

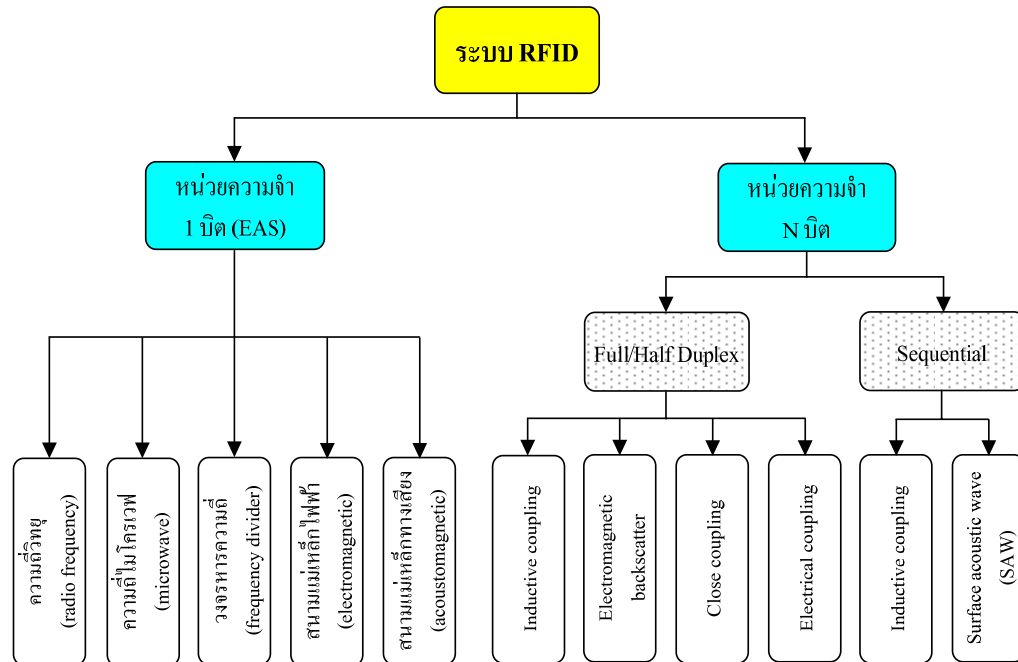
บทที่ 3

หลักการพื้นฐานของระบบอาร์เอฟไอดี

ในบทนี้จะอธิบายถึงหลักการทำงานพื้นฐานในการติดต่อสื่อสารทั้งการแลกเปลี่ยนข้อมูลและรับส่งพลังงานระหว่างป้าย RFID และเครื่องอ่านตามมาตรฐานทางเทคนิคต่างๆ ได้แก่ การรับส่งสัญญาณแบบหนึ่งบิตซึ่งมักจะนำไปใช้งานประเภท EAS (electronic article surveillance), การสื่อสารสองทางครึ่งอัตรา (half duplex), การสื่อสารสองทางเต็มอัตรา (full duplex), และการสื่อสารแบบ Sequential โดยแต่ละรูปแบบจะมีเทคนิคการทำงานที่แตกต่างกันไปตามที่แสดงในภาพที่ 3.1 นอกจากนี้ยังอธิบายทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับระบบ RFID เช่น ทฤษฎีพื้นฐานของสนามแม่เหล็กและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า รวมทั้งพื้นฐานของสายอากาศ และผลกระทบของการใช้งานย่านความถี่ในสภาพแวดล้อมต่างๆ ซึ่งช่วยให้ผู้อ่านเข้าใจถึงหลักการทำงานพื้นฐานของระบบ RFID ก่อนที่จะศึกษาในบทต่อไป

3.1 ป้าย RFID แบบ 1 บิต

ป้าย RFID แบบ 1 บิตเป็นป้าย RFID ที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย เพราะว่ามีโครงสร้างภายในแบบง่าย และมีราคาถูก โดยป้ายนี้จะสามารถบรรจุข้อมูลดิจิทัลได้เพียงบิตเดียว นั่นคือ บิต 0 หรือบิต 1 เท่านั้น ซึ่งก็พอเพียงสำหรับการนำไปใช้งานในการตรวจสอบว่ามีป้าย RFID นี้ปรากฏอยู่ในพื้นที่ใช้งานหรือไม่ ตัวอย่างการใช้งานที่เห็นได้ชัดคือ การใช้ป้าย RFID แบบหนึ่งบิตเป็นอุปกรณ์ป้องกันการขโมยสินค้าภายในร้านค้า (ระบบ EAS) โดยการนำป้ายนี้ไปติดกับสินค้าเพื่อใช้ในการตรวจจับการลักลอบขโมย



ภาพที่ 3.1 หลักการทำงานพื้นฐานที่ใช้ในระบบ RFID

สินค้าออกจากร้านค้า หรือใช้ติดตั้งระบบสายการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อใช้ตรวจสอบตำแหน่งของสินค้า

โดยทั่วไปโครงสร้างของระบบ EAS จะประกอบไปด้วยองค์ประกอบต่างๆ ดังนี้

- 1) สายอากาศของเครื่องอ่าน (interrogator) จะมีโครงสร้างและการทำงานที่แตกต่างกันโดยจะขึ้นอยู่กับเทคนิคการทำงานของระบบแต่ละประเภท
- 2) อุปกรณ์รักษาความปลอดภัย (security element) หรือป้าย RFID ที่มีขนาดเล็ก ซึ่งถูกออกแบบมาเพื่อใช้ประกบติดกับสินค้า
- 3) อุปกรณ์ลบสถานะของป้าย RFID (deactivation device) ซึ่งใช้ลบค่าสถานะที่บรรจุอยู่ในป้าย RFID หลังจากได้มีการชำระเงินค่าสินค้านั้นแล้ว อย่างไรก็ตามระบบ EAS บางระบบอาจจะไม่ใช้อุปกรณ์ลบสถานะของป้าย RFID นี้ แต่จะใช้วิธีให้พนักงานแคชเชียร์ทำการปลดป้าย RFID ออกจากตัวสินค้า เมื่อลูกค้าชำระเงินแล้ว พร้อมทั้งนำป้าย RFID กลับมาใช้ติดสินค้านั้นก็ได้

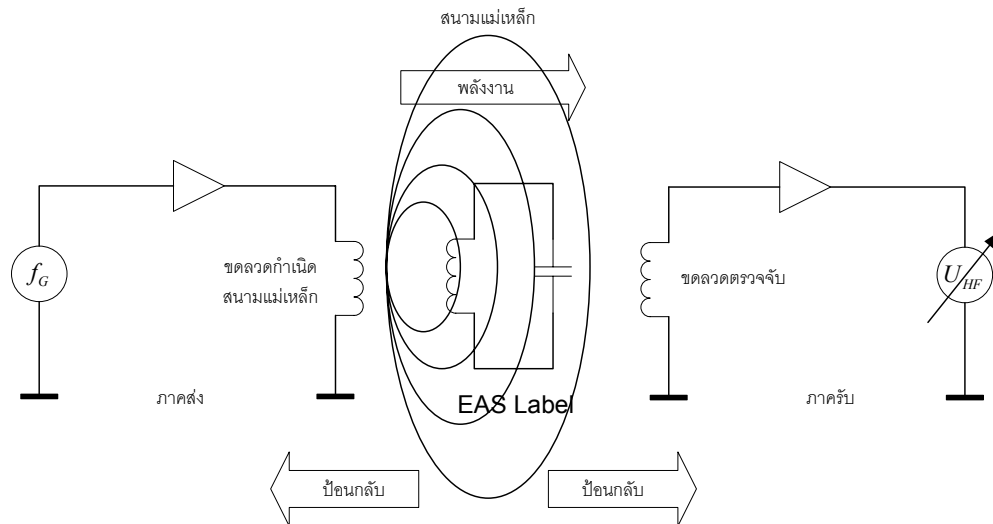
ในการใช้งานนำป้าย RFID มาใช้ในระบบ EAS ผู้ออกแบบระบบจะต้องทำการติดตั้งและทดสอบการทำงานของระบบตามข้อกำหนดทางเทคนิค VDI 4480 [40] ซึ่งจะระบุวิธีการคำนวณหาอัตราการตรวจจับและอัตราส่วนการเกิดข้อผิดพลาดในการตรวจจับ ทั้งนี้เพื่อให้ผู้ใช้งานมีความมั่นใจในระบบ EAS ในปัจจุบันระบบ EAS ที่พบเห็นทั่วไปมีทั้งหมด 5 ประเภท ดังนี้

3.1.1 EAS แบบใช้ความถี่คลื่นความถี่วิทยุ

ป้าย RFID แบบใช้ความถี่คลื่นความถี่วิทยุจะอยู่บนพื้นฐานของวงจรกำจร (resonant circuit) แบบ LC (ตัวเหนี่ยวนำ L และตัวเก็บประจุ C) ที่มีความถี่ f_R โดยมีการติดตั้งขดลวดและตัวเก็บประจุเพื่อให้เกิดการกำจรและการขยายสัญญาณซึ่งคำนวณได้จากค่า L และ C ในปัจจุบันป้าย RFID แบบนี้มีให้เห็นทั่วไปในรูปของบัตรพลาสติกและแผ่นสติ๊กเกอร์ที่ติดกับตัวสินค้า

ภาพที่ 3.2 แสดงลักษณะการทำงานของป้าย RFID แบบใช้คลื่นความถี่วิทยุ โดยที่เครื่องอ่านจะสร้างสนามแม่เหล็กกระแสสลับในย่านความถี่วิทยุสำหรับปกคลุมพื้นที่ที่ต้องการตรวจสอบอยู่ตลอดเวลา ถ้าป้าย RFID เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ของสนามแม่เหล็กกระแสสลับ พลังงานจากสนามแม่เหล็กกระแสสลับก็จะถูกเหนี่ยวนำเข้าไปในวงจรกำจรผ่านทางขดลวดตามกฎของฟาราเดย์ ถ้าความถี่ของสนามกระแสสลับ f_G สอดคล้องกับความถี่กำจรของป้าย f_R ก็จะส่งผลทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดกำเนิดของวงจรภาคส่งลดลง และนำไปสู่ความเข้มของสนามแม่เหล็กที่สามารถวัดได้อ่อนลง โดยถ้ามีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับก็สามารถพบการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าได้ ซึ่งจะหมายความว่า มีป้าย RFID ปรากฏอยู่ภายในพื้นที่ทำงานของเครื่องอ่าน โดยทั่วไปการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มของสนามแม่เหล็กจะขึ้นอยู่กับปัจจัย เช่น ระยะห่างระหว่างขดลวดกำเนิดของวงจรภาคส่งและป้าย RFID ค่าพารามิเตอร์ Q ของวงจรกำจร ภายในป้าย RFID เป็นต้น ตารางที่ 3.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบ EAS แบบใช้ความถี่วิทยุที่มีใช้งานทั่วไปในท้องตลาด

ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นเมื่อมีการนำป้าย RFID เข้าไปในพื้นที่ตรวจสอบมีค่าน้อยมาก ก็จะส่งผลทำให้เครื่องอ่านไม่สามารถตรวจจับป้าย RFID ได้ ดังนั้นเพื่อเป็นการแก้ไขปัญหานี้จึงได้มีการกำหนดให้วงจรภาคส่งสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ไม่คงที่ (อยู่ในลักษณะกวาดความถี่ไปรอบๆ ย่านความถี่ที่ใช้งาน) เช่น วงจรภาคส่งย่านความถี่ 8.2 MHz จะไม่ส่งสัญญาณเฉพาะที่ความถี่ 8.2 MHz แต่จะลดและเพิ่มความถี่ในลักษณะของการกวาด (sweep) อยู่ตลอดเวลา โดยที่ช่วงของการกวาดความถี่จะขึ้นอยู่กับข้อกำหนดของมาตรฐานแต่ละย่านความถี่



ภาพที่ 3.2 ลักษณะการทำงานป้าย RFID แบบใช้คลื่นความถี่วิทยุ

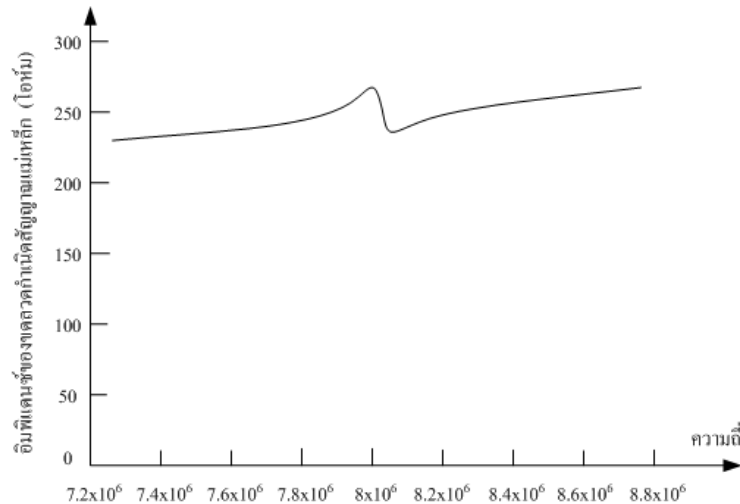
ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์ของระบบ EAS แบบใช้ความถี่วิทยุที่ใช้กันทั่วไป [40]

ตัวแปร	ค่ามาตรฐาน
Quality factor Q of the security element	มากกว่า 60 – 80
Minimum deactivation field strength H_D	1.5 A/m
Maximum field strength in the deactivation range	0.9 A/m

ตารางที่ 3.2 ระบบ EAS แบบที่ใช้ความถี่วิทยุที่ใช้กันในด้านความถี่ต่างๆ

	ระบบที่ 1	ระบบที่ 2	ระบบที่ 3	ระบบที่ 4
ความถี่ (เมกะเฮิรตซ์)	1.86 – 2.18	7.44 – 8.73	7.30 – 8.70	7.40 – 8.60
ความถี่กวาด (เฮิรตซ์)	141	141	85	85

ตัวอย่างเช่น ถ้ากำหนดเป็น $8.2 \text{ MHz} \pm 10\%$ ก็หมายถึงวงจรภาคส่งจะสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ตั้งแต่ 7.38 MHz จนถึง 9.02 MHz ตารางที่ 3.2 แสดงระบบ EAS แบบที่ใช้ความถี่วิทยุที่ใช้กันในด้านความถี่ต่างๆ ที่มีใช้งานทั่วไป

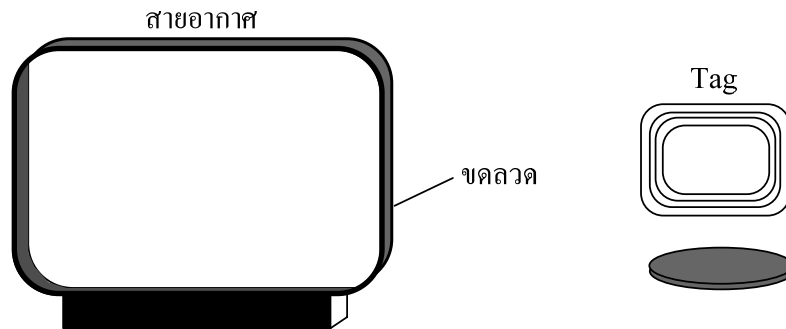


ภาพที่ 3.3 ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์ของขดลวดกำเนิดที่ความถี่กำลังของป้าย RFID [40]

เมื่อความถี่กวาดที่ส่งมาจากวงจรถูกส่งสอดคล้องกับความถี่กำลังของป้าย RFID ก็จะทำให้เกิดการกำธร ซึ่งจะทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดกำเนิดของป้าย RFID ลดลงอย่างผิดปกติหรือที่เรียกว่า “เกิด Dip” ดังแสดงในภาพที่ 3.3 ซึ่งถึงแม้ว่าจะเป็นการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย แต่ก็สามารถตรวจจับได้เมื่อเปรียบเทียบระดับความแรงที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างต่อเนื่องระหว่างที่วงจรถูกส่งกวาดสัญญาณในช่วงความถี่อื่นๆ โดยทั่วไปการเปลี่ยนแปลงระดับความแรงของแรงดันไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับค่าอิมพีแดนซ์ (impedance) ของวงจรถูกส่งภายในป้าย RFID ณ ความถี่ใช้งานต่างๆ

ในทางปฏิบัติป้าย RFID แบบใช้ความถี่คลื่นความถี่วิทยุจะถูกออกแบบให้ประกบติดกับสินค้าแบบตายตัวซึ่งไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ดังนั้นเมื่อนำสินค้ามาชำระเงินที่แคชเชียร์ พนักงานขายก็จะนำสินค้านั้นไปวางไว้ที่เครื่องลบสถานะ (deactivator) ซึ่งจะส่งสัญญาณคลื่นแม่เหล็กที่มีความแรงพอเพียงที่จะทำให้สายตัวเก็บประจุที่อยู่ภายในป้าย RFID ทำให้สถานะของป้ายเปลี่ยนจากสถานะแอ็กทีฟ (active stage) ไปเป็นสถานะเฉื่อยงาน (deactivate stage) ซึ่งทำให้ป้าย RFID ไม่สามารถใช้งานได้อีกต่อไปและจะไม่มีผลตอบสนองใดๆ ต่อสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ปรากฏในพื้นที่ตรวจสอบ

ระบบสายอากาศเพื่อใช้ส่งสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับการตรวจสอบป้าย RFID แบบนี้มักจะได้รับการออกแบบให้มีรูปแบบคล้ายขั้วประจุซึ่งจะเรียกว่า “Frame Antenna” ตามภาพที่ 3.4 ซึ่งอาจจะมีขนาดกว้างถึง 2 เมตร นอกจากนี้การนำป้าย RFID ไปติดกับสินค้าบางประเภทก็อาจส่งผลโดยตรงกับประสิทธิภาพในการตรวจจับของระบบ EAS ได้ ตัวอย่างเช่น



ภาพที่ 3.4 (ซ้าย) โครงสร้างทั่วไปของสายอากาศ และ (ขวา) ป้าย RFID แบบที่ประกบติดอยู่กับสินค้า

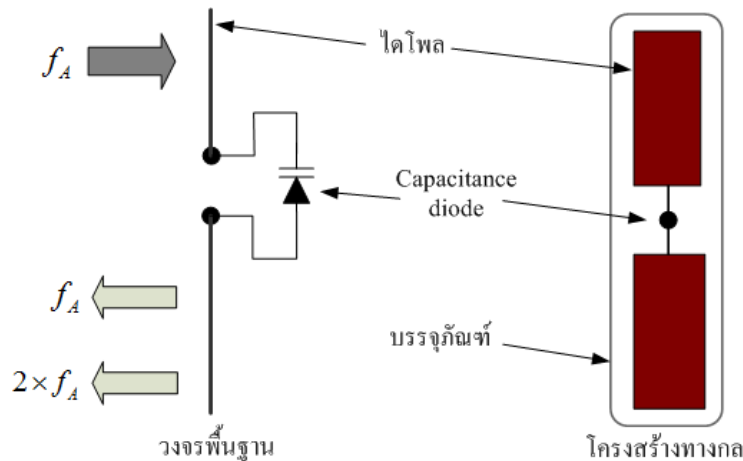
- สินค้าที่มีส่วนประกอบของโลหะ (เช่น กระจัง ท่อเหล็ก) ก็มีโอกาที่จะตรวจจับสินค้าไม่พบในกรณีที่มีการลักลอบนำเอาสินค้าออกจากร้านค้า วิธีการแก้ไขก็คือการใช้ป้าย RFID มีขนาดใหญ่ขึ้น
- สินค้าที่มีความถี่กำรของตนเอง เช่น สายไฟฟ้า หรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์บางชนิด ตัวสินค้าเองอาจทำตัวเป็นป้าย RFID หลอกให้ระบบ EAS เข้าใจว่ามีการลักลอบนำเอาสินค้าออกจากร้านค้า ทั้งที่มีการจ่ายเงินและเปลี่ยนสถานะของป้าย RFID อย่างถูกต้องแล้ว

ดังนั้นผู้ประกอบการควรพิจารณาเลือกใช้ระบบ EAS ที่มีย่านความถี่ตรวจสอบที่เหมาะสม เพื่อลดปัญหาความผิดพลาดในการตรวจสอบให้มากที่สุด

3.1.2 EAS แบบใช้ความถี่ไมโครเวฟ

ระบบ EAS แบบใช้ความถี่ไมโครเวฟจะอาศัยหลักการสร้างฮาร์โมนิก² (harmonic) ของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่มีคุณลักษณะแบบไม่เชิงเส้น เช่น ไดโอด (diode) โดยเมื่อมีการป้อนสัญญาณคลื่นไซน์ซอซล์ความถี่ f_A เฮิร์ตซ์ เข้าไปในไดโอดก็จะทำให้เกิดการสร้างสัญญาณฮาร์โมนิกที่มีค่าความถี่เป็นจำนวนเท่าของความถี่มูลฐานของสัญญาณคลื่นไซน์ซอซล์ นั่นคือ nf_A เฮิร์ตซ์ เมื่อ n คือเลขจำนวนเต็ม แต่ระดับความแรงของสัญญาณฮาร์โมนิกเหล่านี้จะลดทอนลงอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณต้นฉบับ เพราะว่าพลังงานทั้งหมดที่บรรจุในสัญญาณต้นฉบับจะถูกแบ่งไปให้สัญญาณฮาร์โมนิกต่างๆ โดยที่

² ความถี่ที่มีค่าเป็นจำนวนเท่าของความถี่มูลฐาน เช่น ถ้าความถี่พื้นฐานคือ f_A ความถี่ฮาร์โมนิกก็จะมีค่าเป็น nf_A เมื่อ n คือเลขจำนวนเต็ม



ภาพที่ 3.5 โครงสร้างพื้นฐานของวงจรไฟฟ้าของป้าย RFID ที่ใช้กับสัญญาณไมโครเวฟ

ฮาร์มอนิกที่สูง ระดับความแรงของสัญญาณก็จะยิ่งลดลง ในการใช้งานเครื่องอ่านจะทำการตรวจสอบการปรากฏของสัญญาณฮาร์มอนิกซึ่งมีค่าความถี่ต่างจากค่าความถี่ของสัญญาณที่ส่งออกไป ซึ่งจะมี ความเที่ยงตรงและมีประสิทธิภาพในการตรวจจับป้าย RFID มากกว่าระบบ EAS แบบใช้คลื่นความถี่วิทยุ อย่างไรก็ตามป้าย RFID ของระบบ EAS แบบที่ใช้ความถี่ไมโครเวฟจะมีราคาสูง³ ดังนั้นจึงควร ต้องมีการนำป้าย RFID เหล่านี้กลับมาใช้งานซ้ำใหม่ เพื่อให้เกิดความคุ้มค่าในการใช้งานให้มากที่สุด

โดยทั่วไปไดโอดแบบ capacitance มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการสร้างสัญญาณฮาร์มอนิก โดยที่ความสามารถในการสร้างสัญญาณฮาร์มอนิกได้ถึงระดับใดจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำ ไดโอด ซึ่งในทางเทคนิคจะเรียกว่า dopant profile [40] หรือความเข้มข้นในการผสมสารกึ่งตัวนำในการ สร้างไดโอด ในทางปฏิบัติระบบ EAS แบบใช้ความถี่ไมโครเวฟจะใช้ไดโอดที่สร้างจากสารประกอบ จำพวกอัลลอยด์ เพราะสามารถสร้างสัญญาณฮาร์มอนิกที่สองที่มีลักษณะเหมือนกับสัญญาณต้นฉบับ ทุกประการ แต่มีความถี่สูงกว่า 2 เท่า ซึ่งก็นับว่าเพียงพอแล้วสำหรับการนำไปใช้งาน

ป้าย RFID แบบหนึ่งบิตที่ใช้กับความถี่ไมโครเวฟสามารถผลิตขึ้นได้ง่าย โดยการนำไดโอด แบบ capacitance มาเชื่อมเข้ากับสายอากาศแบบไดโอด ดังแสดงในภาพที่ 3.5 นอกจากนี้ในการออกแบบ ป้าย RFID ต้องคำนึงถึงลักษณะการใช้งานด้วย เช่น ถ้านำไปใช้งานในย่านความถี่ 2.45 GHz ความยาวของ

³ ป้าย RFID แบบที่แขวนหรือผูกอยู่กับสินค้าภายในร้านค้าซึ่งพนักงานจะต้องถอดออกเพื่อนำกลับไปใช้ใหม่ ในทางเทคนิคจะเรียกป้าย RFID แบบนี้ว่า “hard tag”