนด์วิดท์ ช่วงความถี่ 3.3 - 12.2 GHz มีค่าสูญเสียต่ำกว่า -10 dB แต่เมื่อ  $B_2 = 1.5$  มม. จะทำให้ค่าสูญเสียสะท้อนกลับลดลง จึงทำการเพิ่ม สลับโหลดแบบขั้นขึ้นที่ 3 ที่ขอบระนาบกว้างที่  $A_3$  และ  $B_3$  โดยให้  $A_3 = 9$  มม. ประมาณ  $0.41 \lambda_g$  และให้  $B_3$  มีขนาดเท่ากับ 0.1, 1.1, 2.1 และ 3 มม. ตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 6



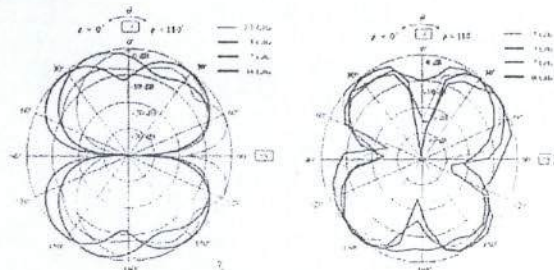
รูปที่ 6 ค่าสูญเสียสะท้อนกลับที่ได้จากการปรับค่า  $B_3$

จากรูปที่ 6 พบว่ารูปแบบภายหลังจากการเพิ่มสลับโหลดแบบขั้นที่ 3 จะทำให้ได้สลับโหลดรูปขั้นบันได และผลจากการปรับขนาด  $B_3 = 1.1$  มม. จะทำให้ค่าแบนด์วิดท์ช่วงความถี่ 3.15 - 8.4 GHz และ 11.45 GHz มีค่าสูญเสียต่ำกว่า -10 dB จากการจำลองแบบสนามกระแสพื้นผิวภายหลังการทำสลับโหลด  $A_3$  และ  $B_3$  พบว่าช่วงความถี่ 3 GHz ความถี่ของกระแสที่ระนาบที่นำสัญญาณ จึงทำการลดความหนาแน่นของสนามกระแสที่คั่นด้วยวิธีปรับช่องว่าง (Gap) ระนาบสร้างเงากับระนาบที่นำสัญญาณ เป็นแบบขั้น ไม่สมมาตรที่ระนาบสร้างเงา ใกล้กับระนาบที่นำสัญญาณ จึงกำหนดให้  $C_1 = 0.6$  มม. และให้  $D_1$  มีขนาดเท่ากับ 0.6, 1.1 และ 1.6 มม. ดังแสดงรูปที่ 7

(Radiation Pattern) ของสายอากาศจะได้ ดังรูปที่ 13 - 14 ซึ่งพบว่าสายอากาศมีการแผ่พลังงานแบบรอบทิศทาง (Omni Directional)



ระนาบ E-plane  
จากการจำลองแบบ  
รูปที่ 13 แบบรูปการแผ่พลังงานที่ความถี่ 3.5, 5.2, 7 และ 10 GHz



ระนาบ H-plane  
จากการจำลองแบบ  
รูปที่ 14 แบบรูปการแผ่พลังงานที่ความถี่ 3.5, 5.2, 7 และ 10 GHz

#### 4. สรุป

ในบทความนี้ได้นำเสนอสายอากาศโมโนโพลแบบระนาบรูปสี่เหลี่ยมครอบคลุมย่านความถี่กว้างยิ่งยวด โดยทำการปรับแต่งด้วยวิธีสลับโหนดรูปขั้นบันได จนกระทั่งสายอากาศค้นแบบที่มีค่าอัตราขยายเฉลี่ยเท่ากับ 3.04 dBi และมีค่า VSWR น้อยกว่า 2 รองรับการประยุกต์ใช้งานตามมาตรฐาน IEEE802.15.3a และเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยค้นแบบมีเปอร์เซ็นต์แถบความถี่กว้างกว่า 96.36 %

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี คณะครู วิทยาศาสตร์ อุตสาหกรรมที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้โปรแกรม CST

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] Hou ZHANG , Guiyuan LI, Jian WANG, Xiong YIN, "A Novel Coplanar CPW-Fed Square Printed Monopole Antenna for UWB Applications," ICMMT 2010.

- [2] Chao Deng, Yong-jun Xie, and Ping Li "CPW-Fed Planar Printed Monopole Antenna with Impedance Bandwidth Enhanced" II ANTENNAS AND WIRELESS PROPAGATION LETTERS VOL. 8, 2009
- [3] Lina Moustafa and Bernard Jecko "Design of a Wideband High Directive EBG Antenna Using Double-Layer Frequency Selective Surfaces and Multifeed Technique for Application in the K Band" IEEE ANTENNAS AND WIRELESS PROPAGATION LETTERS, VOL. 9, 2010
- [4] M. A. Peyrot-Solis 1, 2, G.M. Galvan-Tejada 1, H. Jardon-Aguilera "State of the Art in Ultra-Wideband Antennas" 2nd International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ICEEE) XI Conference on Electrical Engineering (CIE 2005) Mexico City, Mexico. September 7-9, 2005
- [5] "IEEE FCC "FCC Report and Order for Part 15 Acceptable Ultra Wideband (UWB) Systems from 3.1-10.6 GHz" Washington DC, 2002



นายปวีร์ ชัยบุญ ปัจจุบันกำลังศึกษาในปริญญาโทหลักสูตรวิศวกรรมมหาบัณฑิต วิศวกรรมศาสตรไฟฟ้า สาขาอิเล็กทรอนิกส์ โทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี งานวิจัยที่สนใจ UWB, Rectenna



ดร.อภิรดา นามแสง สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาเอก จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปี พ.ศ. 2553 ปัจจุบันดำรงตำแหน่งอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี



ดร.อานวย เรืองวาริ สำเร็จการศึกษาระดับเอก จาก มหาวิทยาลัยคาสเซล ประเทศสเปน ปัจจุบันดำรงตำแหน่งอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรม อิเล็กทรอนิกส์ โทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี งานวิจัยที่สนใจ Wideband Radar System, Ultra Fast Edge Pulse Generator, Antenna Design