



http://www.me.co.th

EEC ME

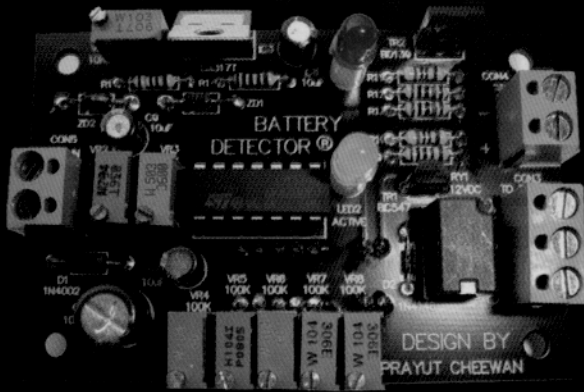
Electrical & Control

วิทยาการไฟฟ้าและระบบควบคุม สำหรับวิศวกร และช่างเทคนิค ในวงการอุตสาหกรรมและอาคาร

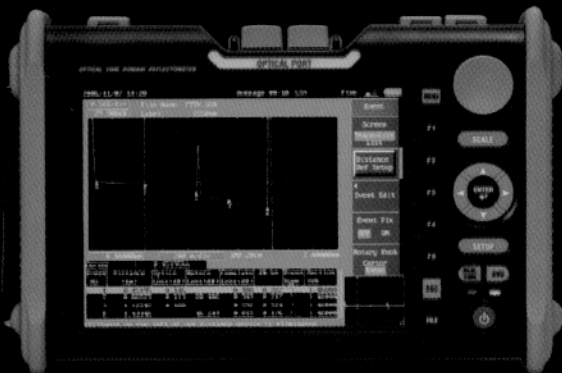
- การสื่อสารสัญญาณข้อมูล
- วงจรตรวจสอบแรงดันอนาล็อกประสงค์
- การออกแบบตัวควบคุมสำหรับมอเตอร์กระแสตรง (1)
- การประมาณการค่าไฟฟ้าของโครงการขนาดใหญ่
- เปรียบเทียบระบบโทรศัพท์ PABX กับ IP PBX
- โครงสร้างและหน้าที่ของปลอกหุ้มหัววัดตัวตรวจจับแสงทวิคูณ
- หุ่นยนต์ในงานเสียดัง
- ดัชนีประเภทสินค้า • ดัชนีผู้จัดจำหน่าย • ดัชนีบทความ

ปีที่ 10 ฉบับที่ 55 พฤษภาคม-มิถุนายน 2544

ครบรอบ 9 ปี : ดัชนีประเภทสินค้า • ดัชนีผู้จัดจำหน่าย • ดัชนีบทความ



เทคโนโลยีสื่อสารสัญญาณข้อมูล และการควบคุมกลไกจากระยะไกล



ISSN 1685 3673

9 771685 367009

ME วิศวกรรมไฟฟ้า E/C Electrical & Control 50 บาท

เจ้าชอง : บริษัท เอ็มแอนดีอี จำกัด
 77/111 อาคารสินสารทาวเวอร์ ชั้น 26 ถนนกรุงธนบุรี
 แขวงคลองตันใต้ เขตคลองสาน กรุงเทพฯ 10600
 โทรศัพท์ : 0 2862 1396-9
 โทรสาร : 0 2862 1395
 Homepage : www.me.co.th, www.technic.in.th
 Email : info@me.co.th, ad@me.co.th
 editor@me.co.th



ที่ปรึกษา : ดร.ทวี เลิศปัญญาวิทย์, ดร.สุรคอง อัคราณิชชัย,
 ชัยนต์ ศาลิคุปต์, สุรชาญ สุวรรณโณดม,
 ฤทธิ์ ธีระโกเมน, ดร.วุฒิชัย นิรนาทวงศ์

กองบรรณาธิการผู้ทรงคุณวุฒิ : ดร.พงษ์ธร จริญญาภรณ์,
 ดร.วุฒิชัย นิรนาทวงศ์, เกชา ธีระโกเมน,
 ศักดิ์ชัย ทักขิณเสถียร, รศ.ไชยะ แซ่มซ้อย,
 ลือชัย ทองนิล, รศ.ธีรศิลป์ ทุมวิภาดา,
 รศ.สุมาลี อุณหวนิชย์, รศ.ดร.วรงค์ ตั้งศรีรัตน์,
 ผศ.ถาวร อมตกิตติ์, ทนง โชติสรยุทธ์

บรรณาธิการอำนวยการ : ผศ.ถาวร อมตกิตติ์
 บรรณาธิการจัดการ : บพิตร โคนชัยภูมิ
 ผู้ช่วยบรรณาธิการจัดการ : ถนัดศรี รอดประดิษฐ์
 ผู้ช่วยบรรณาธิการข่าว : รัตติยา หาวงษ์
 ศิลปิน : สุรัสวดี วิบุญนิตพงษ์, รัพีพรรณ เหลืองเกษรสกุล
 ธีรยุทธ สอนตะโก
 ฝ่ายโฆษณา : ภิกรม สุพานิชย์วิทย์
 ฝ่ายสมาชิก : ลัดดาวัลย์ สุขหาวงษ์, นิภาพร บำรุงชาติ

แบบพิมพ์และเย็บ : บริษัท 48 फिल्मโปรดักส์ จำกัด
 พิมพ์ : บริษัท ส.เอเชียเพรส (1989) จำกัด
 จัดจำหน่าย : บริษัท เพ็ญบุญจัดจำหน่าย จำกัด

บรรณาธิการผู้พิมพ์และโฆษณา : สมมาตร สุพานิชย์วิทย์

E/C (ISSN 1685-3679) เป็นวารสารรายสองเดือนที่เน้นการ
 นำเสนอความรู้ ความคิดเห็น ความคิดสร้างสรรค์ ข้อมูลข่าวสารต่างๆ
 ของเทคโนโลยีทางวิศวกรรม ไฟฟ้าและระบบควบคุม และอุตสาหกรรม
 ตลอดจนการบริหาร การจัดการ ทั้งนี้เพื่อเสริมสร้างการพัฒนาทาง
 วิศวกรรมและการบริหารงานให้เจริญก้าวหน้ายิ่งขึ้นขอเขียนหรือบทความ
 ต่างๆ ที่พิมพ์เผยแพร่ในอิตาลี นอกจากนี้จะจัดทำมาโดยกองบรรณาธิการ
 แล้ว ยังยินดีเปิดรับข้อเขียนจากบุคคลภายนอก รายละเอียดและข้อ
 กำหนดต่างๆ ในการเขียนโปรดติดต่อกับบรรณาธิการจัดการ

บทความใดๆ ที่ปรากฏอยู่ในวารสารอิตาลี อาจเป็นการเสนอข้อคิดเห็น
 เฉพาะบุคคลของผู้เขียน วารสารอิตาลี และบริษัท เอ็มแอนดีอี จำกัด
 ไม่จำเป็นต้องเห็นพ้อง หรือมีส่วนผูกพันเสมอไป

สงวนลิขสิทธิ์ © 2554 โดย บริษัท เอ็มแอนดีอี จำกัด
 ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์

บรรณาธิการ



9 ปี วารสาร EC การเผยแพร่ความรู้วิชาชีพวิศวกรรม

จากความคิดที่จะเผยแพร่ความรู้ทางวิศวกรรมไฟฟ้าและระบบ
 ควบคุม ตลอดจนการพัฒนาทางเทคโนโลยี และข่าวสารความเคลื่อนไหว
 ในแวดวงวิชาชีพทางวิศวกรรม จึงเกิดเป็นวารสาร EC เพื่อให้สามารถ
 นำไปประยุกต์ใช้ได้จริงในโรงงานอุตสาหกรรมและพาณิชย์กรรม

วารสาร EC ฉบับนี้ เป็นฉบับครบรอบ 9 ปี ซึ่งตลอดระยะเวลา
 ที่ผ่านมา นับว่าเป็นระยะเวลาไม่น้อยเลยทีเดียวที่เราพยายามมุ่งมั่น
 พัฒนาคุณภาพของการเสนอความรู้ในวารสารตลอดมา และพยายาม
 คัดสรรบทความทางด้านเทคโนโลยีที่สามารถนำไปปฏิบัติได้จริงตั้งแต่
 ระดับพื้นฐานไปจนถึงระดับสูง

เราต้องขอขอบคุณต่อกำลังใจที่ได้รับจากท่านผู้อ่าน สมาชิกที่
 สนับสนุน และผู้จัดทำหน้าที่ให้ความสำคัญในการเผยแพร่ความรู้ทาง
 วิศวกรรมไฟฟ้าและระบบควบคุมมาอย่างต่อเนื่อง

ในวาระพิเศษนี้เราจึงสมนาคุณผู้อ่านด้วย ดัชนีประเภทสินค้า,
 ดัชนีผู้จัดทำราย และดัชนีบทความของวารสาร EC ในรอบปีที่ผ่านม
 ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีประโยชน์ต่อการค้นหาวัสดุ และอุปกรณ์ทางวิศวกรรม
 และการจัดทำรายได้อย่างครบถ้วนและรวดเร็ว

นอกจากนี้ ในปีนี้เราได้จัดอบรมและสัมมนาความรู้ในวิชาชีพ-
 วิศวกรรมที่อัดแน่นด้วยคุณภาพ และวิทยากรผู้ทรงคุณวุฒิที่มากด้วย
 ประสบการณ์จำนวนหลายหลักสูตร ซึ่งผู้ที่สนใจสามารถดูได้จากราย
 ละเอียดภายในเล่ม

โครงสร้างและหน้าที่ของส่วนฟาครอบ หุ้มหัววัดตัวตรวจนับแสงทวิคูณ

ฟาครอบหุ้มตัวตรวจนับแสงทวิคูณ นอกจากใช้ป้องกันทางกลให้กับตัวตรวจนับแสงทวิคูณแล้ว ยังมีหน้าที่อื่นๆ ทั้งป้องกัน การกระตุกจากแสงภายนอก, ลดผลกระทบจากไฟฟ้าสถิตภายนอก, ลดผลกระทบจากสนามแม่เหล็กภายนอก

โครงสร้างส่วนฟาครอบหรือปลอกโลหะหุ้มหัววัดตัวตรวจนับแสงทวิคูณ (Photomultiplier tube; PMT) ไม่ได้ถูกใช้เพื่อการบรรจุและป้องกันชิ้นส่วนของวงจรเท่านั้น แต่ยังใช้เพื่อประโยชน์ต่างๆ ที่สำคัญดังนี้

1. เพื่อป้องกันการกระตุกจากแสงภายนอก
2. เพื่อลดผลกระทบจากไฟฟ้าสถิตภายนอก
3. เพื่อลดผลกระทบจากสนามแม่เหล็กภายนอก

โดยในแต่ละส่วนนั้นจะได้อธิบายในรายละเอียดต่อไป

การป้องกันแสงภายนอก

โดยปกติแล้วหัววัดตัวตรวจนับแสงทวิคูณจะมีความไวสูงมาก ดังนั้นการตรวจนับสัญญาณที่มีขนาดต่ำๆ จำเป็นต้องตรวจสอบระดับสัญญาณเอาต์พุตและผลกระทบอันเนื่องมาจากแสงที่เข้ามาจากภายนอก ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้จากแสงที่ลอดผ่านเข้าสู่หัววัดได้แม้เพียงเล็กน้อย เช่น ผ่านเข้ามาจากส่วนเชื่อมต่อทางด้านอินพุตและเอาต์พุต หรือช่องที่สวมขาของหัววัด รวมทั้งช่องสกรูสำหรับยึดเข้ากับส่วนต่างๆ ของหัววัด

ดังนั้นในทางปฏิบัติที่ถูกต้องในส่วนของส่วนเชื่อมต่ออุปกรณ์อื่นๆ ภายในปลอกโลหะป้องกันหัววัด จึงควรใช้กาวยางซิลิโคนสีดำติดที่ตำแหน่งต่างๆ ที่อาจจะมีแสงลอดผ่านไปได้ อีกทั้งยังสามารถใช้เทปกาว หรือสวมแหวนยางโอริงในส่วนที่มีการเชื่อมต่อกัน หรืออุปกรณ์ที่ต่อสัมผัสกับปลอกโลหะป้องกันหัววัด นอกจากนี้ ภายใน

ปลอกโลหะครอบนี้ก็ควรที่จะทาสีดำ เพื่อป้องกันการสะท้อนของแสงที่ลอดผ่านเข้าสู่ภายใน

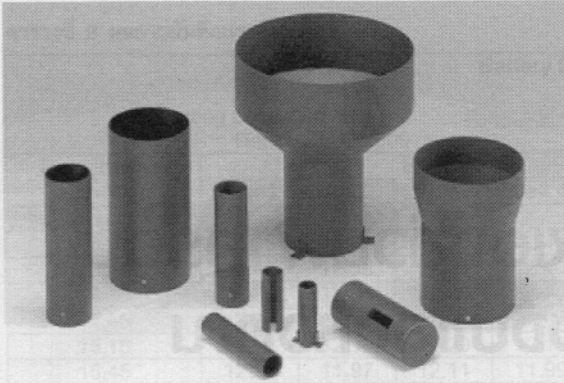
การป้องกันไฟฟ้าสถิต

จากการที่ปลอกโลหะครอบหัววัดตัวตรวจนับแสงทวิคูณทำจากโลหะอะลูมิเนียม ซึ่งมีความเหมาะสมสำหรับการต่อเป็นกราวด์ อีกทั้งยังสามารถป้องกันไฟฟ้าสถิตจากภายนอกได้ แต่อย่างไรก็ตาม หากต้องการใช้ประโยชน์จากสมบัติดังกล่าว ยังต้องพิจารณาถึงผิวด้านในที่มีการทาสีดำเพื่อป้องกันแสงสะท้อนไว้ นั่นอาจจะไม่ได้รับการสัมผัสกับส่วนของสายกราวด์ก็ได้ นอกจากนี้ ส่วนต่างๆ ที่อยู่ใกล้กับหัววัดที่มีศักย์ไฟฟ้าเมื่อเทียบกับกราวด์ อาจจะส่งผลให้เกิดสัญญาณรบกวนเพิ่มสูงขึ้นได้ ดังนั้นในการออกแบบปลอกโลหะครอบหัววัดจึงต้องแยกปลอกโลหะให้ห่างจากตัวตรวจนับแสงทวิคูณอย่างพอเหมาะ

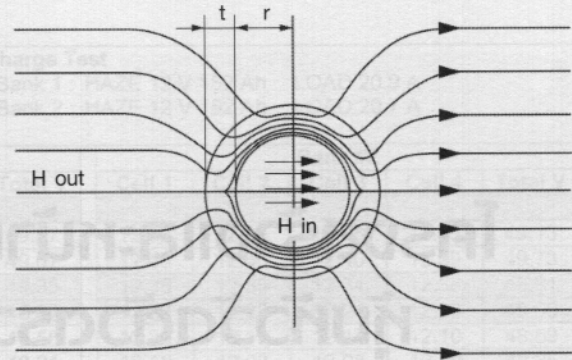
การป้องกันสนามแม่เหล็ก

โดยปกติแล้วหัววัดตัวตรวจนับแสงทวิคูณนั้นมีความไวต่อสนามแม่เหล็กสูงมาก ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานลดลง ดังนั้นการที่จะนำหัววัดนี้มาใช้ในงานตรวจวัดแสง หรือประยุกต์ใช้ในการวัดรังสี หรือมีความจำเป็นที่จะต้องใช้ในที่มีสนามแม่เหล็กสูง ก็ควรป้องกันสนามแม่เหล็กด้วยเทคนิคการใช้โลหะที่สามารถป้องกันสนามแม่เหล็กที่อยู่รอบๆ หัววัด

การใช้เทคนิคนี้ก็เพื่อลดอำนาจของสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 1 ปลอกโลหะป้องกันสนามแม่เหล็กให้กับหัววัดตัวตรวจจับแสงทวีคูณ



รูปที่ 2 เส้นแรงแม่เหล็กถูกป้องกันไม่ให้ผ่านเข้าสู่หัววัดตัวตรวจจับแสงทวีคูณด้วยปลอกโลหะ

ภายนอกให้ได้มากที่สุด โดยโลหะที่นำมาใช้จะต้องสามารถป้องกันได้ทั้งสนามแม่เหล็กคงที่ และสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

ในการประยุกต์ใช้งานโดยทั่วไปจะออกแบบให้หัววัดสวมเข้ากับปลอกโลหะป้องกันทรงกระบอกที่ทำจากวัสดุ Perm alloy ที่ใช้กันแพร่หลาย โดยสมบัติต่างๆ ที่มีผลต่อการป้องกันจะพิจารณาได้ดังนี้

1. แฟกเตอร์ที่มีผลต่อการป้องกันสนามแม่เหล็ก

โดยปกติแล้วผลของการป้องกันสนามแม่เหล็กจะขึ้นกับชนิดของวัสดุป้องกันสนามแม่เหล็ก และการเรียงตัวของสนามแม่เหล็ก ทั้งนี้หัววัดตัวตรวจจับแสงทวีคูณนั้นมีความไวต่อสนามแม่เหล็กภายนอกอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งหัววัดที่มีการรับแสงเข้าทางด้านหน้าโดยตรง ซึ่งพบว่าระดับสัญญาณเอาต์พุตมีการเปลี่ยนแปลงไปตามอำนาจแม่เหล็กบนพื้นผิวของโลก

ดังนั้นเพื่อจะจำกัดผลกระทบจากอำนาจแม่เหล็กที่พื้นผิวโลก หรือการทำงานที่อยู่ภายใต้สนามแม่เหล็กที่ไม่คงที่ จึงจำเป็นต้องใช้วัสดุปลอกโลหะหุ้มป้องกันสนามแม่เหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยโลหะที่นำมาใช้ป้องกันสนามแม่เหล็กภายนอกนี้จะต้องมีค่าสภาพความซึมซาบสนามแม่เหล็กสูง เพื่อลดผลกระทบดังกล่าวนี้จึงออกแบบให้หัววัดอยู่ระหว่างส่วนของโลหะที่ใช้ป้องกันสนามแม่เหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 2

สำหรับการพิจารณาถึงผลของการป้องกันสนามแม่เหล็กจากการใช้ปลอกโลหะที่สร้างจากวัสดุที่มีความซึมซาบแม่เหล็กสูง (วัสดุ Perm alloy) สามารถแสดงด้วยแฟกเตอร์การป้องกันแม่เหล็ก S ดังนี้

$$S = \frac{H_{out}}{H_{in}} = \frac{3tu}{4r} \dots (1)$$

โดยที่ H_{in} และ H_{out} เป็นความเข้มสนามแม่เหล็กด้านในและด้านนอกจากปลอกโลหะป้องกันสนามแม่เหล็กตามลำดับ

ส่วนตัวแปร t คือ ความหนาของปลอกท่อหุ้ม, r คือรัศมี และ u คือ ความซึมซาบสนามแม่เหล็กของโลหะป้องกันสนามแม่เหล็ก

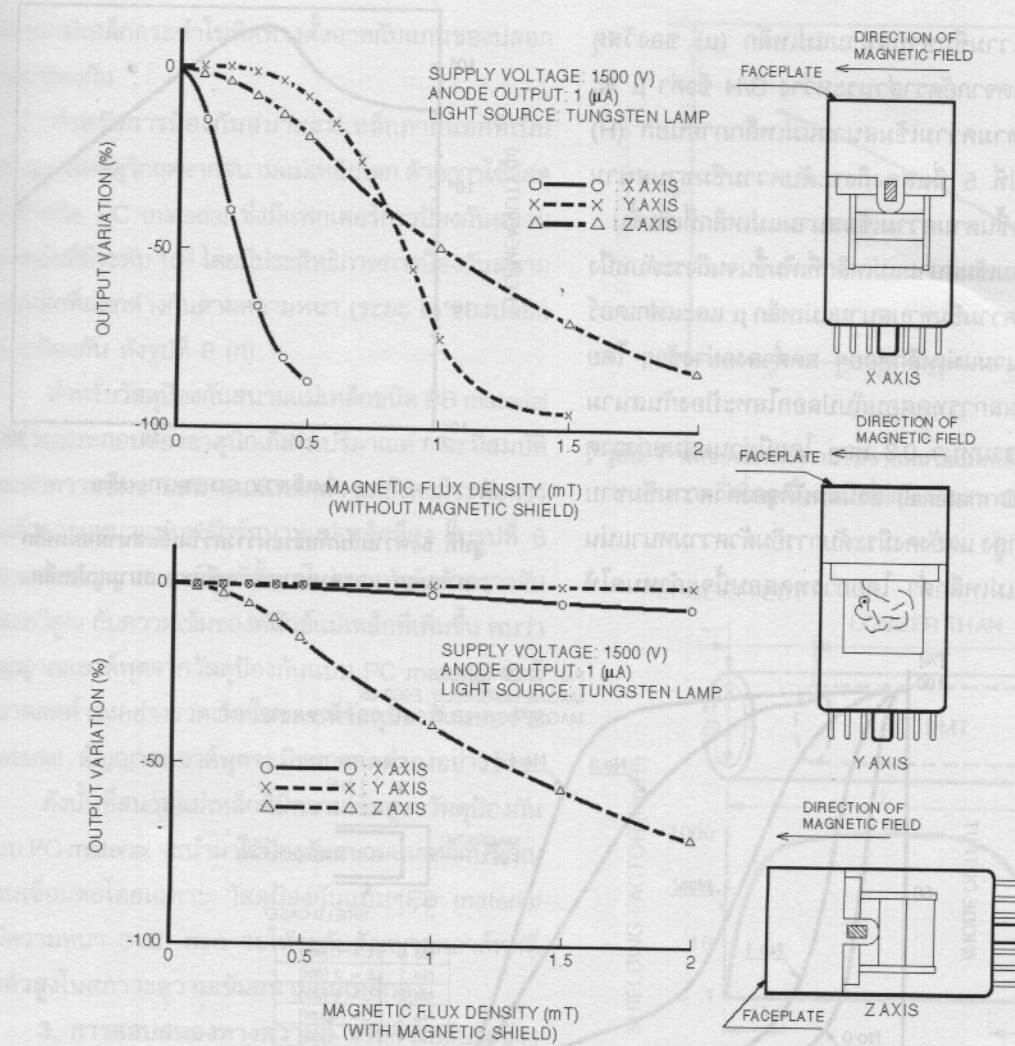
ดังนั้นเมื่อมีการใช้ปลอกโลหะป้องกันสนามแม่เหล็กที่มีรัศมีแตกต่างกันตั้งแต่สองปลอกหรือมากกว่า โดยการนำมาประกอบรวมกัน จะมีผลต่อแฟกเตอร์การป้องกันแม่เหล็ก S' ในแต่ละลำดับของปลอก โดยสามารถอธิบายด้วยความสัมพันธ์ดังนี้

$$S' = S_1 \times S_2 \times S_3 \times \dots \times S_n$$

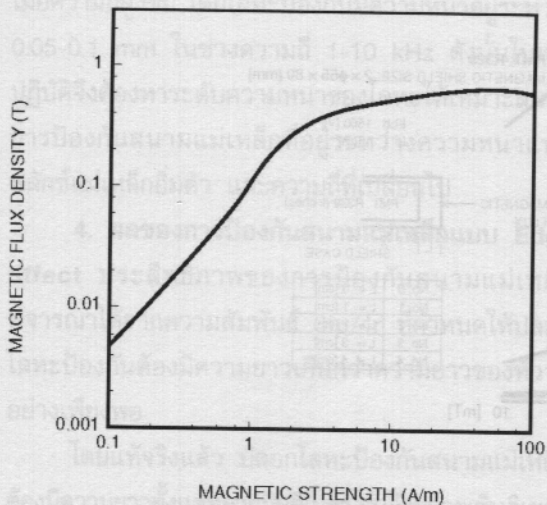
$$= \frac{3t_1u_1}{4r_1} \times \frac{3t_2u_2}{4r_2} \times \frac{3t_3u_3}{4r_3} \times \dots \times \frac{3t_nu_n}{4r_n} \dots (2)$$

ส่วนของปลอกโลหะจะส่งผลต่อความเข้มสนามแม่เหล็กภายในปลอก (H_{in}) ของหัววัดที่มีระดับลดต่ำลงเท่ากับ H_{out}/S ตัวอย่างเช่น โลหะที่นำมาใช้ป้องกันสนามแม่เหล็กมีค่าแฟกเตอร์ป้องกันสนามแม่เหล็กเท่ากับ 10 เมื่อหัววัดนี้ถูกใช้งานภายใต้ความเข้มสนามแม่เหล็กภายนอกเท่ากับ 30 mT (มิลลิเทสลา) นั้นหมายความว่าหัววัดได้ถูกใช้งานภายใต้ความเข้มสนามแม่เหล็ก 3 mT ซึ่งในทางปฏิบัติโลหะที่ใช้ในการป้องกันสนามแม่เหล็กจะต้องพิจารณาถึงผลการลดทอนจากการป้องกันสนามแม่เหล็กเป็นประเด็นหลัก

ในรูปที่ 3 แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่ระดับต่างๆ ของหัววัดทั้งที่มีและไม่มีปลอกโลหะหุ้มป้องกันสนามแม่เหล็กภายนอก โดยวัสดุที่ใช้เป็นโลหะป้องกัน คือ นิกเกิล มีความหนา 0.6 mm โดยให้ผลการป้องกันแม่เหล็กเท่ากับทั้งแกน X และ Y



รูปที่ 3 สัญญาณเอาต์พุตกับความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กขณะที่ใช้และไม่ใช้ปลอกโลหะป้องกันที่แนวแกน X, Y และ Z



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่าง B-H curve จากสนามแม่เหล็กคงที่ DC magnetization

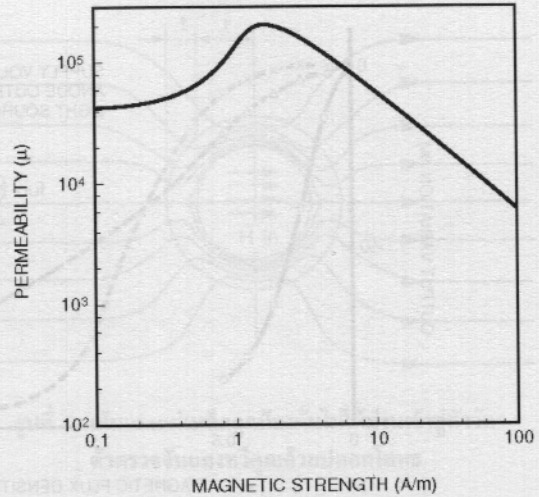
อย่างไรก็ตาม สมบัติของการตอบสนองต่อสนามแม่เหล็กตามแกน Y จะดีกว่าแกน X เมื่อไม่ได้ใช้ปลอกโลหะห่อหุ้มป้องกันสนามแม่เหล็ก ดังนั้นตามแกน Y นี้จึงเหมาะต่อการใช้ปลอกโลหะป้องกัน

ส่วนกรณีของแนวแกน Z ซึ่งเป็นแกนที่ขนานกับแกนของหัววัดพบว่า เมื่อหัววัดมีการใช้ปลอกโลหะป้องกัน จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสัญญาณเอาต์พุตอย่างมาก จึงต้องพิจารณาถึงผลกระทบอันเนื่องมาจากการเบี่ยงเบนทิศทางของสนามแม่เหล็กใกล้กับขอบของปลอกโลหะป้องกัน

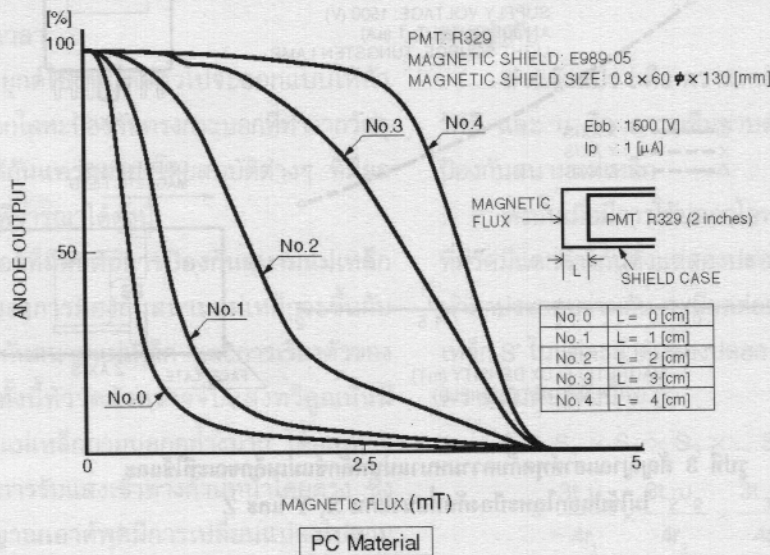
2. การอิมิตัวของสนามแม่เหล็ก กราฟ B-H curve แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มสนามแม่เหล็กภายนอก (H) และความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก (B) ที่พุ่งผ่านเข้าสู่ขั้วแม่เหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 4

สภาพความซึมซาบสนามแม่เหล็ก (μ) ของวัสดุแม่เหล็กกำหนดจากอัตราส่วนระหว่าง B/H ซึ่งค่า μ จะเปลี่ยนแปลงตามความเข้มสนามแม่เหล็กภายนอก (H) ดังแสดงในรูปที่ 5 ที่แสดงถึงระดับความซึมซาบสนามแม่เหล็กที่เพิ่มขึ้นตามความเข้มสนามแม่เหล็กที่เพิ่มขึ้น

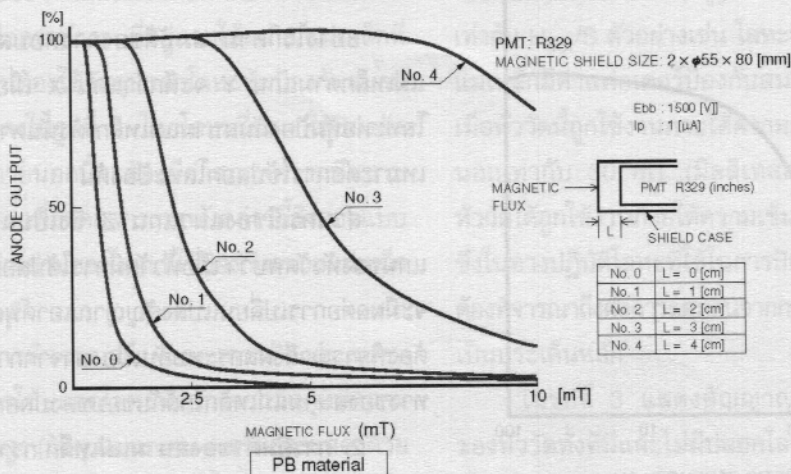
เมื่อความเข้มสนามแม่เหล็กที่เพิ่มขึ้นจนถึงระดับหนึ่งจะส่งผลให้ค่าความซึมซาบสนามแม่เหล็ก μ และแฟกเตอร์การป้องกันสนามแม่เหล็กค่อยๆ ลดต่ำลงอย่างช้าๆ โดยรูปที่ 5 เป็นผลการทดสอบกับบล็อกโลหะป้องกันสนามแม่เหล็ก ที่ความหนา 0.8 mm โดยมีส่วนผสมของธาตุนิกเกิลสูง (PC material) ซึ่งมีสมบัติของค่าความซึมซาบสนามแม่เหล็กสูง แต่ยังคงมีระดับการอิ่มตัวความหนาแน่นฟลักซ์สนามแม่เหล็กต่ำ โดยการทดสอบนี้จะกำหนดให้



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มสนามแม่เหล็กภายนอก และค่าสภาพความซึมซาบสนามแม่เหล็ก



(ก) วัสดุโลหะป้องกันสนามแม่เหล็กชนิด PC material



(ข) วัสดุโลหะป้องกันสนามแม่เหล็กชนิด PB material

รูปที่ 6 ผลของสัญญาณเอาต์พุตที่ขั้วแอโนดของหัววัดกับความเข้มของฟลักซ์แม่เหล็กที่ระดับความหนาต่างๆ

สนามแม่เหล็กกระทำในทิศทางตั้งฉากกับแกนของปลอกโลหะป้องกัน

สำหรับการป้องกันสนามแม่เหล็กภายนอกที่เป็นสนามแม่เหล็กวิกฤตจากสนามแม่เหล็กโลก ด้วยการใช้วัสดุโลหะชนิด PC material ซึ่งมีแพ็คเกจการป้องกันสนามแม่เหล็กที่ตีระดับ 10^3 โดยมีประสิทธิภาพการป้องกันสนามแม่เหล็กที่แตกต่างกันตามความหนา (ระยะ L) ของปลอกโลหะป้องกัน ดังรูปที่ 6 (ก)

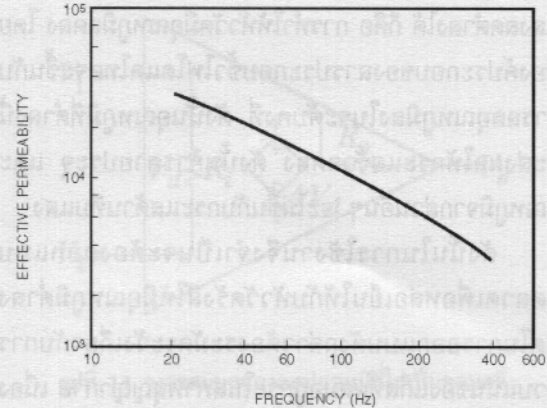
สำหรับวัสดุป้องกันสนามแม่เหล็กชนิด PB material ที่มีส่วนประกอบของธาตุหนักเกิดในปริมาณต่ำ จะมีสมบัติของค่าความซึมซาบสนามแม่เหล็กต่ำ แต่ยังคงมีระดับการอิมมิตัวความหนาแน่นฟลักซ์สนามแม่เหล็กที่สูง ในรูปที่ 6 (ข) แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่ขั้วแอโนดของหัววัดตัวตรวจจับแสงทวีคูณ กับความเข้มของฟลักซ์แม่เหล็กที่เพิ่มขึ้น พบว่าสัญญาณเอาต์พุตจากวัสดุป้องกันแบบ PC material จะมีขนาดลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว ในขณะที่วัสดุป้องกันแบบ PB material สัญญาณเอาต์พุตจะมีขนาดลดต่ำลงอย่างช้าๆ

ดังนั้นที่สนามแม่เหล็กที่มีความเข้มสูง วัสดุป้องกันแบบ PC material จะนำมาใช้ป้องกันสนามแม่เหล็กบริเวณส่วนเชื่อมต่อโดยเฉพาะ วัสดุป้องกันแบบ PB material ที่มีความหนา 3-10 mm จะให้ระดับสัญญาณเอาต์พุตที่อิมมิตัวสูงในสภาวะความเข้มสนามแม่เหล็กสูง

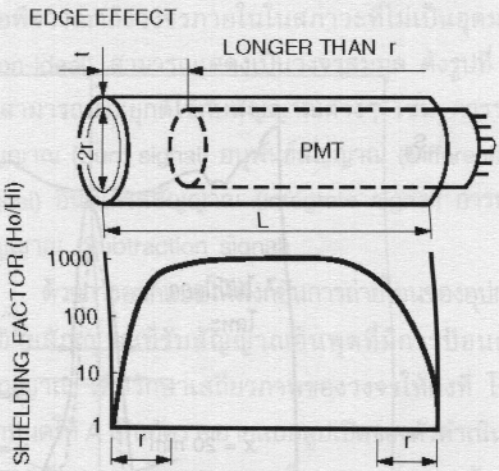
3. การตอบสนองทางความถี่ จากการอธิบายข้างต้นนั้นเป็นการพิจารณาถึงผลกระทบอันเนื่องมาจากสนามแม่เหล็กคงที่ สำหรับในส่วนนี้จะพิจารณาอันเนื่องมาจากสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ดังแสดงในรูปที่ 7 ความซึมซาบสนามแม่เหล็กของวัสดุป้องกันจะลดต่ำลงเมื่อความถี่สูงขึ้น โดยโลหะป้องกันมีความหนาอยู่ระหว่าง 0.05-0.1 mm ในช่วงความถี่ 1-10 kHz ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงต้องหาระดับความหนาของโลหะให้เหมาะสมกับการป้องกันสนามแม่เหล็กที่อยู่ระหว่างความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กอิมมิตัว และความถี่ที่เปลี่ยนไป

4. ผลของการป้องกันสนามแม่เหล็กแบบ Edge effect ประสิทธิภาพของการป้องกันสนามแม่เหล็กพิจารณาได้จากความสัมพันธ์ $3\mu/4r$ ที่กำหนดให้ปลอกโลหะป้องกันต้องมีความยาวเกินกว่าความยาวของหัววัดอย่างเพียงพอ

โดยแท้จริงแล้ว ปลอกโลหะป้องกันสนามแม่เหล็กต้องมีความยาวตั้งแต่หลายมิลลิเมตร จนถึงหลายเซนติเมตร นอกจากนี้ยังพบว่า ประสิทธิภาพในการป้องกันสนามแม่เหล็กจะลดลงที่ปลายปลอกโลหะทั้งสองด้าน ดังรูปที่ 8



รูปที่ 7 ผลของสภาพความซึมซาบสนามแม่เหล็กที่ลดต่ำลงเมื่อความถี่เพิ่มขึ้นของโลหะป้องกันสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 8 ผลของสนามแม่เหล็กที่ลดต่ำลงที่ขอบของส่วนหัวและท้ายของปลอกโลหะป้องกัน

จากลักษณะของแพ็คเกจการป้องกันดังกล่าว ทำให้ในส่วนของโพโตแคโทดบริเวณไดโอดแผ่นแรกจะต้องได้รับผลกระทบจากสนามแม่เหล็ก จึงจำเป็นต้องมีการป้องกันอย่างสูงในบริเวณนี้

ตัวอย่างเช่น ในกรณีของหัววัดตัวตรวจจับแสงทวีคูณแบบรับรังสีส่วนบน หัววัดจะถูกสอดเข้าสู่อินตาตำแหน่งที่ลึกเข้าสู่ด้านในของปลอกโลหะป้องกัน ดังนั้นส่วนของพื้นผิวโพโตแคโทดที่รับรังสีจะถูกปิดกั้นจากส่วนขอบของปลอกโลหะป้องกัน โดยกำหนดให้มีความยาวมากกว่ารัศมี หรือเส้นผ่านศูนย์กลางของปลอกโลหะป้องกัน

การลดต่ำลงของกระแสด้านทึบแสง

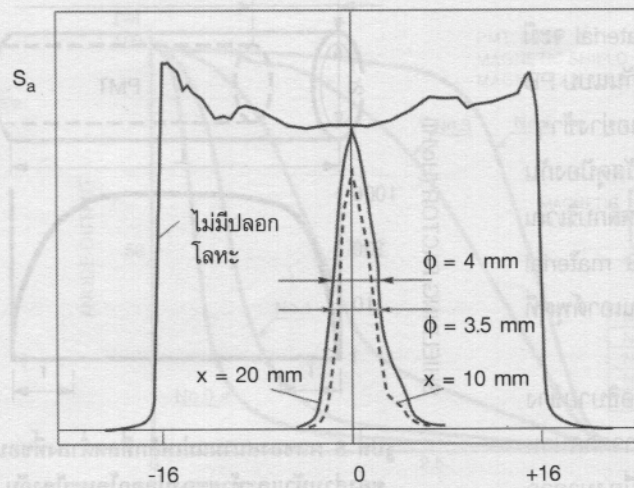
1. การลดอุณหภูมิ การที่จะทำให้กระแสรั้วด้านทึบ

แสงลดต่ำลงได้ ก็คือ การทำให้หัววัดมีอุณหภูมิลดลง โดยที่องค์ประกอบของสารประกอบซิวโพโตแคโทดจะขึ้นกับการลดอุณหภูมิลงในระดับคงที่ ดังนั้นอุณหภูมิที่ต่ำลงนี้จะส่งผลให้กระแสรั่วลดลง ดังนั้นการคายประจุ และอุณหภูมิจากส่วนอื่นๆ จะไม่ขึ้นกับกระแสด้านทึบแสง

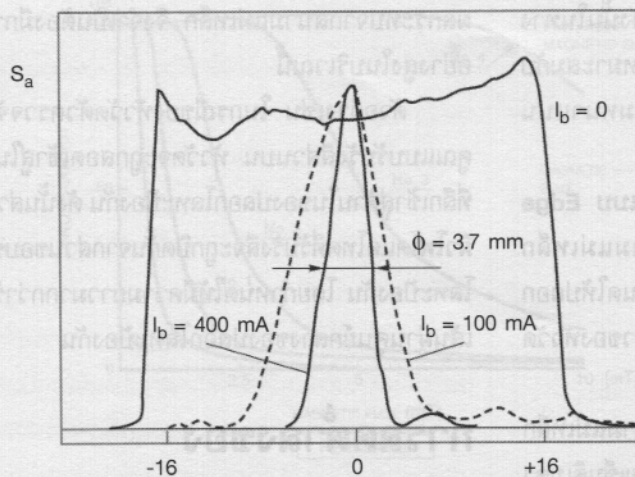
ดังนั้นในการใช้งานจึงจำเป็นต้องออกแบบขดลวดเพื่อหล่อเย็นให้กับหัววัดรังสีให้มีอุณหภูมิต่ำลง แต่ในการออกแบบดังกล่าวต้องระมัดระวังเกี่ยวกับการควบแน่นของแก๊สที่ผสมอยู่ในสภาพสุญญากาศ เนื่องจากการควบแน่นที่เกิดขึ้นนั้นจะทำให้เกิดสภาพเป็นฉนวน ซึ่งจะบดบังการทะลุผ่านของรังสีไปที่ด้านหน้าของหัววัด ซึ่งจะทำให้กระแสรั่วเพิ่มสูงขึ้น

2. การลดผลกระทบของพื้นที่แผ่นโพโตไดโอดผลของพื้นที่แผ่นโพโตไดโอดที่ไม่ถูกกระตุ้นจากแสงและมีขนาดต่ำเท่าใด จะส่งผลให้ขนาดของกระแสด้านมืดลดลง ดังนั้นการลดลงของอุณหภูมิกับกระแสด้านมืดจากพื้นที่ของแผ่นโพโตแคโทดที่ไม่ได้รับการถูกกระตุ้น จะส่งผลให้กระแสแสงมีขนาดเพิ่มสูงขึ้น และมีการตอบสนองต่อความไวที่คลื่นยาว (Long wavelength) โดยที่บริเวณภายนอกของซิวแคโทดสามารถยับยั้งไม่ให้เกิดผลจากการกระตุ้นอันเนื่องมาจากจตุรรมแสงของลำอิเล็กตรอนกระจายออกจากภายนอกแผ่นแคโทด ดังนั้นจึงไม่มีการสะสมของประจุที่แผ่นไดโอดแผ่นแรก

จากผลดังกล่าว จึงมีการใช้สนามแม่เหล็กปรับลำ



รูปที่ 9 ผลของขนาดพื้นที่แผ่นแคโทดที่ลดลงเนื่องจากผลของสนามแม่เหล็ก จากวงแหวนแม่เหล็กถาวรที่อยู่ด้านหน้าหัววัด



รูปที่ 10 ผลของขนาดพื้นที่แผ่นแคโทดที่ลดลงเนื่องจากผลของสนามแม่เหล็ก จากขดลวดโซลินอยด์ที่อยู่รอบๆ หัววัด

อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงขึ้น ซึ่งทำได้สองลักษณะ คือ

1. การใช้สนามแม่เหล็กถาวรจากแม่เหล็กวงแหวนแบบแกนเทอร์ลอยด์ที่ประกอบเข้าทางด้านหน้าของหัววัด โดยรูปที่ 9 แสดงถึงผลของระดับสัญญาณเอาต์พุตตามแนวเส้นผ่านศูนย์กลางในขณะที่มีและไม่มีสนามแม่เหล็ก พบว่าระดับสัญญาณเอาต์พุตนี้มีการปรับลดต่ำลงให้อยู่ภายใต้พื้นที่ของความเข้มสนามแม่เหล็ก

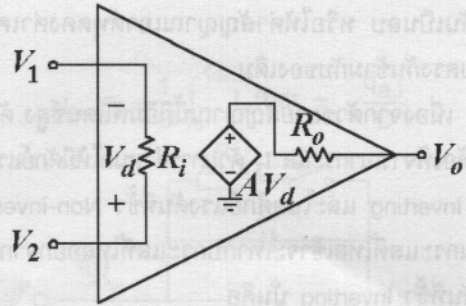
2. การใช้สนามแม่เหล็กจากขดลวดโซลินอยด์ ดังแสดงในรูปที่ 10 เมื่อเปรียบเทียบกับระดับสัญญาณของกระแสในรูปที่ 9 พบว่าระดับของกระแสมีลดต่ำกว่าผลของพื้นที่ เนื่องจากผลกระทบดังกล่าวไม่ได้กำเนิดจากขั้วแคโทดทั้งหมด ดังนั้นผลของสนามแม่เหล็กจากขดลวดโซลินอยด์ดังกล่าวจะทำให้เกิดความร้อนที่ขั้วแคโทดเพิ่มสูงขึ้น

วิธีการต่างๆ เหล่านี้จะมีความยุ่งยากมากเมื่อใช้กับหัววัดรังสีที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยมากๆ เนื่องจากส่วนของแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการปรับโฟกัสเพื่อให้เกิดการทวีคูณของลำอิเล็กตรอนเบี่ยงเบนจากบริเวณกึ่งกลางภายในแกนแม่เหล็กถาวร หรือภายในของขดลวดโซลินอยด์ที่จะทำให้อิเล็กตรอนมีการเปลี่ยนแปลงในระบบการวัดสัญญาณ ดังนั้นกระแสนี้สามารถถูกกำจัดออกไป หรือด้วยการชดเชยด้วยการออกแบบระบบอิเล็กทรอนิกส์ และสัญญาณพัลส์ของกระแสมีก็จะถูกกำจัดออกไปโดยใช้เทคนิคต่างๆ ผสมกัน แต่ก็ยังคงมีผลกระทบของสัญญาณรบกวนที่จะลดทอนสัญญาณออกไป

3. กระบวนการนำสัญญาณ (Signal processing) มีการใช้งานเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่ใช้ทำการวัดจากรังสีตกกระทบ ซึ่งกระแสที่ไหลผ่านออกสู่ขั้วแอโนดที่อยู่ในสภาพคงที่สามารถแสดงผลด้วยกัลวานอ์มิเตอร์

อย่างไรก็ตาม ในการใช้งานโดยส่วนใหญ่ สัญญาณเอาต์พุตจากหัววัดจะมีทั้งสัญญาณ (Signal) และสัญญาณรบกวน (Noise) ดังนั้นหัววัดจึงต้องมีระบบควบคุมการขยายสัญญาณกระแสน้อยเพียงพอ และส่วนประกอบในการขยายสัญญาณจะต้องมีความสามารถในการกำจัดสัญญาณรบกวนเพื่อให้สัญญาณเอาต์พุตมีความเสถียร

ด้วยความต้องการดังกล่าว จึงมีการออกแบบวงจรรวมเพื่อขยายสัญญาณความแตกต่างที่มีอิมพีแดนซ์ด้านอินพุตสูง (High Input Impedance) โดยสูงเกินกว่า 10 MΩ และมีอัตราขยายแบบรูปเปิด (Open loop) ที่สูงมากกว่า (>10⁵) ซึ่งส่งผลให้ระดับเอาต์พุตอิมพีแดนซ์



รูปที่ 11 วงจรสมมูลของออปแอมป์ที่ไม่เป็นอุดมคติ

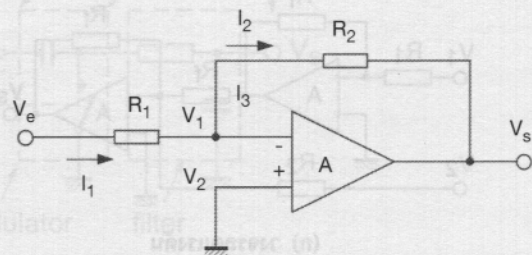
มีค่าใกล้เคียงศูนย์มากที่สุด อีกทั้งมีการทำงานเป็นแบบ Voltage-controlled voltage source ภายในตัวออปแอมป์ เมื่อพิจารณาถึงวงจรภายในในสถานะที่ไม่เป็นอุดมคติ (Non-ideal) สามารถแสดงเป็นวงจรสมมูล ดังรูปที่ 11 ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้กับสัญญาณต่างๆ เช่น การรวมสัญญาณ (Sum signal) อนุพันธ์สัญญาณ (Differentiate signal) อินทิเกรตสัญญาณ (Integrate signal) การหารสัญญาณ (Subtraction signal)

ด้วยการออกแบบให้ฟังก์ชันการถ่ายโอนของอุปกรณ์ขยายสัญญาณที่รับสัญญาณอินพุตที่มีการป้อนกลับสัญญาณ เพื่อรักษาเสถียรภาพของวงจรให้คงที่ โดยที่กำหนดให้ A เป็นอัตราขยายแบบรูปเปิดของตัวดำเนินการขยายสัญญาณ โดยสามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุต และแรงดันเอาต์พุต ได้ดังนี้

$$V_s = A(V_2 - V_1) = -AV_1$$

แหล่งจ่ายแรงดันจะทำงานได้ก็ต่อเมื่อมีแรงดันตกคร่อม R₁ ซึ่งเกิดขึ้นจากแรงดันอินพุต v₁ และ v₂ โดยในทางอุดมคติจะกำหนดให้อัตราขยายรูปเปิดมีค่านันต์ ความต้านทานอินพุตมีค่าเป็นอนันต์ และความต้านทานเอาต์พุตมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นกระแสที่ไหลเข้าออปแอมป์ทางด้านอินพุตจะมีค่าเท่ากับศูนย์

1. การขยายสัญญาณด้วยออปแอมป์ (Operational Amplifiers) วงจรตามรูปที่ 12 แสดงถึงการขยายสัญญาณ

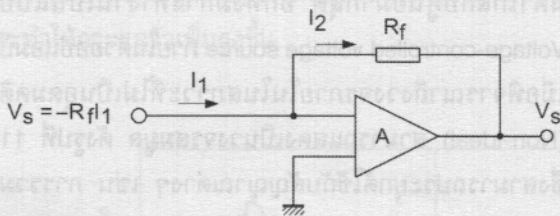


รูปที่ 12 วงจรขยายแบบกลับเฟส

แรงดันเป็นลบ หรือให้ค่าสัญญาณเอาต์พุตคงค่าเครื่องหมายตรงกันข้ามกับของเดิม

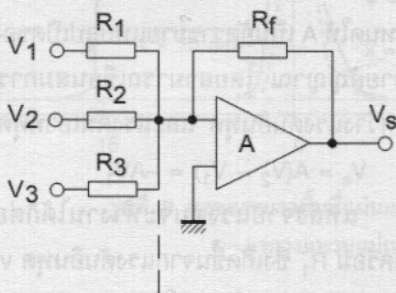
เนื่องจากตัวขยายสัญญาณนี้มีอิมพีแดนซ์สูง ดังนั้นจึงไม่ต้องพิจารณากระแส I_3 ด้วยการกำหนดให้มีศักย์แรงดันที่ขั้ว Inverting และโหนดศักย์แรงดันที่ขั้ว Non-inverting ดังนั้นกระแสที่ไหลเข้าจะเท่ากับกระแสที่ไหลออกจากศักย์แรงดันที่ขั้ว Inverting นั่นคือ

$$I_1 = \frac{V_e - V_1}{R_1} = I_2 = \frac{V_1 - V_s}{R_2}$$



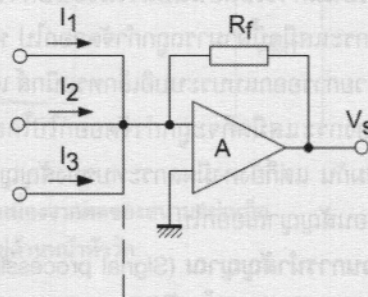
รูปที่ 13 วงจรเปลี่ยนกระแส เป็นแรงดัน

$$V_s = \left(\frac{R_f}{R_1} V_1 + \frac{R_f}{R_2} V_2 + \frac{R_f}{R_3} V_3 + \dots \right)$$



(ก) วงจรรวมสัญญาณแรงดัน

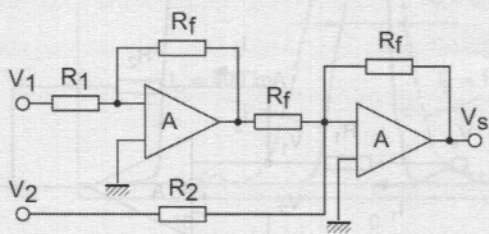
$$V_s = R_f(I_1 + I_2 + I_3 + \dots)$$



(ข) วงจรรวมสัญญาณกระแส

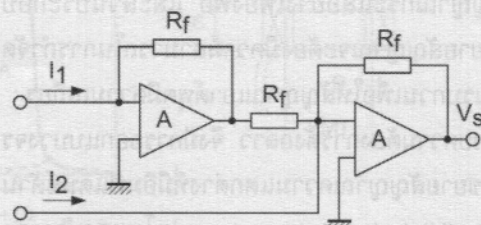
รูปที่ 14 วงจรรวมสัญญาณแรงดัน และวงจรรวมสัญญาณกระแส

$$V_s = \frac{R_f}{R_1} V_1 - \frac{R_f}{R_2} V_2$$



(ก) วงจรลดแรงดัน

$$V_s = R_f(I_1 - I_2)$$



(ข) วงจรลดกระแส

รูปที่ 15 วงจรลดแรงดัน (Voltage subtractor) และวงจรลดกระแส (Current subtractor)

เมื่อพิจารณาการขยายแบบป้อนกลับกำหนดได้ดังนี้

$$G = \frac{V_s}{V_e} = - \frac{\frac{R_2}{R_1}}{1 + \frac{1}{A} + \frac{R_2}{AR_1}}$$

ดังนั้นเมื่ออัตราขยายแบบป้อนกลับเปิดมีขนาดสูงชัน จะทำให้อัตราการขยายแรงดันแบบป้อนกลับลดลงดังนี้

$$G = \frac{R_2}{R_1}$$

ในการออกแบบลักษณะนี้จะต้องมั่นใจว่าความต้านทาน R_1 และ R_2 มีความเสถียร ไม่แปรค่าตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น เพราะจะส่งผลให้ระดับสัญญาณรบกวนมีมากขึ้นเนื่องจากความร้อนที่สูงขึ้น

ดังนั้นจะเห็นได้ว่า สามารถใช้วงจรขยายออปแอมป์กับค่าแรงดันอินพุตและเอาต์พุตได้ด้วยกฎของ Kirchhoff's Current Laws (KCL) ตัวอย่างของการจัดวงจรแบบหาร ดังแสดงในรูปที่ 14 ถึง 16

สำหรับการใช้วัดผลของการเรืองแสงจากสารเรืองแสง จะใช้วงจรอินทิเกรต โดยการวัดปริมาณโฟตอนของแสงที่ตกกระทบบน ซึ่งสัญญาณที่ได้จะมีลักษณะเป็นรูปคลื่นพัลส์ หรือเป็นสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงกับเวลา โดยที่ปริมาณของประจุ q ที่ขั้วแอโนด เป็นผลที่เกิดขึ้นจากปริมาณของแสงที่ตกกระทบบนกับสารเรืองแสง ที่ทำให้เกิดการเรืองแสงวาวขึ้น

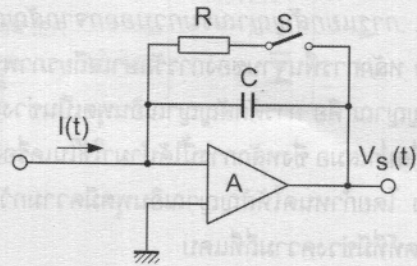
กระแสแอโนดที่เพิ่มสูงขึ้นจะเป็นสัดส่วนกับแรงดัน V กับประจุ q ตามปริมาณของแสงที่ตกกระทบบน ดังนั้นในการออกแบบวงจรอินทิเกรตนั้นจะใช้ตัวเก็บประจุทำหน้าที่คายประจุที่สะสมอยู่ที่ขั้วแอโนดในระหว่างที่แสงตกกระทบบนและทำให้เกิดการเรืองแสง ดังแสดงในรูปที่ 16

ในส่วนของสัญญาณเอาต์พุตจากหัววัด สามารถปรับขนาดให้แตกต่างกันได้หลายระดับ โดยที่ระดับสัญญาณเหล่านี้จะทำการปรับให้อยู่ในสเกลลอการิทึม ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้ไดโอด หรือทรานซิสเตอร์ร่วมกันในรูปป้อนกลับ ดังแสดงในรูปที่ 17 โดยที่ไดโอดที่เป็นรอยต่อ P-N เมื่อได้รับการไบอัสแบบตรงนั้นจะมีลักษณะสมบัติแบบลอการิทึม

สำหรับทรานซิสเตอร์นั้นจะให้ผลของสัญญาณเอาต์พุตที่ดีกว่าการใช้ไดโอด เนื่องจากระดับสัญญาณอ้างอิงนั้นอยู่ใกล้เคียงกับศูนย์ที่เป็นระดับแรงดันที่กราวด์ เมื่อระดับสัญญาณเอาต์พุตของหัววัดมีขนาดต่ำมาก การเปลี่ยนแปลงแรงดันกระแสตรงจะมีการเลื่อนออกจากที่ระดับศูนย์ของตัวขยายสัญญาณ ซึ่งจะส่งผลต่อระดับการคลาดเคลื่อนของแหล่งจ่ายไฟ

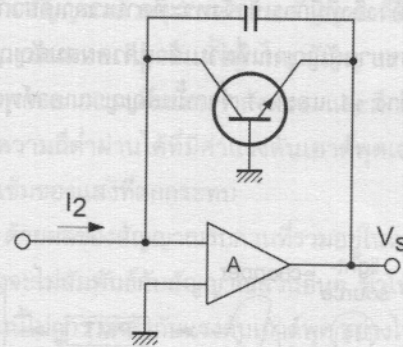
ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณแบบกระแสสลับ ดังแสดงในรูปที่ 18 เป็นสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงกับเวลา โดยผลของการขยายสัญญาณนี้ถูก

$$V_s = -\frac{1}{C} \int_0^{t_{min}} I_a(t) dt \approx -\frac{q_a i}{C}$$

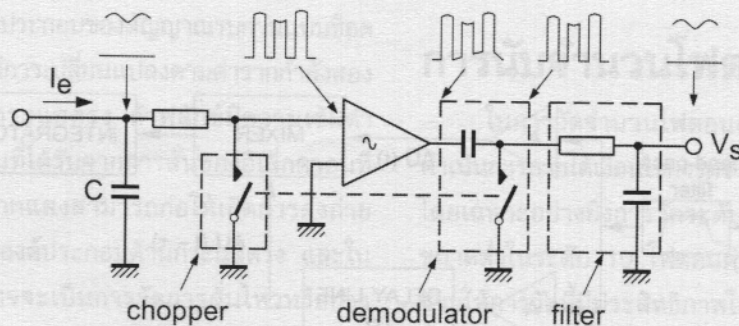


รูปที่ 16 วงจรอินทิเกรต ที่ใช้สำหรับการสะสมประจุจากพัลส์สัญญาณแสง โดยที่ t_{min} เป็นความกว้างของพัลส์เวลาต่ำสุด สวิตช์ S จะถูกใช้ในการคายประจุให้กับตัวเก็บประจุจากสัญญาณพัลส์

$$V_s = k \log I_e$$



รูปที่ 17 วงจรขยายแบบลอการิทึม (Logarithmic amplifier)



รูปที่ 18 วงจรขยาย Chopper เพื่อรักษาเสถียรภาพของรูปคลื่นพัลส์

ผสมสัญญาณให้เป็นแบบสี่เหลี่ยมที่มีความเสถียร จากนั้นจึงติมอดูเลตสัญญาณเอาต์พุตให้กลับเป็นรูปสัญญาณแบบเดิมด้วยการเฉลี่ยสัญญาณด้วยวงจรกรองความถี่ต่ำ

2. การแยกสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณที่ตรวจวัด หลักการพื้นฐานของการรักษาเสถียรภาพของตัวขยายสัญญาณ คือ การตัดสัญญาณอินพุตเป็นช่วงจังหวะที่มีความถี่สม่ำเสมอ ซึ่งหลักการนี้ได้นำมาใช้ในเครื่องมือวัดทางแสง โดยกำหนดให้สัญญาณอินพุตมีความกว้างของแบนด์วิดท์ที่มีช่วงความถี่ที่แคบ

ตามหลักการพื้นฐานแล้ว การลดช่วงแบนด์วิดท์ของการวัดก็เพื่อเพิ่มอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal-to-Noise ratio) ให้สูงขึ้น โดยปกติแล้วในตอนแรกของการวัดพัลส์ความเข้มแสง จะทำการตัดสัญญาณอินพุตของแสงที่มีความถี่ต่ำที่สุด อย่างน้อยจะเป็นสองเท่าของความถี่ที่มีการเปลี่ยนแปลงสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 19

ดังนั้นผลของสัญญาณเอาต์พุตจากหัววัดที่ถูกมอดูเลตเข้ากับคลื่นพาหะแบบสี่เหลี่ยม โดยสัญญาณพาหะที่ถูกขยายนี้ได้ถูกมอดูเลตและติมอดูเลตด้วยสัญญาณอ้างอิงที่มีการเข้าจังหวะที่คาบเวลาเดียวกัน ด้วยอัตราการขยายสัญญาณที่ผ่านเข้าสู่ภาคผสมสัญญาณในช่วงระหว่าง +1 และ -1 จากนั้นสัญญาณเอาต์พุตที่ผ่าน

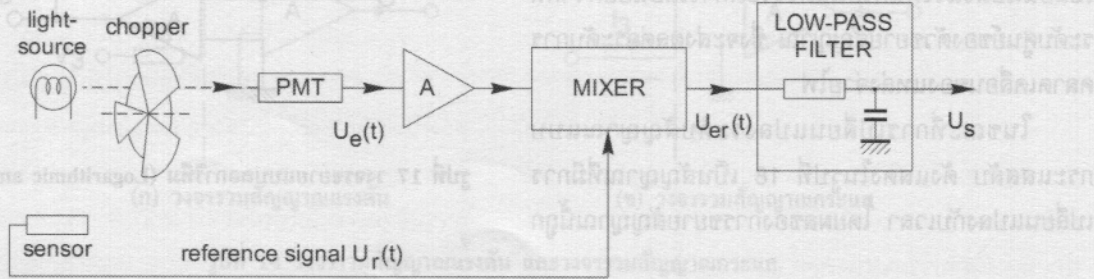
ส่วนผสมสัญญาณจะผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำ (Low pass filter) เพื่อให้พาหะสัญญาณรูปคลื่นที่ได้ขยายออกที่ย่านความถี่ต่ำผ่านได้ ซึ่งสัญญาณนี้มีความต่อเนื่องเป็นสัดส่วนกับสัญญาณอินพุต

รูปที่ 20 แสดงถึงระบบตรวจจับสหสัมพันธ์ (Auto-correlation system) ของสัญญาณคาบเวลาที่มีขนาดต่ำๆ ที่เป็นสัญญาณเอาต์พุตจากหัววัดตัวตรวจจับทวิคูณ $U(t) = U_0(1 + \cos \omega t)$ ซึ่งถูกบดบังหรือลดทอนด้วยสัญญาณรบกวน $u(t)$

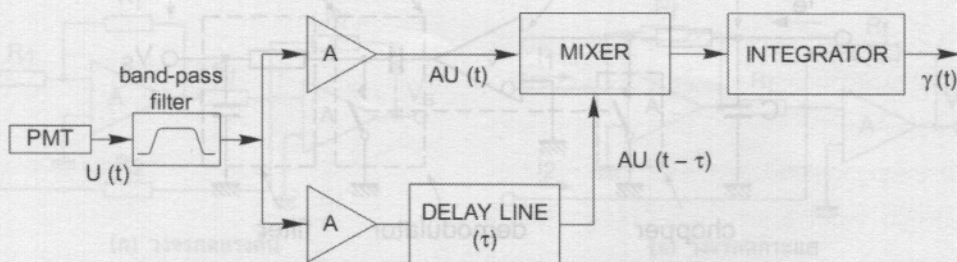
หลังจากที่สัญญาณเอาต์พุตจากหัววัดได้ผ่านวงจรกรองแถบความถี่ผ่านได้ (Bandpass filtered) ที่อยู่ในช่วงความถี่ ω ได้ถูกแยกออกเป็นสองส่วน แล้วเข้าไปสู่ส่วนการขยายสัญญาณที่มีขนาดเท่ากัน โดยสัญญาณหนึ่งได้ถูกทำให้เกิดการหน่วงภายใน และอีกส่วนหนึ่งไม่เกิดการหน่วง จากนั้นนำสัญญาณทั้งสองมาคูณเข้าด้วยกัน และรวมเข้าด้วยกันในช่วงคาบเวลา T ซึ่งสามารถแสดงได้ด้วยความสัมพันธ์ดังนี้

$$\gamma(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T U(t)U(t-\tau)dt$$

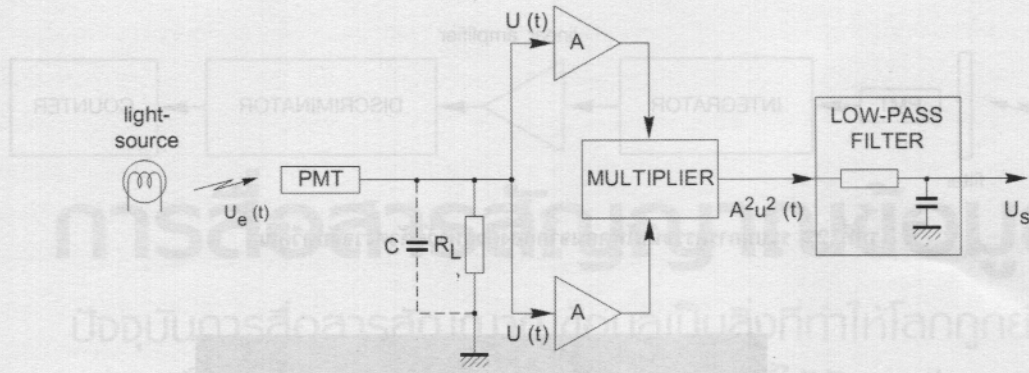
$$= \frac{A^2}{T} \int_0^T [U_0(1 + \cos \omega t) + u(t)][U_0(t + \cos \omega(t-\tau)) + u(t-\tau)]dt$$



รูปที่ 19 การตรวจจับสัญญาณที่มีการเข้าจังหวะ (Synchronous detection)



รูปที่ 20 ระบบการตรวจจับสัญญาณสหสัมพันธ์ (Autocorrelation detector)



รูปที่ 21 การตรวจจับสนิทแบบควอดเรติก (Quadratic detector)

จากหลักพื้นฐานของการแยกองค์ประกอบจากความสัมพันธ์ดังกล่าวพบว่า ค่าต่ำสุดของคาบเวลา τ ซึ่งสามารถแยกองค์ประกอบจากผลของการอินทิเกรต เกิดจากผลคูณของสัญญาณคาบเวลาและองค์ประกอบที่มีการสั่นที่ประกอบด้วยสัญญาณรบกวน ดังนั้นสามารถอธิบายความสัมพันธ์ดังกล่าวจากสมการต่อไปนี้

$$\gamma(\tau) = \frac{A^2 U_0^2}{T} \int_0^T \{(1 + \cos \omega t)(1 + \cos \omega(t - \tau))\} dt$$

$$\approx \frac{A^2 U_0^2}{T} (2 + \cos \omega \tau)$$

โดยที่ค่า τ ได้ถูกให้คุณเข้ากับสัญญาณคาบเวลา ดังนั้นสัญญาณที่ได้จึงทำการปรับให้เหมาะสมดังนี้

$$\gamma(\tau) \approx \frac{3}{2} A^2 U_0^2$$

จากความสัมพันธ์ดังกล่าวจะพบว่าสัญญาณเอาต์พุตนั้นเป็นสัดส่วนกับสัญญาณอินพุตแบบสี่เหลี่ยม

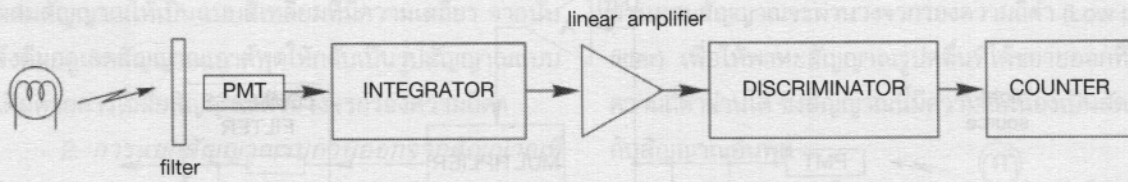
3. การตรวจวัดสัญญาณแสงที่ต่ำมากด้วยการวัดแบบ Quadratic detection เมื่อหัววัดได้รับแสงที่มีความเข้มคงที่ หรือในกรณีที่ฟลักซ์ความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลงลดต่ำลงอย่างช้าๆ ในขณะที่กระแสขั้วแอโนดประกอบด้วยกระแสตรงที่มีการเปลี่ยนแปลงตามฟลักซ์ความเข้มแสง และในส่วนขององค์ประกอบของสัญญาณรบกวนแบบช็อต (Shot noise) จะมีการเปลี่ยนแปลงตามค่ารากกำลังสองขององค์ประกอบกระแสตรง ถ้าฟลักซ์มีความเข้มต่ำ พลังงานการส่งผ่านที่ได้รับจากการสั่นของอิเล็กตรอนที่ได้รับการกระตุ้นจากแสงสามารถก่อให้เกิดการส่งถ่ายพลังงานได้มากจากองค์ประกอบด้านกระแสตรง และในกรณีดังกล่าวนี้ อาจจะเป็นการวัดการสั่นไหวหรือการกระเพื่อมจากสัญญาณรบกวน มากกว่าผลที่มาจากองค์ประกอบด้านกระแสตรง

ประโยชน์ที่ได้จากวิธีการตรวจจับสนิทแบบ Quadratic จะทำให้สัญญาณเอาต์พุตมีค่าที่เป็นสัดส่วนกับกระแสที่เกิดการสั่นยกกำลังสองอันเนื่องมาจากฟลักซ์ของแสงที่ตกกระทบในตัวตรวจจับสนิทแบบควอดเรติก ดังรูปที่ 21 พบว่าส่วนของแรงดันกระแสตรงที่เป็นแรงดันตกคร่อมโพลิตความต้านทานที่มีขนาดค่อนข้างต่ำ และยังมีส่วนประกอบของสัญญาณกระเพื่อมที่เป็นสัญญาณรบกวนที่ถูกขยายสัญญาณด้วยอุปกรณ์ขยายสัญญาณที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมแบบเดียวกันทั้งคู่ โดยสัญญาณเอาต์พุตที่ได้รับการขยายแรงดันแบบกำลังสอง และมีการใช้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านได้ที่มีค่าแรงดันเอาต์พุตเฉลี่ยขึ้นกับความเข้มของแสงที่ตกกระทบ

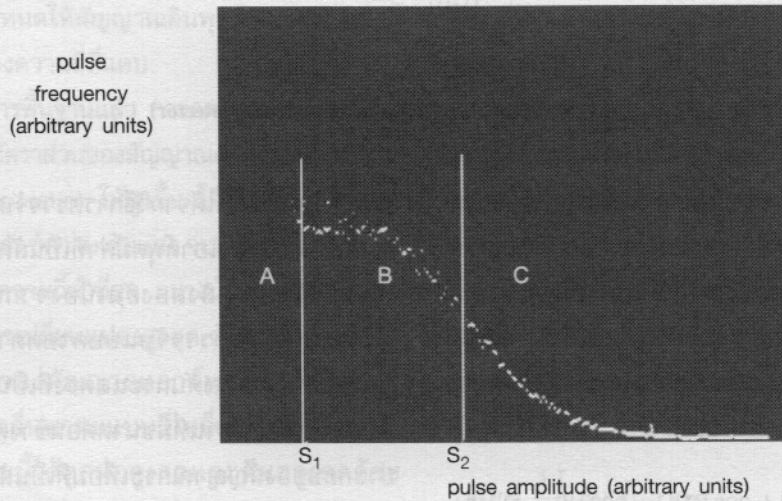
ด้วยผลของสัญญาณรบกวนที่รวมอยู่ในแอมพลิฟาย์ทั้งสองจะไม่สัมพันธ์กับสัญญาณส่วนอื่นๆ ทำให้สัญญาณรบกวนนี้ไม่ถูกรวมเข้ากับแรงดันเอาต์พุต อย่างไรก็ตาม ในส่วนของสัญญาณรบกวนจากกระแสมีดของตัวตรวจจับสนิทแสงทวิคูณ และสัญญาณรบกวนเนื่องจากความร้อนที่โพลิตความต้านทานซึ่งไหลเข้าสู่แอมพลิฟาย์ทั้งสองที่มีขนาดที่เท่าเทียมกัน โดยมีการรวมเข้ากับเอาต์พุตของแรงดันและสัญญาณรบกวนนี้เป็นแพ็คเกจที่จำกัดความไวของการตรวจจับสนิทจากแอมพลิฟาย์ทั้งสอง

การนับจำนวนโฟตอน

ในการวัดจำนวนโฟตอนด้วยตัวตรวจจับสนิททวิคูณที่ดำเนินการภายใต้เงื่อนไขการตรวจจับสนิทเชิงเดี่ยว โดยเฉพาะอย่างยิ่งการวัดระดับฟลักซ์ความเข้มแสงที่มีขนาดต่ำในระดับ 10 โฟตอนต่อวินาที และวิธีการที่จะช่วยให้การวัดนี้มีประสิทธิภาพโดยปราศจากการรบกวนต่างๆ ในระบบการวัด ซึ่งปัจจัยดังกล่าวเป็นผลมาจากองค์ประกอบของกระแสตรงที่มาจากกระแสมีด ขนาดของ



รูปที่ 22 ระบบการตรวจนับโฟตอนจากแสงด้วยหัววัดตัวตรวจนับทวิคูณ



รูปที่ 23 ขนาดพัลส์-ความถี่พัลส์ ภายใต้เงื่อนไขของอิเล็กตรอนเดี่ยวที่เกิดการทวีคูณของหัววัด แสดงถึงระดับเทรชโวลต์ด้านบน และด้านล่างสำหรับการนับโฟตอนของแสง

รูปคลื่นสัญญาณพัลส์ที่มีแอมพลิจูดต่ำซึ่งเกิดจากการทวีคูณของอิเล็กตรอน และสัญญาณพัลส์จากส่วนอื่นๆ ที่มีแอมพลิจูดสูงมากกว่าสัญญาณพัลส์ที่กำเนิดจากกระแสโฟโต

ดังนั้นการนับจำนวนโฟตอนสามารถใช้วิธีการดังกล่าวตรวจหาได้ โดยพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็วของรูปคลื่นพัลส์ที่มีความเข้มแสงต่ำ ด้วยการตรวจหาจากการเรืองแสงวาบ ซึ่งระบบการตรวจวัดฟลักซ์ความเข้มแสงขนาดต่ำมากๆ แสดงได้ดังรูปที่ 22 เป็นการตรวจนับแสงจากระดับความเข้มแสงที่ตกกระทบยังชั่วแฉับโตทำให้เกิดการคายประจุอิเล็กตรอน จากนั้นก็เคลื่อนที่ภายใต้สนามไฟฟ้าด้วยความเร็วสูงพุ่งเข้าสู่ขั้วแอโนด

ดังนั้นเมื่อประจุอิเล็กตรอนพุ่งเข้าสู่ขั้วแอโนด จะก่อให้เกิดเอาต์พุตรูปคลื่นพัลส์แรงดันที่มีขนาดเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาที่ทำกรวัดฟลักซ์ความเข้มแสง

เนื่องจากทางสถิติพบว่า การลั่นของอิเล็กตรอนอย่างทวีคูณ โดยที่พัลส์แอมพลิจูดของอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจะมีขนาดไม่สม่ำเสมอ มีลักษณะการกระจายเป็นแบบเชิงสุ่ม โดยปกติแล้วพัลส์สัญญาณรบกวนจากกระแสมีจะมีการ

กระจายและมีขนาดรูปร่างของพัลส์ที่แตกต่างกัน ทั้งขนาดใหญ่และเล็ก ดังแสดงในรูปที่ 23

ดังนั้นจากสัญญาณที่ได้รับจากอิเล็กตรอนที่มีการทวีคูณ ก็จะมีทั้งสัญญาณ (Signal) และสัญญาณรบกวน (Noise) จึงต้องมีการพิจารณาด้านระหว่างสัญญาณกับสัญญาณรบกวนที่เหมาะสม (Signal-to-Noise ratio) ซึ่งในการวัดสัญญาณเอาต์พุตภายใต้เงื่อนไขอิเล็กตรอนเชิงเดี่ยว จะทำการวัดขนาดพัลส์ของรูปคลื่นที่ S_1 และ S_2 เพื่อปรับขนาดของแอมพลิจูดให้เหมาะสมต่อการนำสัญญาณเอาต์พุตไปประยุกต์ใช้งานต่อไป

