พัฒนาการของวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ด้านการสื่อสารไร้สาย

Development of Electronics Engineering in the Area of Wireless Communications

วัลลภ สุระกำพลธร[1] และ อมร จิรเสรีอมรกุล[2]*

[1]ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[2]ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

Wanlop Surakampontorn[1] and Amorn Jiraseree-amornkun[2]*

[1]Department of Electronics, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

[2]Department of Electronics Engineering, Faculty of Engineering, Mahanakorn University of Technology

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้กล่าวถึง วิวัฒนาการที่สำคัญทางวงจรอิเล็กทรอนิกส์ จากอุปกรณ์แยกชิ้นขนาดใหญ่ในอดีตมาสู่เทคโนโลยีวงจรรวมในปัจจุบัน ซึ่งสามารถสร้างระบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่มีความซับซ้อนสูงในรูปวงจรรวมชิพเดียวได้ ส่งผลให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีขนาดเล็กและราคาถูก จนเข้ามามีบทบาทในฐานะเครื่องมือสำคัญ สำหรับช่วยงานและอำนวยความสะดวกในชีวิตประจำวัน โดยในที่นี้จะขอมุ่งเน้นไปที่ระบบวงจรรวมอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการสื่อสารไร้สายซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่มีความสำคัญอย่างมากในปัจจุบัน นอกจากนี้จะได้แสดงทิศทางของงานวิจัยที่กำลังได้รับความสนใจจากกลุ่มวิจัยชั้นนำทั่วโลก โอกาสการพัฒนาของประเทศไทย รวมถึงงานวิจัยของทางกลุ่มวิจัยเองที่กำลังดำเนินการอยู่ด้วย

คำสำคัญ : ระบบอิเล็กทรอนิกส์ เทคโนโลยีวงจรรวม ระบบสื่อสารไร้สาย ทิศทางงานวิจัย

Abstract

This article reviews electronic circuit revolution, from bulky discrete era to miniature integrated circuit technology. This transformation has brought us smaller yet more functional and cheaper electronics systems, which nowadays permeate every aspect of our daily life, from the inner space of our bodies to the outer space of the cosmos. Among the vast variety of electronic utilizations, we are focusing on wireless communication systems as they have significant impact on improving global industry as well as personal quality of life. We also discuss about mainstream subjects of leading research groups around the world, competitive opportunities for Thailand researches and developments, and active topics in our research group.

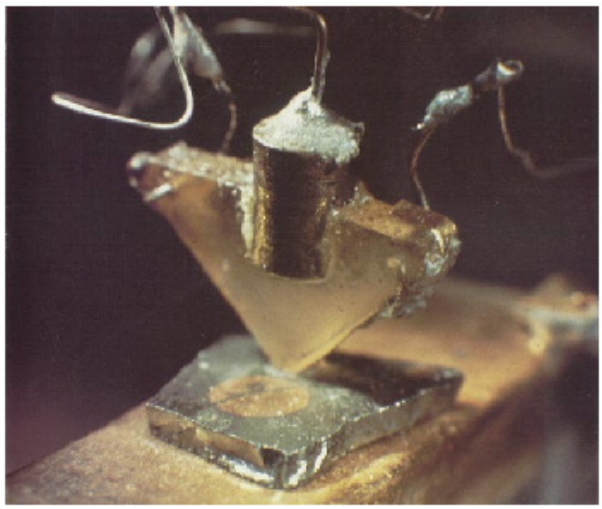
Keywords : electronic system, integrated circuit technology, wireless communications, research trends

***Corresponding author.** E-mail: amorn@mut.ac.th

บทนำ

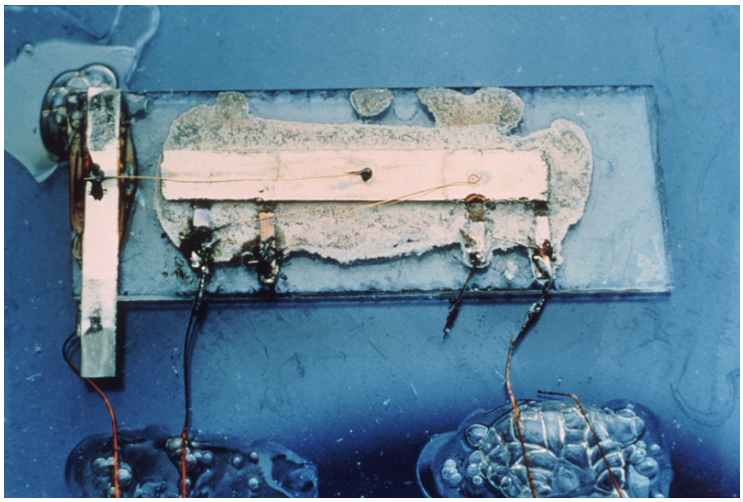
เป็นเวลากว่าศตวรรษนับตั้งแต่ โทมัส อัลวา เอดิสัน (Thomas Alva Edison) ได้ประดิษฐ์หลอดไฟดวงแรกขึ้น ทำให้โลกเราสว่างไสวขึ้นได้ในยามค่ำคืน มาสู่การพัฒนาหลอดสูญญากาศขึ้นในราวปี ค.ศ. 1904 โดย จอห์น แอมโบรส เฟลมมิง (John Ambrose Fleming) ซึ่งได้รับความนิยมอย่างสูงในระบบวิทยุสื่อสารยุคเริ่มต้น ช่วยให้การติดต่อสื่อ สารถึงกันทำได้ง่ายขึ้น แต่เนื่องจากวงจรหลอดสูญญากาศมีขนาดใหญ่ เปราะบาง และกินกำลังไฟฟ้ามาก ตัวอย่างเช่น เครื่องคอมพิวเตอร์อิเล็กทรอนิกส์เอนกประสงค์เครื่องแรก ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer) สร้างขึ้นโดย จอห์น มอชลี่ย์ (John Mauchly) และ เจ เพรสเพอร์ เอ็คเคิร์ต (J. Presper Eckert) แห่งมหาวิทยาลัยเพนซิลเวเนีย ในราวปี ค.ศ. 1946 ประกอบด้วยหลอดสูญญากาศเกือบ 18,000 หลอด อุปกรณ์อื่นๆ อีกกว่า 80,000 ตัว สายเชื่อมต่อหลายล้านเส้น มีขนาดเท่าห้องขนาดใหญ่ หนัก 27 ตัน และกินกำลังไฟถึง 150 กิโลวัตต์ (http://en.wikipedia.org/wiki/ENIAC) นักวิจัยจึงพยายามหาอุปกรณ์ที่เล็กลงและทำงานได้ดีขึ้น ซึ่งนำมาสู่การเริ่มต้นศึกษาการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในผลึกของแข็ง (Solid-State) อย่างจริงจัง จนในปี ค.ศ. 1947 นักวิจัยของห้องปฏิบัติการเบลล์ (Bell Labs) ได้แก่ วิลเลียม ชอกลีย์ (William Shockley), จอห์น บาร์ดีน (John Bardeen) และ วอลเตอร์ แบรตเตน (Walter Brattain) ก็ประสบความสำเร็จในการประดิษฐ์ทรานซิสเตอร์ตัวแรก โดยมีโครงสร้างเป็นแบบจุดต่อ (Point-Contact Transistor) ที่สร้างจากสารเจอร์เมเนียม (Germanium) ดังแสดงในรูปที่ 1 (Brinkman, W. F. *et al.*, 1997) ซึ่งทั้ง 3 ท่านได้รับรางวัลโนเบล (Nobel Prize) สาขาฟิสิกส์ในปี ค.ศ. 1956 จากการค้นพบนี้ ต่อมาชอกลีย์ได้พัฒนาทรานซิสเตอร์แบบรอยต่อ (Junction transistor) ขึ้น (Bondyopadhyay, P.K., 1998) ซึ่งเป็นพื้นฐานของทรานซิสเตอร์ที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน นอกจากนี้ ผลพวงจากความพยายามพัฒนาทรานซิสเตอร์ในเชิงพาณิชย์ของชอกลีย์ ยังเป็นส่วนหนึ่งที่ก่อให้เกิดซิลิกอนแวลเลย์ (Silicon Valley) แหล่งอุตสาหกรรมไฮเทคที่ยิ่งใหญ่ที่สุดในโลกอีกด้วย

ถึงแม้ว่าทรานซิสเตอร์แบบตัวเดี่ยว (discrete transistor) จะช่วยแก้ปัญหาของหลอดสูญญากาศได้เป็นอย่างดี แต่เมื่อมีการพัฒนาวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่มีขนาดใหญ่และซับซ้อนมากขึ้น ปัญหาเรื่องการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ ผ่านสายโลหะด้วยมือได้กลายเป็นอุปสรรคสำคัญ เพราะนั่นหมายถึงค่าใช้จ่ายมหาศาล



ภาพที่ 1 ทรานซิสเตอร์ตัวแรกของโลก

และมีโอกาสผิดพลาดสูง การออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ได้วิวัฒนาการไปอีกขั้นหนึ่ง ในปี ค.ศ. 1958 เมื่อแจ็ค คิลบี (Jack Kilby) แห่งบริษัท เท็กซัส อินทรูเมนท์ (Texas Instrument) ได้เสนอแนวคิดการสร้างวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมดบนสารกึ่งตัวนำชิ้นเดียวกัน โดยวงจรต้นแบบที่คิลบีสร้างขึ้นคือวงจรกำเนิดสัญญาณ (Oscillator) ดังแสดงในภาพที่ 2 ซึ่งประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ 1 ตัวกับอุปกรณ์แพสซิฟอีก 4 ตัว บนชิ้นสารกึ่งตัวนำเจอร์เมเนียม แต่การเชื่อมต่อกันยังคงใช้ลวดโลหะอยู่ ซึ่งไม่เหมาะกับการผลิตวงจรรวมขนาดใหญ่ ในเวลาไล่เลี่ยกัน โรเบิร์ต นอยซ์ (Robert Noyce) และ จีน เออร์นี (Jean A. Hoerni) จากบริษัท แฟร์ชายด์ เซมิคอนดักเตอร์ (Fairchild Semiconductor) ได้พัฒนากระบวนการผลิตแบบ พลานาร์ (Planar Process) ขึ้น ซึ่งอาศัยหลักการสร้างชั้นฉนวนและตัวนำซ้อนทับบนสารกึ่งตัวนำซิลิกอน โดยสามารถปรับแต่งลวดลายได้ตามต้องการ ช่วยแก้ปัญหาการเชื่อมต่อภายใน (interconnection) ได้สำเร็จ และกลายมาเป็นกระบวนการ ที่ใช้สำหรับการสร้างวงจรรวมตราบจนถึงทุกวันนี้ แม้ว่าต่างคนต่างพัฒนาขึ้นโดยไม่เกี่ยวข้องกัน แต่ก็เป็นที่ยอมรับและยกย่องให้ คิลบีและนอยซ์ เป็นผู้คิดค้นการประดิษฐ์วงจรรวมร่วมกัน (Lee, T. H., 2007) หากเพียงเพราะนอยซ์ได้เสียชีวิตไปก่อน จึงมีเพียงคิลบีเท่านั้นที่ได้รับการประกาศให้รับรางวัลโนเบล สาขาฟิสิกส์ในปี ค.ศ. 2000



ภาพที่ 2 วงจรรวมตัวแรกของโลก (Courtesy of Texas Instruments)

เทคโนโลยีวงจรรวม

วงจรรวม หรือ ไอซี หรือ ไมโครชิป คือ ระบบวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก ที่ถูกออกแบบสร้างและผลิตลงบนพื้นผิวของสารกึ่งตัวนำชิ้นเดียว ซึ่งโดยทั่วไปจะประกอบด้วยอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ เช่น ทรานซิสเตอร์หรือไดโอด และอุปกรณ์แพสซิฟ เช่น ตัวต้านทานหรือตัวเก็บประจุ เป็นหลักเชื่อมต่อกันอยู่ด้วยชั้นของฉนวนและตัวนำ ด้วยความสามารถในการผลิตอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็กจิ๋วนี้ ส่งผลให้ระบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่แต่เดิมมีขนาดใหญ่ต่อกันอย่างซับซ้อน มีสายต่อเชื่อมกันอย่างมากมาย อาทิ หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียูในคอมพิวเตอร์ และแผงวงจรในเครื่องโทรศัพท์มือถือ สามารถหลอมรวมลงบนสารกึ่งตัวนำเล็กๆ ชิ้นเดียว ซึ่งนับวันเทคโนโลยีการผลิตก็ได้รับการพัฒนาให้ดียิ่งขึ้น ทำให้ชิ้นส่วนต่างๆ ถูกลดส่วนจนมีขนาดเล็กลงเรื่อยๆ แต่กลับมีประสิทธิภาพในการทำงานที่สูงขึ้นและราคาที่ถูกลง ดังเช่น คอมพิวเตอร์ในยุคเริ่มต้นที่มีขนาดใหญ่โตเท่ากับห้อง กลับมีขนาดเล็กลงเหลือเพียงขนาดใกล้เคียงหนังสือเล่มเล็กๆ เท่านั้น ประกอบกับการที่เทคโนโลยีวงจรรวมได้ช่วยให้ระบบการสื่อสาร และระบบประมวลผลข้อมูล (Data Processing) ที่ซับซ้อนมีขนาดเล็กลง ทำให้สามารถนำเอาคอมพิวเตอร์มากมายมาเชื่อมโยงกันเป็นโครงข่ายเกิดเป็นระบบอินเทอร์เนตขึ้น และเมื่อการสื่อสารข้อมูลสามารถทำได้อย่างหลากหลายและมีประสิทธิภาพสูง จึงกลายมาเป็นยุคทองของเทคโนโลยีสารสนเทศ (Information Technology) ดังเช่นในปัจจุบัน สิ่งเหล่านี้เป็นผลจากพัฒนาการของการออกแบบวงจรรวมทั้งสิ้น หรืออาจกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า เทคโนโลยีการออกแบบวงจรรวมเป็นโครงสร้างพื้นฐานหลัก (Infrastructure) ที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จเหล่านี้

ในปัจจุบัน การสร้างวงจรรวมนิยมกระทำลงบนแผ่นซิลิกอนเวเฟอร์ (Silicon Wafer) เนื่องจากสารซิลิกอนมีอยู่มากมายในธรรมชาติ ทำให้มูลค่าวัตถุดิบต่ำ กอปรกับกระบวนการสร้างชั้นฉนวนคุณภาพสูงสามารถทำได้ง่าย และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างได้ก็มีประสิทธิภาพที่ดีมากด้วย (สิทธิชัย โภไคยอุดม, 2520; Rabaey, J. M., 2003; Hastings, A., 2001; Geiger, R.L., *et al.,* 1990) โดยทิศทางการพัฒนาจะมุ่งเน้นไปที่การลดขนาดของตัวอุปกรณ์ให้เล็กลงเรื่อยๆ เพื่อที่จะสามารถเพิ่มจำนวนอุปกรณ์ต่อหน่วยพื้นที่ อันเป็นการช่วยลดขนาดของวงจรหรือเพิ่มความสามารถใหม่ๆ ให้กับระบบเดิม จึงช่วยลดต้นทุนการผลิตลงได้ ข้อมูลเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทคโนโลยีการผลิตซีมอสทรานซิสเตอร์ (CMOS Transistor) แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบกระบวนการผลิตซีมอสทรานซิสเตอร์ [9]

เทคโนโลยี	ปีที่เริ่มผลิต	ไฟเลี้ยง	ความถี่ f_T
0.18 μm	2000	1.8 V	70 GHz
0.13 μm	2002	1.2 V	132 GHz
65 nm	2006	1.0 V	140 GHz
45 nm	2008	1.0 V	200 GHz

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบกระบวนการผลิตซีมอสทรานซิสเตอร์ ซึ่งเป็นเทคโนโลยีหลักของการผลิตวงจรรวมในปัจจุบัน เนื่องจากโครงสร้างแบบซีมอสนั้นสามารถสร้างได้ง่าย ความหนาแน่นของอุปกรณ์สูง จึงเหมาะสมกับการผลิตเป็นจำนวนมาก จะเห็นได้ว่าขนาดของเทคโนโลยี ซึ่งวัดจากช่องทางเดินกระแสของทรานซิสเตอร์ที่เล็กที่สุดที่สามารถสร้างได้ มีแนวโน้มเล็กลงเรื่อยๆ โดยคาดหมายว่าจะมีขนาดเล็กถึงระดับ 11 นาโนเมตรภายในปี ค.ศ. 2022 (http://www.itrs.net/reports.html) ในขณะที่เมื่อตัวอุปกรณ์เล็กลงก็จะใช้ระดับแรงดันไฟเลี้ยงน้อยลงและสามารถทำงานได้เร็วขึ้น โดยพิจารณาจากค่าความถี่ทรานซิชัน (Transition frequency, f_T) ด้วยคุณสมบัติเหล่านี้จึงทำให้ระบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์มีราคาถูกลงอย่างต่อเนื่อง แต่กลับมีประสิทธิภาพสูง และมีประโยชน์ใช้สอยหลากหลายมากขึ้น

เห็นชัดว่าปัจจุบันเป็นยุคที่เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ ได้เข้ามาเกี่ยวพันอยู่ในชีวิตประจำวันของเราอย่างมากมาย วิถีชีวิตของคนเราได้ถูกเปลี่ยนแปลงไปจากในอดีตเป็นอย่างมาก เรามีอุปกรณ์หรือสิ่งที่ช่วยเอื้ออำนวยความสะดวกมากขึ้น โดยเฉพาะระบบที่เป็นแบบอัตโนมัติ ตั้งแต่ระบบที่มีขนาดใหญ่จนถึงระบบที่มีขนาดเล็กๆ ตัวอย่างเช่น การเดินทางที่มีระบบอำนวยความสะดวกสบายและรวดเร็วด้วยยานพาหนะต่างๆ การสร้างสรรค์ความบันเทิงจากระบบเครื่องเสียง วิดีโอ เครื่องใช้ไฟฟ้า คอมพิวเตอร์ และระบบภาพยนตร์ที่ทันสมัย การติดต่อสื่อสารระหว่างกันที่รวดเร็วด้วยระบบโครงข่ายความเร็วสูง และเพิ่มความคล่องตัวได้ด้วยระบบการสื่อสารไร้สาย เป็นต้น ซึ่งเบื้องหลังของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ไฮเทคอำนวยความสะดวกที่ชาญฉลาดเหล่านี้ ต่างถูกขับเคลื่อนอยู่ด้วยเทคโนโลยีวงจรรวมทั้งสิ้น โดยในระบบที่มีความซับซ้อนสูง ยังจำเป็นจะต้องมีระบบปฏิบัติการมาควบคุมการทำงานด้วย ซึ่งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบนี้จะถูกเรียกว่า อุปกรณ์ฝังตัว (Embedded) (Jerraya, A. A., 2004; Delpoux, A., 1997; ธนารักษ์ ธีระมั่นคง, 2549) อุปกรณ์ฝังตัวนี้ไม่ใช่เครื่องคอมพิวเตอร์เอนกประสงค์ส่วนบุคคล (Personal Computer, PC) ที่เราคุ้นเคย แต่เป็นระบบวงจรรวมที่ถูกออกแบบมาเพื่อใช้กับอุปกรณ์นั้นๆ โดยเฉพาะ มีระบบปฏิบัติการตามเวลาจริง (Real-time operating system, RTOS) คอยควบคุมการนำข้อมูลเข้ามาจากส่วนรับข้อมูลต่างๆ เช่น อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ หรือ เซนเซอร์ (Sensor) หรืออุปกรณ์รับคำสั่งจากผู้ใช้ แล้วนำมาประมวลผลก่อนจะส่งสัญญาณออกต่อไปเพื่อควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ อาทิ สวิตช์ไฟฟ้า อุปกรณ์เปิด-ปิดมอเตอร์ ระบบตอบโต้ด้วยเสียง และหน้าจอแสดงผล เป็นต้น และถ้าหากสามารถเชื่อมโยงกับการสื่อสารไร้สายได้ ก็จะทำให้ระบบควบคุมอัตโนมัติมีความหลากหลายมากขึ้น เช่น ระบบบ้านอัจฉริยะที่อุปกรณ์ต่างๆ ทำงานได้เองด้วยโปรแกรมที่ตั้งไว้ ปัจจุบันสาขาวิชาการออกแบบ ระบบอุปกรณ์ฝังตัว หรือบางที่เรียก สมองกลฝังตัว มีความสำคัญอย่างมากโดยเฉพาะในระดับอุตสาหกรรมของประเทศ ทั้งนี้เนื่องจากเป็นการออกแบบวงจรรวมโดยเฉพาะเจาะจงของแต่ละผลิตภัณฑ์ เป็นทรัพย์สินทางปัญญา ต้องการนักออกแบบที่มีความสามารถสูง เชี่ยวชาญ และได้รับการฝึกฝนมาเป็นอย่างดี ซึ่งเป็นที่น่าเสียดายว่าประเทศไทยยังขาดแคลนนักออกแบบในด้านนี้อยู่อีกมาก

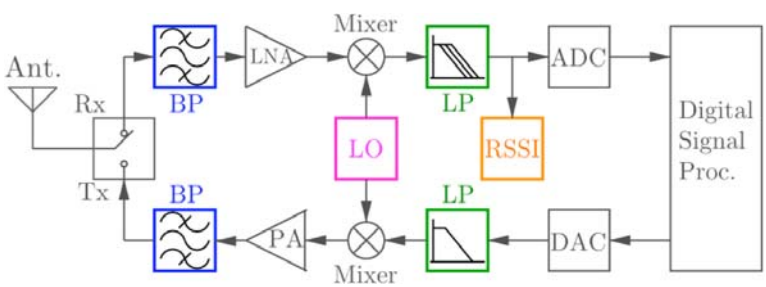
ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่า วงจรรวมทางอิเล็กทรอนิกส์เป็นส่วนประกอบหัวใจสำคัญในอุปกรณ์สมัยใหม่เกือบทุกชนิด ดังนั้นการวิจัยและพัฒนาการออกแบบวงจรรวมของระบบประมวลผลสัญญาณ จึงมีบทบาทสำคัญอย่างสูง ต่อการพัฒนาทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ตลอดจนยังเป็นประโยชน์ ต่อการพัฒนาทางเศรษฐกิจของประเทศด้วย เนื่องจากอุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้าและแผงวงจรรวม อาทิเช่น ระบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โทรศัพท์มือถือ และคอมพิวเตอร์ ปัจจุบันเป็นสินค้าออกอันดับหนึ่งของประเทศ มีมูลค่ารวมกว่า 1.7 ล้านล้านบาท แต่สินค้าส่งออกเหล่านี้ชิ้นส่วนสำคัญส่วนใหญ่นำเข้าจากต่างประเทศ เพื่อนำมาประกอบเป็นผลิตภัณฑ์ในประเทศ โดยอาศัยปัจจัยด้านค่าแรงที่ถูกดังนั้นการส่งออกผลิตภัณฑ์เหล่านี้ประเทศไทยจะได้ประโยชน์เฉพาะในส่วนค่าแรงงานเท่านั้น การออกแบบวงจรรวมจึงเป็นรากฐานที่สำคัญ ต่ออุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ของประเทศ เพราะหากประเทศไทยมีเทคโนโลยีทางการประดิษฐ์ และออกแบบวงจรรวมซึ่งขอเรียกรวมๆ ว่าเทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ หรือ องค์ความรู้ทางการออกแบบวงจรรวมของตนเอง ผลิตภัณฑ์จากประเทศก็จะมีมูลค่าเพิ่มและมีราคาที่แข่งขันได้ในตลาดโลก เนื่องจากไม่มีค่าลิขสิทธ์หรือค่าเทคโนโลยีที่ต้องบวกเพิ่มเข้ามาในราคาสินค้า

โดยเฉพาะอย่างยิ่งขณะนี้ไทยมีส่วนแบ่งในตลาดโลกเพียง 2% เท่านั้น ยังมีช่องว่างอีกมากที่จำเป็นต้องเร่งพัฒนาเพื่อเสริมสร้างความเข้มแข็งให้กับเศรษฐกิจของชาติในอนาคต

วงจรรวมสำหรับการสื่อสารไร้สาย

ในรอบตัวเราทุกวันนี้ รายล้อมไปด้วยอุปกรณ์อำนวยความสะดวกและเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ที่ทันสมัย ที่ช่วยให้กิจกรรมต่างๆในชีวิตประจำวันผ่านพ้นไปอย่างราบลื่นสะดวกสบาย อาทิเช่น ระบบการสื่อสารผ่านใยแก้วนำแสง ระบบอินเตอร์เน็ต ระบบโทรศัพท์ไร้สาย ระบบโครงข่ายสื่อสารข้อมูลไร้สาย (Wireless Local Area Network, WLAN) และ ระบบสื่อสารส่วนบุคคลไร้สาย (Wireless Personal Area Network, WPAN) ซึ่งได้แก่ Bluetooth, Home Radio Frequency และ ระบบ UWB (Ultra Wideband) เป็นต้น โดยเฉพาะระบบการสื่อสารไร้สายนั้น ได้อำนวยความสะดวกให้กับผู้ใช้เป็นอย่างมาก ทำให้การเชื่อมต่อถึงกันทำได้โดยไม่จำเป็นต้องใช้สายต่อให้ยุ่งยาก กลุ่มวิจัยชั้นนำทั้งในระดับมหาวิทยาลัยและอุตสาหกรรมทั่วโลก จึงทุ่มความพยายามเต็มที่ในการพัฒนาระบบสื่อสารไร้สาย ให้เกิดความหลากหลายในการประยุกต์ใช้งานและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้มากขึ้น ที่สำคัญคือการพัฒนาระบบสื่อสารไร้สาย เพื่อการเชื่อมโยงข้อมูลของ อุปกรณ์ตรวจจับ (Sensor) หรือ อุปกรณ์แปลงสัญญาณ (Transducer) แบบต่างๆ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น เป็นต้น เข้ากับระบบประมวลผลสัญญาณ กลายเป็นโครงข่ายอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณไร้สาย (Wireless Sensor Network) ที่มีประโยชน์ใช้งานได้มากมาย (Gudnason, G. & Bruun, E., 1997; Hafez, A. A., *et al*., 2009; Sovlukov, A. S. & Tereshin, V. I., 2004; Barrows, G. L. & Krantz, B., 2000; Yuce M. R., *et al*., 2007) และนับวันจะมีการขยายการประยุกต์ใช้ออกไปกว้างขวางขึ้นทั้งในด้านวิทยาศาสตร์ (Sovlukov, A. S. & Tereshin, V. I., 2004; Barrows, G. L. and Krantz, B., 2000) ด้านการแพทย์ (Yuce M. R., *et al*., 2007; Zhen, B., *et al*., 2009) ด้านอุตสาหกรรม (Flammini, A., *et al*., 2009) และด้านการเกษตร (Wang, N. *et al*., 2006; Kabashi, A. H. & Elmirghani, J. M. H., 2008) เพื่อสร้างเป็นเครือข่ายตรวจสอบทั้งในโรงงานอุตสาหกรรมธุรกิจบริการธุรกิจขนส่งสินค้า (Tran- sportation Logistic) หรือในเชิงชีวภาพทางการแพทย์ (Biology and Medicine) ต่างๆ เพื่อการตรวจและรักษาพยาบาลด้วยการแพทย์ทางไกล (Telemedicine) หรือ ทางด้านอุตสาหกรรมเกษตรและอาหาร โดยการเพิ่มผลผลิตทางเกษตรด้วยการตรวจวัดปริมาณที่บ่งชี้สภาพแวดล้อมเพื่อสร้างระบบเกษตรกรรมความแม่นยำสูง (Precision Agriculture) หรือระบบติดตามผลิตผลทางการเกษตร อาหารแปรรูป อาหารแช่แข็ง และอื่นๆ (Agriculture and food traceability system) ซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการพัฒนาองค์ความรู้ด้านเทคนิค การออกแบบวงจรรวมขั้นสูงสำหรับการสื่อสารให้มีความสามารถในการส่งข้อมูลได้มากขึ้นแต่กินกำลังไฟฟ้าน้อย ซึ่งในแต่ละองค์ประกอบนักวิจัยการออกแบบวงจรรวมจำเป็นต้องมีองค์ความรู้ ทั้งในด้านอุปกรณ์ตรวจจับ ความรู้ด้านระบบการประมวลผลข้อมูล และระบบการประมวลสัญญาณการสื่อสาร หรือ ระบบมัลติมิเดียต่างๆ ซึ่งมีความหลากหลาย และมีพัฒนาการไปอย่างมากมาย เพื่อที่จะสามารถออกแบบระบบให้เหมาะสมกับการประยุกต์นั้นๆ ได้

ดังนั้น การวิจัยการออกแบบวงจรรวมสำหรับการสื่อสารไร้สาย จึงมีความสำคัญต่อประเทศเป็นอย่างมาก เพราะไม่เพียงธุรกิจอุตสาหกรรมเท่านั้นที่จะได้ประโยชน์ แต่ยังรวมถึงด้านเกษตรกรรมที่เป็นพื้นฐานสำคัญของชาติ การพัฒนาด้านสาธารณสุขอนามัย ตลอดจนการพัฒนาคุณภาพชีวิตของประชาชนคนไทยทั้งประเทศอีกด้วย ทั้งนี้เนื่องจากในอนาคตอุปกรณ์ทั้งหลายจะถูกเชื่อมต่อกันแบบไร้สาย จึงมีความคล่องตัวสูงและสามารถประยุกต์ใช้งานได้มากมาย เกี่ยวข้องกับศาสตร์ในหลายสาขาวิชา เช่น การสื่อสารโทรคมนาคม เทคโนโลยีสารสนเทศ ระบบการศึกษาทางไกล การขนส่งสินค้า ระบบอำนวยความสะดวก ระบบควบคุม ระบบการรักษาทางการแพทย์ ระบบทางธุรกิจ และระบบทางการเกษตรและอาหาร



ภาพที่ 3 โครงสร้างพื้นฐานของระบบสื่อสารไร้สาย

โครงสร้างพื้นฐานทั่วไปของระบบการสื่อสารไร้สายสามารถแสดงได้ตามแผนภาพภาพที่ 3 ซึ่งมีองค์ประกอบหลักที่สำคัญสองส่วน นั่นคือ ส่วนภาครับ (Receiver, Rx) และส่วนภาคส่ง (Transmitter, Tx) ซึ่งเรียกโดยรวมว่าเครื่องรับ-ส่ง (Transceiver, Tx/Rx) โดยทั้งสองส่วนจะเชื่อมต่อกับสายอากาศ (Antenna) ผ่านอุปกรณ์ทวิสัญญาณ (Duplexer) ซึ่งอาจจะสร้างขึ้นจากสวิทช์ (Switch) หรือตัวกรองความถี่ (Filter) ขึ้นอยู่กับมาตรฐานของการสื่อสารที่เลือกใช้ (Carols, J. & Steyaert, M., 2008; Sun, Y. *ed*., 2004; Srisuchinwong, B., *et al*., 2001; Lee, T. H., 2004; Caverly, R., 2007)

ในส่วนการทำงานของภาครับ หลังจากสายอากาศรับและแปลงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสัญญาณไฟฟ้า วงจรกรองภาคต้น (Pre-filter) แบบกรองแถบความถี่ผ่าน (Bandpass, BP) จะทำการลดทอนช่วงความถี่สัญญาณนอกย่านที่สนใจ เพื่อป้องกันการทำงานในช่วงภาระเกิน (Overload) ของส่วนวงจรขยายสัญญาณรบกวนต่ำ (Low noise amplifier, LNA) จากผลของสัญญาณภายนอกย่านความถี่ที่ต้องการ ซึ่งอาจจะมีขนาดใหญ่กว่าสัญญาณในย่านที่ต้องการมาก วงจร LNA ทำหน้าที่ในการขยายสัญญาณโดยมีการเพิ่มสัญญาณรบกวนจากภายในวงจรที่ต่ำ ทั้งนี้ เนื่องจากสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศผ่านตัวกรองนั้นส่วนใหญ่แล้วจะมีระดับที่ต่ำมากก่อนจะส่งเข้าสู่วงจรผสมสัญญาณ (Mixer) ซึ่งจะผสมสัญญาณวิทยุที่รับได้เข้ากับสัญญาณจากวงจรกำเนิดสัญญาณท้องถิ่น (Local Oscillator, LO) เพื่อทำการโอนย้ายช่วงความถี่จากย่านสูงลงมาที่ย่านต่ำในช่วงความถี่กลาง (Intermediate frequency, IF) ที่กำหนด (ซึ่งอาจอยู่ที่ไฟตรง) ทั้งนี้ ในย่านความถี่ที่ต่ำลงนั้น การสร้างวงจรกรองเลือกช่องสัญญาณ (Channel select filter) รวมถึงการประมวลผลสัญญาณ (Signal processing) สามารถทำได้ง่ายและมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น และมีส่วนวงจรวัดค่าความแรงของสัญญาณ (Received signal strength indication, RSSI) เป็นส่วนชี้วัดระดับกำลังของสัญญาณเพื่อใช้ปรับอัตราขยายของภาครับให้เหมาะสมกับสัญญาณด้วย จากนั้นสัญญาณจะถูกแปลงเป็นข้อมูลเชิงดิจิตัลด้วยวงจรแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิตัล (Analogue to digital converter, ADC) เพื่อทำการประมวลผล เช่น การดีมอดูเลต (Demodulation) การถอดรหัส (Decoding) และอื่นๆ ต่อไป เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ต้องการ

ในส่วนของภาคส่งจะมีการเข้ารหัส (Encoding) หรือการมอดูเลต (Modulation) ข้อมูลเชิงดิจิทัล ในรูปแบบที่ต้องการก่อนที่จะแปลงเป็นสัญญาณแอนะล็อกผ่านส่วนแปลงดิจิทัลเป็นแอนะล็อก (Digital to analogue converter, DAC) และส่งผ่านไปยังส่วนกรองเพื่อทำการปรับสเปกตรัมสัญญาณข้อมูล ให้จำกัดอยู่ในช่วงความถี่และระดับที่ต้องการ จากนั้นทำการโอนย้ายสัญญาณข้อมูลขึ้นสู่ความถี่คลื่นพาห์ ด้วยวงจรผสมสัญญาณ ทั้งนี้ ก่อนที่สัญญาณจะถูกส่งไปยังสายอากาศเพื่อทำการแพร่กระจายในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เราจำเป็นต้องทำการขยายสัญญาณให้มีกำลังสูงพอด้วยวงจรขยายกำลัง (Power amplifier, PA) เพื่อให้คลื่นสามารถเดินทางครอบคลุมระยะทางในบริเวณกว้าง โดยทั่วไปกำลังส่งที่ต้องการจะมีค่าตั้งแต่ระดับไม่กี่สิบมิลลิวัตต์ ในระบบไร้สายระยะสั้น (เช่น ระบบ WPAN) ไปจนถึงหลายร้อยมิลลิวัตต์ (เช่นระบบ WLAN) และหลายวัตต์ (เช่นระบบ GSM) ขึ้นอยู่กับการใช้งาน โดยอาจเรียกระบบแบบนี้โดยรวมว่า วงจรรวมวิทยุไร้สาย (Radio-frequency integrated circuits, RFIC) (Lee, T. H., 2004; Caverly, R., 2007)

โดยข้อกำหนดการออกแบบระบบวงจรรวมสำหรับการสื่อสารไร้สาย จะมีจุดเน้นที่ต่างกันไปตามการประยุกต์ใช้งาน อาทิ อุปกรณ์ระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ (Radio Frequency Identification Card, RFID) แบบป้ายระบุ (Tag) (Domdouzis, K. *et al.,* 2007; Seemann, K. & Weigel, R., 2005) หรือ บัตรผ่านประตู (Access Control System) (Lee, Y. W., 2006) เป็นอุปกรณ์ที่ไม่ต้องการการประมวลผลข้อมูลมาก เพราะมีการเก็บข้อมูลบางประการไว้เท่านั้น แต่มีความต้องการใช้เป็นจำนวนมาก ราคาจึงต้องถูก เช่นนี้ก็สมควรเลือกโครงสร้างประสิทธิภาพต่ำที่มีความซับซ้อนน้อย ในขณะที่อุปกรณ์พวกบัตรเอนกประสงค์ หรือ Smart Card ต่างๆ อาจต้องมีการประมวลผลข้อมูลมากขึ้น ต้องใช้โครงสร้างที่ดีขึ้นด้วย ส่วนระบบอุปกรณ์ที่ใช้ในทางอุตสาหกรรม หรือ ทางชีวภาพการแพทย์ (Biology and Medicine) ต้องมีการประมวลผลข้อมูลหลายรูปแบบ เช่น ผลการตรวจจับอุณหภูมิ ผลการตรวจวัดความดัน หรือ ผลการตรวจจับสัญญาณไฟฟ้าต่างๆ (Conghui, X., *et al.,* 2009; Hierold, C. *et al*., 1999) อุปกรณ์เหล่านี้อาจต้องมีการประมวลผลข้อมูลที่ซับซ้อน นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับลักษณะการประยุกต์ใช้งาน เช่น ระบบอุปกรณ์ไร้สายแบบฝังตัว (Implantable or Embedded) (Suster, M. *et al.,* 2002; Tin, S., *et al.,* 2008) ซึ่งบางแบบสามารถมีแบตเตอรี่ที่ถอดเปลี่ยนง่ายภายในตัวเองได้ แต่ในบางการประยุกต์ใช้ เช่น การฝังอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายในร่างกายคนหรือสัตว์ การเปลี่ยนถ่ายแบตเตอรี่อาจไม่สะดวก จึงต้องออกแบบให้เป็นอุปกรณ์ที่ไม่มีแบตเตอรี่ในตัวเอง (Batteryless devices) แต่ใช้วิธีการนำเอาสัญญาณจากภายนอก มาสร้างเป็นศักย์ไฟฟ้าเพื่อจ่ายให้วงจร หรือมี

ระบบประจุไฟจากภายนอกโดยใช้หลักการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก (Sodagar, A. M. & Najafi, K., 2006; Sauer, C., *et al.,* 2005) เป็นต้น ด้วยความหลากหลายนี้ทำให้มีประเด็นการวิจัยอยู่มากในหลากหลายสาขาวิชา

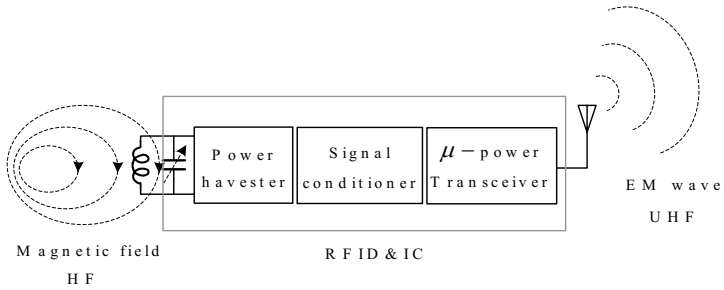
ทิศทางการวิจัยพัฒนา

เนื่องจากข้อดีของธาตุซิลิกอน ทั้งในเรื่องราคาและประสิทธิภาพ ดังที่ได้กล่าวไว้ในตอนต้น ทำให้อุตสาหกรรมการออกแบบวงจรรวมถูกวางอยู่บนพื้นฐานของกระบวนการผลิตสารกึ่งตัวนำซิลิกอน โดยรูปแบบของทรานซิสเตอร์ที่นิยมใช้มีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิดหลัก นั่นคือ เทคโนโลยีไบโพล่าร์ (Bipolar technology) และเทคโนโลยีซีมอส (CMOS technology) เดิมนั้นเทคโนโลยีไบโพล่าร์มักใช้กับการออกแบบวงจรรวมแอนะล็อก ส่วนเทคโนโลยีซีมอสนิยมใช้ในการออกแบบวงจรรวมดิจิตัล โดยเฉพาะหน่วยความจำและหน่วยประมวลผลกลาง แต่เนื่องจากเทคโนโลยีซีมอสมีการพัฒนาอย่างรวดเร็วมาก ราคาถูกและสร้างได้ง่าย กอปรกับมีความต้องการรวมส่วนประมวลผล ทั้งแบบแอนะล็อกและดิจิตัลเข้าด้วยกัน ทำให้ความนิยมในการออกแบบวงจรรวมด้วยเทคโนโลยีไบโพล่าร์มีน้อยลง แต่อย่างไรก็ตาม ในบางการประยุกต์ใช้งาน ยังคงมีความต้องการใช้เทคโนโลยีไบโพล่าร์อยู่บ้าง โดยเฉพาะวงจรรวมที่ใช้งานด้านความถี่สูง และวงจรที่ต้องการใช้ไฟเลี้ยงและกำลังงานต่ำ (Grebene, B., 1978; Meyer, R. G., 1978; Gray, P. R. & Meyer, R. G., 1993; Gregorian R. & Temes, G. C., 1986) นอกจากนี้ยังมีเทคโนโลยีสารกึ่งตัวนำชนิดอื่น เช่น แกลเลียมอาร์เซไนด์ (Gallium Arsenide, GaAs) (Harrold, S. J., 1997) และซิลิกอนเจอร์เมเนียม (Silicon Germanium, SiGe) ที่นิยมใช้ออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในย่านความถี่สูงมากๆ แต่เนื่องจากกระบวนการผลิตของสารกึ่งตัวนำข้างต้นมีมูลค่าสูง การพัฒนาส่วนใหญ่ จึงยังคงนิยมกระทำบนเทคโนโลยีซิลิกอนแบบซีมอสนั่นเอง

จากหัวข้อที่ผ่านมา อาจกล่าวได้ว่า การออกแบบวงจรประมวลผลสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ ประกอบด้วย 2 ส่วนสำคัญ คือ ภาคประมวลผลสัญญาณแอนะล็อก (Analog Signal Processing) และภาคประมวลผลสัญญาณดิจิตัล (Digital Signal Processing) เป็นที่ยอมรับกันว่า การออกแบบระบบวงจรประมวลผลสัญญาณดิจิตัลนั้น ได้มีการพัฒนาก้าวหน้าไปอย่างมาก โดยมีการพัฒนาเซลย่อย หรือกลุ่มวงจรมาตรฐานที่เรียกใช้ได้ครอบคลุมเกือบทั้งหมด มีกระบวนการออกแบบที่มีประสิทธิภาพสูง ประหยัดเวลา และไม่ยึดติดกับเทคโนโลยีที่ใช้ออกแบบ (Technology Independent) เรียกว่า กระบวนการ Top-Down Design โดยกระบวนการในการออกแบบเป็นระบบวงจรนี้ สามารถใช้โปรแกรมบรรยายฮาร์ดแวร์ (Hardware Description Language) เช่น VHDL หรือ VerilogHDL ซึ่งมีลักษณะคล้ายการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการออกแบบ แล้วใช้โปรแกรมช่วยสังเคราะห์วงจรขึ้นมาได้ จากนั้น การจำลองการทำงานและทดสอบวงจรบนฮาร์ดแวร์สามารถทำได้ทั้งแบบบนชิปสำเร็จรูป เช่น เอฟพีจีเอ (Field Programmable Gate Arrays, FPGA) และบนชิปสั่งผลิตเฉพาะแบบเอซิก (Application Specific Integrated Circuits, ASICs) (Anara, A., *et al.,* 2006) ทำให้การวิจัยและพัฒนาในส่วนการประมวลผลสัญญาณดิจิตัลโดยทั่วไป มุ่งเน้นไปที่อัลกอริธึม (algorithm) ของการประมวลผล มากกว่าการพัฒนารูปแบบวงจร ซึ่งแตกต่างจากวงจรรวมประมวลผลสัญญาณแอนะล็อก ที่ไม่สามารถทำเช่นนั้นได้ จึงเป็นความท้าทายสำคัญที่จำเป็นต้องได้รับการพัฒนาอีกมาก

ที่ผ่านมาทางกลุ่มวิจัยได้มีการติดตามการพัฒนา และมีส่วนนำเสนอหลักการออกแบบวงจรสร้างฟังก์ชันทางด้านแอนะล็อกของระบบประมวล ผลสัญญาณไว้แล้วหลากหลายหลักการ (Jiraseree-amornkun, A., *et al.,* 2008; Jiraseree-amornkun, A. & Surakampontorn, W., 2008; Kumwachara, K., *et al*., 2000; Surakampontorn, W., 1992; Surakampontorn, W. & Kumwachara, K., 1992; Surakampontorn, W., *et al*., 1991) แต่เนื่องจาก เทคโนโลยีการผลิตวงจรรวมมีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว ดังแสดงในตารางที่ 1 และเมื่อเทคโนโลยีเปลี่ยนองค์ประกอบในการออกแบบวงจรรวมแอนะล็อกก็จะต่างกันออกไป ดังนั้น ทางกลุ่มวิจัยจึงมุ่งเน้นไปที่การศึกษาและพัฒนา เทคนิคการออกแบบวงจรรวมด้วยเทคโนโลยีซีมอส สำหรับการออกแบบสร้างฟังก์ชันทางแอนะล็อก ที่มีประสิทธิภาพสูง แต่ใช้กำลังงานและระดับไฟเลี้ยงต่ำ (Low-Power Low-Voltage) (Casallo, R. *et al*., 1995; Coban, L., *et al*., 1995; Zele, R. H. & Allstot, D. J., 1996; Shen, S. & Brodersen, R., 1998)

จากแผนภาพวงจรภาพที่ 3 จะเห็นว่า วงจรสื่อสารไร้สายทั่วไปประกอบขึ้นจาก วงจรพื้นฐานหลัก (Circuit Building Block) หลายๆ ส่วนประกอบกัน วงจรเหล่านี้จำเป็นต้องได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ในขณะที่ใช้พื้นที่และกำลังงานลดลง และสอดคล้องกับเทคโนโลยีที่ปรับเปลี่ยนไป ปัจจุบัน การพัฒนาระบบให้ทำงานได้ที่ไฟเลี้ยงระดับต่ำกว่า 0.5 โวลต์ กำลังได้รับความสนใจจากนักวิจัยนานาชาติ



ภาพที่ 4 โครงสร้างพื้นฐานของวงจรรวมผสาน RFID&IC [56]

เป็นอย่างมาก (Chatterjee, S., *et al*., 2007; Daly D. C. & Chandrakasan; A. P., 2008) เนื่องจากช่วยยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ได้ดียิ่งขึ้น ประเด็นสำคัญอีกอันหนึ่งคือ คุณสมบัติของวงจรแต่ละภาคส่วน จะแตกต่างกันไปตามมาตรฐานและการประยุกต์ใช้งาน ดังนั้นจึงเป็นเรื่องน่าสนใจหากเราสามารถออกแบบระบบที่สามารถปรับเปลี่ยนตัวเองได้ (reconfigurable) เพื่อสร้างระบบสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุที่สามารถควบคุมได้ด้วยซอร์ฟแวร์ (Software-Defined Radio, SDR) (Giannini, V., *et al*., 2008; Mitola, J., 2000) อันจะช่วยลดต้นทุนการผลิตและพัฒนา เนื่องจากสามารถใช้ระบบเดิมได้กับทุกๆ มาตรฐานการประยุกต์ใช้งาน

อีกโครงการที่ทางกลุ่มวิจัยกำลังดำเนินการ คือการสร้างวงจรรวมสื่อสารที่อาศัยการผสมผสานจุดเด่นของระบบ RFID ซึ่งทำงานโดยอาศัยการส่งผ่านกำลังงานแบบไร้สาย (Wireless power) ทำให้ไม่จำเป็นต้องอาศัยแบตเตอรี่ เข้ากับความสามารถในการสื่อสารข้อมูลแบบโครงข่ายด้วยอัตราความเร็วสูงและมีระยะรับ-ส่งที่ไกลของระบบ RFIC (อภิศักดิ์ วรพิเชฐ และ วัลลภ สุระกำพลธร, 2552; Harisson, R., *et al*., 2007) ภาพที่ 4 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของวงจรรวมผสาน RFID&IC ซึ่งประกอบไปด้วย 1) ภาคแปลงสัญญาณย่านความถี่สูง (High frequency, HF) เป็นกำลังงานจ่ายให้กับวงจรรวมผ่านการเชื่อมโยงแม่เหล็ก 2) ภาคปรับคุณลักษณะสัญญาณ (Signal conditioner) ที่ทำหน้าที่ขยาย กรองความถี่ และแปลงสัญญาณข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมกับการสื่อสารรับ-ส่งไร้สาย 3) ภาครับ-ส่งวิทยุผ่านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่ทำงานในย่านความถี่สูงยิ่งยวด (Ultra-high frequency, UHF) และ 4) ภาคควบคุมการทำงาน (Control unit) ขององค์ประกอบระบบให้สอดคล้องกัน

จากโครงสร้างของวงจรรวมสื่อสารแบบผสานที่แสดงข้างต้น จะเห็นว่า คุณลักษณะเด่นคือการแยกย่านความถี่สำหรับการส่งผ่านกำลังงานไร้สาย (Power frequency band) และย่านความถี่สำหรับการสื่อสารข้อมูล (Communication frequency band) ออกจากกันอย่างสิ้นเชิง ทั้งนี้ ระบบเลือกที่จะอาศัยย่านความถี่ HF ในการโอนถ่ายกำลังงาน เนื่องจากมีปัญหาการดูดซับและสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จากสภาพแวดล้อมโดยเฉพาะวัสดุจำพวกโลหะ โมเลกุลน้ำ และเนื้อเยื่อสิ่งมีชีวิตที่ต่ำ ในขณะที่อาศัยย่านความถี่ UHF ในการสื่อสารข้อมูลผ่านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมีระยะไกลและมีอัตราข้อมูลสูง

ในแง่การประยุกต์ใช้งานระบบผสาน RFID&IC นั้น สามารถนำไปแทนที่ระบบ RFID ส่วนใหญ่ที่มีความต้องการบริเวณสื่อสารที่ครอบคลุมพื้นที่กว้างได้ทันที เช่นในกรณีของโครงข่ายเซนเซอร์ไร้สาย เพื่อการตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้น และอื่นๆ นอกจากนี้ จากความสามารถใช้งานในสภาวะแวดล้อมที่มีการดูดซับและสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สูง รวมถึงความสามารถในการเชื่อมโยงข้อมูลในแบบโครงข่าย จึงทำให้วงจรรวมผสาน RFID&IC เหมาะสมสำหรับการสื่อสารสัญญาณชีวภาพในระบบปลูกฝัง (Implanted bio telemetry system) เพื่อการตรวจติดตามและวินิจฉัยทางการแพทย์ทางไกล รวมถึงการเก็บข้อมูลเชิงพันธุกรรมในเชิงเวลาจริง (Real-time genetic data recording) ที่จำเป็นต้องมีการปลูกฝังเซนเซอร์ภายในสิ่งมีชีวิต ทั้งนี้ การใช้งานระบบผสานยังรวมถึงระบบติดตามผลิตผลทางการเกษตร อาหารแปรรูป อาหารสำเร็จรูป และอื่นๆ ซึ่งมีองค์ประกอบของโมเลกุลน้ำเป็นส่วนใหญ่ โดยที่การใช้งานระบบ RFID เพียงลำพังในปัจจุบันยังประสบปัญหาและมีราคาที่สูงมาก

บทสรุป

เทคโนโลยีวงจรรวมได้เปลี่ยนโฉมหน้าของวงการอิเล็กทรอนิกส์ไปอย่างมาก และได้กลายเป็นอุตสาหกรรมหลักที่ขับเคลื่อนวิถีชีวิตยุคดิจิตัลของเรา อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เหล่านี้รวมถึงระบบประมวลผลสัญญาณ ในอนาคตจะเข้ามามีบทบาทสำคัญในชีวิตประจำวันมากยิ่งขึ้นโดยเฉพาะระบบการสื่อสารไร้สาย

ที่จะช่วยเชื่อมโยงอำนวยความสะดวกทำให้ชีวิตของเราดีขึ้น ทั้งในเรื่อง การปรับปรุงวิถีชีวิตและคุณภาพชีวิตประจำวัน ความปลอดภัยและสุขภาพอนามัย การศึกษาและโอกาสทางธุรกิจ การบริหารจัดการและการกระจายทรัพยากร ระบบอำนวยความสะดวกอัจฉริยะเหล่านี้กำลังจะกลายเป็นจริงในไม่ช้า อย่างไรก็ตาม การพัฒนาด้านการออกแบบวงจรรวมอิเล็กทรอนิกส์ภายในประเทศยังต้องได้รับการเร่งสนับสนุนอีกมาก เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของคนในชาติ และเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันในเวทีโลก มิเช่นนั้นแล้ว เราคงเป็นได้เพียงผู้บริโภคเทคโนโลยีตลอดไป

เอกสารอ้างอิง

ธนารักษ์ ธีระมั่นคง. (2549). บรรณาธิการแปลและเรียบเรียง เทคโนโลยีสมองกลแบบฝังตัว (Embedded Technology) สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

สิทธิชัย โภไคยอุดม. (2520). *การวิเคราะห์และสังเคราะห์วงจรรวม เล่มที่ 1*. คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จำนวน 546 หน้า.

อภิศักดิ์ วรพิเชฐ และวัลลภ สุระกำพลธร. (2552). ระบบวงจรรวมผสาน RFID&IC, รายงานภายในกลุ่มวิจัยด้านไมโครอิเล็กทรอนิกส์เพื่อการสื่อสาร.

Anara, A., Amiel, F. & Ea, T. (2006). FPGA vs. ASIC for Low Power Applications. *Microelectronics Journal*, Vol.37, pp.669-677.

Barrows, G. L. & Krantz, B. (2000). Integrated RF Sensors for Electronic Warfare Applications. In *Proceedings of the 2000 IEEE International Symposium on Circuits and Systems,* Switzerland, May 28-31, pp.V-189–V-192.

Bondyopadhyay, P. K. (1998). W=Shockley, the Transistor Pioneer- Portrait of an Invention Genius. *Proceedings of the IEEE*, Vol.86, No.1, pp.191-216.

Brinkman, W. F., Haggan, D. E. & W.W., Troutman, W. W. (1997). A History of the Invention of the Transistor and Where It Will Lead Us. *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, Vol.32, No.12, pp.1858-1865.

Casello, R. *et al.* (1995). Low-voltage analog filters. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I,* vol.42, pp.827-840.

Caverly, R. (2007). *CMOS RFIC Design Principles*. Artech House.

Chatterjee, S.K., Pun, P., Stanic, N., Tsividis, Y., & Kinget, P. (2007). *Analog circuit design techniques at 0.5V*, Springer.

Coban, L., Allen, P. E., & Shi, X. (1995). Low-voltage analog IC design in CMOS technology. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I,* Vol.42, pp.955-958.

Conghui, X. *et al.* (2009). An Ultra-Low-Power CMOS Temperature Sensor for RFID Applications. *Journal of Semiconductors*, Vol.30, pp.045003-1 – 045003-4.

Crols, J., and Steyaert, M. (1997). *CMOS Wireless Transceiver Design*, Kluwer Academic Publishers.

Daly, D. C. and Chandrakasan, A. P. (2008). A 6b 0.2-to-0.9 V Highly Digital Flash ADC with Comparator Redundancy. In *IEEE International Solid-State Circuits Conference Digest of Technical Papers*, pp. 554–556.

Delpoux, A. (1997). Motorola and MEMMS: The Way up to a Surface Micromachined Accelerometer. *Microelectronics Journals*, Vol.28, pp.381-387.

Domdouzis, K., Kumar B. & Anumba, C. (2007). Radio-Frequency Identification (RFID) Applications: A brief Introduction," *Advanced Engineering Informatics*, Vol.21, pp.350-355.

Flammini, A. *et al.* (2009). Wired and Wireless Sensor Networks for Industry Applications. *Microelectronics Journal*, Vol.40, pp.1322-1336.

Geiger, R. L., Allen, P. E., & N.R. Strader, N. R. (1990). *VLSI Design Techniques for Analog and Digital Circuits*, McGraw-Hill.

Giannini, V., Craninckx, J., & Baschirotto, A. (2008). *Baseband Analog Circuits for Software Defined Radio*, Springer.

Gray. P. R., & Meyer, R.G. (1993). *Analysis and design of analog integrated circuits*, Wiley, New York.

Grebene, B. (Ed.). (1978). *Analog integrated circuits*, IEEE Press, New York.

Gregorian R., & Temes, G. C. (1986). *Analog MOS integrated circuits for signal processing*, Wiley, New York.

Gudnason, G. & Bruun, E. (1997). *CMOS Circuit Design for RF Sensors,* Kluwer Academic Publishers.

Hafez, A. A., Dessouky M.A., & Ragai, H.F. (2009). Design of a Low-Power ZigBee Receiver Front-End for Wireless Sensors. *Microelectronics Journal*. doi:10.1016/j.mejo.2009.03. 002

Harisson, R., *et al.* (2007). A low-power integrated circuit for a wireless 100-electrode neural recording System. *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 42, no. 1, pp. 123–133.

Harrold, S. J. (1997). *An introduction to GaAs IC design*, Prentice-Hall International.

Hastings, A. (2001). *The Art of Analog Layout*, Prentice Hall.

Hierold, C. *et al.* (1999). Low Power Integrated Pressure Sensor System for Medical Applications. *Sensors and Actuators*, Vol.73, pp.58-67.

The International Technology Roadmap for Semiconductors, ITRS 2007, 2007 (Online). [Accessed 22nd September 2009] Available: http://www.itrs.net/reports.html

Jerraya, A. A. (2004). Long Term Trends for Embedded System Design, In *Proceedings of the 2004 Euromicro Symposium on Digital System Design*, 31Aug.-3 Sept., pp.20-26.

Kabashi A. H., & Elmirghani, J. M. H. (2008). A Technical Framework for Designing Wireless Sensor Networks for Agriculture Monitoring in Developing Regions. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Next Generation Mobile Applications, Services, and Technologies*, Cardiff, Wales, UK, 16-19 Sept., pp.395-401.

Jiraseree-amornkun A., & Surakampontorn, W. (2008). Efficient implementation of tunable ladder filters using multi-output current controlled conveyors. *International Journal of Electronics and Communication* (AE), Vol.62, no.1, pp.11-23.

Jiraseree-amornkun, A., Woraphishet A., Klumperink, E. A. M., Nauta, B., & Surakampontorn, W. (2008). Theoretical Analysis of Highly Linear Tunable Filters using Switched-Resistor Technique. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, Vol.55, no.11, pp.1508-1514.

Kumwachara , K., Surakampontorn, W., & Fujii, N. (2000). Low-voltage current mode power factor function generator. *IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, Vol.E83-A, no.2, pp. 172-178.

Lee, T. H. (2004). *The Design of CMOS Radio-Frequency Integrated Circuits*, Cambridge Univ. Press.

Lee, T. H. (2007). The (Pre-) History of the Integrated Circuit: A Random Walk. *IEEE Solid-State Circuits Society Newsletter*, Vol.12, No.2, pp.16-22.

Lee, Y.-W., Stuntebeck, E., & Miller, S.C. (2006). MERIT: Mesh of RF Sensors for Indoor Tracking. In *Proceedings of the 3rd Annual IEEE Communications Society on Sensor and Ad Hoc Communications and Networks*, pp.545-554.

Meyer, R.G., (Ed.). (1978). *Integrated circuit operational amplifiers,* IEEE Press, New York.

Mitola, J. (2006). Software radio architecture: object-oriented approaches to wireless systems. Wiley, New York.

Rabaey, J.M., Chandrakasan, A.P., & Nikolic, B. (2003). *Digital Integrated Circuit*, Prentice Hall.

Sauer, C. *et al.* (2005). Power Harvesting and Telemetry in CMOS for Implanted Devices. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, Vol.52, No.12, pp.2605-2613.

Seemann. K., & Weigel, R. (2005). Ultra-Low-Power Rectification in Passive RFID Tags at UHF Frequencies. *Frequenz*, Vol.59, pp.5-6.

Shen, S., & Brodersen, R. (1998). *Low-Power CMOS Wireless Communications A Wideband CDMA System Design*, Kluwer Academic Publishers.

Sodagar, A.M. & Najafi, K. (2006). Extremely-Wide-Range Supply-Independent CMOS Voltage References for Telemetry-Powering Applications," *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, Vol.46, pp.253-261.

Sovlukov, A.S. & Tereshin, V.I. (2004). Measurement of Liquefied Petroleum Gas Quantity in a Tank by Radio-Frequency Techniques. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol.53, No.4, pp.1255-1261.

Srisuchinwong, B., Surakampontorn, W., & Tantaratana, S. Eds. (2001). *Circuit for Wireless Communications,* IEEE Press.

Sun, Y., Ed. (2004). *Wireless Communication Circuits and Systems*, The Institution of Electrical Engineers, London.

Surakampontorn, W. (1992). CMOS floating voltage-controlled negative resistors. *Electronics Letters,* Vol.28, pp.1457-1458.

Surakampontorn, W. & Kumwachara, K. (1992). CMOS-based electronically tunable current conveyor. *Electronics Letters,* Vol.28, pp.1316-1317.

Surakampontorn, W., Riewruja, V., Kumwachara, K. & Dejhan, K. (1991). Accurate CMOS-based current Conveyor. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement,* Vol.40, no.4, pp.699-702.

Suster M., Young, D. J., & Ko, W. H. (2002). Micro-Power Wireless Transmitter for High-Temperature MEMS Sensing and Communication Applications. In *Proceedings of IEEE the 15th International Conference on Micro Electro Mechanical Systems*, pp. 641-644.

Tin, S. *et al*., (2008). Self-Powered Discharge-Based Wireless Transmitter. In *Proceedings of IEEE the 21st International Conference on Micro Electro Mechanical Systems*, USA, pp.988-991.

Wang, N., Zhang, N., & Wang, M., (2006). Wireless Sensors in Agriculture and Food Industry – Recent Development and Future Perspective. *Computer and Electronics in Agriculture*, Vol.50, pp.1-14.

Wikipedia, ENIAC, (2009) (Online). Available: http://en.wikipedia.org/wiki/ENIAC. [Accessed 22nd September 2009]

Yuce, M.R. *et al*., (2007). Wireless Body Sensor Network Using Medical Implant Band. *Journal of Medical Systems*, Vol. 31, pp.467-474.

Zele, R. H. & Allstot, D. J. (1996). Low-power CMOS continuous-time filters," *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, Vol.31, pp.157-168.

Zhen, B., Li, H. -B., & Kohno, R. (2009). Network Issues in Medical Implant Communications. *Internaltional Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering*, Vol.4, No.1, pp.23-36.