

# อุปกรณ์อานาล็อก กับการสื่อสารด้วยใยแก้วนำแสง



เพื่อให้ทั้งระบบดิจิทัล และระบบใยแก้วนำแสงทำงานด้วยกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ คุณจะต้องใช้อุปกรณ์แบบอานาล็อก(Analog) ที่ออกแบบมาเฉพาะเพื่อช่วยลดปัญหาที่เกิดขึ้นจากคุณสมบัติบางประการที่มีอยู่เฉพาะในอุปกรณ์ประเภท อิเล็กโตร-ออปติคัล (Electro - Optical)

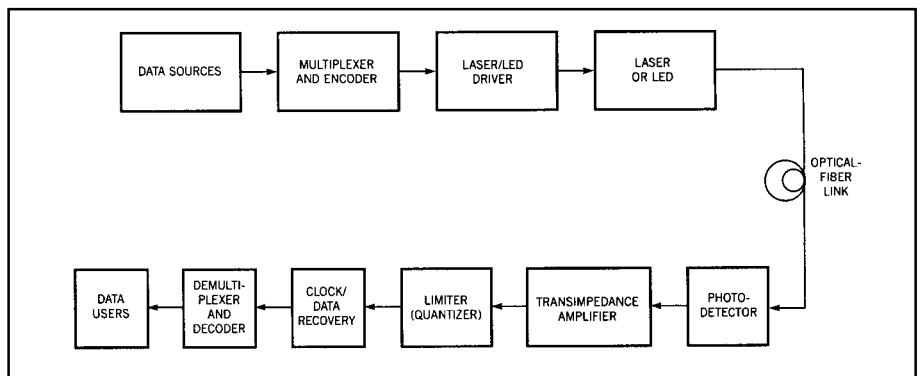
## ชิ้นส่วนประเภทอานาล็อกกับการสื่อสารที่เสถียรขึ้น

ไม่ใช่เรื่องที่เกิดขึ้นเลยหากจะกล่าวว่า สายสัญญาณสื่อสารใยแก้วนำแสง (Fiber Optic) นั้นเป็นสายส่งสัญญาณที่เกือบจะสมบูรณ์แบบ ทั้งนี้ก็เนื่องจากตัวมันเองนั้นมีความเสถียรที่เอื้อประโยชน์ต่อการสื่อสารหลายประการ เช่น สามารถจัดแบ่งช่องสัญญาณออกได้เกือบไม่จำกัดจำนวน ทนต่อสัญญาณรบกวนรูปแบบต่างๆ (Electromagnetic Interference / Radio Frequency Interference) ตัวของมันเองก็ไม่ใช่แหล่งกำเนิดของสัญญาณรบกวน มีการสูญเสียสัญญาณน้อยมาก (low loss) อีกทั้งยังมีน้ำหนักเบาและมีราคาที่ยอมรับได้ เป็นต้น

แต่การนำเอาสายส่งสัญญาณใยแก้วนำแสงไปใช้งานนั้นก็ยังมีข้อจำกัดเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากวงจรต่างๆที่มีในระบบการสื่อสารนั้นจะเป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์แทบทั้งสิ้น ดังนั้นการที่จะใช้สายส่งสัญญาณใยแก้วนำ

แสงกับระบบที่มีอยู่ได้ จึงต้องมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เชื่อมประสานระบบทั้งสองเข้าด้วยกัน อุปกรณ์ที่ว่านี้จะทำหน้าที่ แปลงสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณแสง (Electro Optical Device) เช่น LED (Light Emission Diode) เลเซอร์ (Laser) โฟโตไดโอด (Photodiodes) และ ตัวจับสัญญาณ (Detectors) แบบต่างๆ และในการประกอบชุดอุปกรณ์ที่กล่าวให้สามารถทำงานอย่างมีประสิทธิภาพนั้น

จะต้องคัดสรรชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่เป็นส่วนประกอบอย่างพิถีพิถัน เนื่องจากชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่างๆ นี้มีคุณสมบัติและลักษณะบางประการที่คุณอาจจะไม่เคยพบเห็นมาก่อนในชุดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบอื่นๆ โชคดีที่ข้อได้เปรียบของใยแก้วนำแสง และตลาดผู้ใช้ที่มีความต้องการช่องการสื่อสารที่มีแบนด์วิดท์(Bandwidth) ที่สูงขึ้นอย่างมาก เป็นปัจจัยอันหนึ่งที่จะช่วย



รูปที่ 1 : ระบบอิเล็กทรอนิกส์ / สายใยแก้วนำแสง / สัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ที่ถูกส่งออก / แหล่งกำเนิดโฟตอน และวงจรควบคุม ชุดรับสัญญาณโฟตอน ชุดขยายสัญญาณ(Transmittance amplifier); signal limiterหรือ (quantizer) และ ฟังก์ชัน Clock recovery , data retiming และ signal regeneration

เร่งให้บริษัทผู้ผลิตต่างต้องเร่งพัฒนาไอซีอินเทอร์เฟซพื้นฐาน (Interface IC) และอุปกรณ์แปลงสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์เป็นสัญญาณแสง (Electro-Optical Transducers) ออกสู่ตลาด หากพิจารณาดูที่วงจรของการสื่อสาร (รูปที่ 1) จะเห็นว่าในการส่งสัญญาณระหว่าง ตัวส่งสัญญาณข้อมูล (Data Source) และ ตัวรับสัญญาณ (Receiver) ที่เป็นอุปกรณ์ในระบบดิจิทัลทั้งหมดนั้น ยังมีขั้นตอนสำคัญบางอย่างที่ยังจำเป็นต้องใช้การทำงานในระบบอานาล็อกรวมอยู่ด้วย

### **ความแตกต่างอย่างสุดขั้วระหว่าง ตัวส่งสัญญาณกับ ตัวรับสัญญาณ**

เนื่องจากตัวให้กำเนิดโปรตอน (Photon Source) และ ตัวรับโปรตอน (Proton Receiver) นั้นมีความแตกต่างกันอย่างมาก ทำให้วงจรอินเทอร์เฟซและขั้นตอนในการออกแบบอุปกรณ์ทั้งสองแตกต่างกันออกไปด้วย (รายละเอียดในหัวข้อเรื่อง พื้นฐานของระบบ Photonic Transducers) ในการส่งสัญญาณที่ระดับความเร็ว 50 -100 Mbps นั้น เราอาจจะเลือกใช้ LED เป็นตัวให้กำเนิดแสงได้เนื่องจากเราสามารถใส่สัญญาณ Pulse เป็นสัญญาณขับได้ อีกทั้งทนต่อสภาพกระแสเกิน (Overcurrent) ช่วงสั้นๆ ได้ดี

แต่เมื่อระดับความเร็วในการส่งสัญญาณเพิ่มขึ้นมาอยู่ที่ 155 และ 622 Mbps SONET/SDH (synchronous-optical network / synchronous-optical-hierarchy) LED จะมีความเร็วในการส่งสัญญาณช้าเกินไป จึงจำเป็นต้องเปลี่ยนมาใช้เลเซอร์ไดโอด (Laser diode) หรือ เลเซอร์ไดโอดแบบที่เรียกว่า “Vertical cavity surface-emitting laser” เป็นแหล่งกำเนิดของแสงแทน เนื่องจาก เลเซอร์ไดโอดมีข้อดีที่มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงพอสมควร และ ให้กำเนิดแสงได้ดี แต่มีข้อเสียก็คือ มีคุณสมบัติบางประการที่จะต้องคำนึงถึง

และพิจารณาเป็นพิเศษในตอนออกแบบ วงจรขับ (Drive Circuit) ของเลเซอร์ไดโอดนี้ เลเซอร์ไดโอดแตกต่างจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั่วไปตรงที่ตัวมันนั้นมีอายุการใช้งานจำกัด ระดับของกระแสที่ได้ออกมาจะลดลงเรื่อยๆ และ ระดับของกระแสต่ำสุดต่อการเริ่มเปล่งแสง (Operating Thresholds) ของมันก็จะเปลี่ยนไปตามอายุการใช้งานทำให้จำเป็นต้องคอยตรวจสอบสภาพการทำงานของมันอยู่ตลอดเวลา

แม้ว่าเรื่องอายุการใช้งานจำกัดของเลเซอร์ไดโอดจะเป็นปัญหาแต่ก็ไม่น่าจะหนักเมื่อเทียบกับปัญหาในเรื่องความไว (Sensitivity) ของมันต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิขณะทำงาน ซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของมัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีวงจรควบคุมอุณหภูมิแบบวงจรถัด (Close Loop Control) เพื่อช่วยให้เลเซอร์ไดโอดให้กระแสออกมาคงที่ และ เพื่อช่วยปรับค่าไบแอส (Operating Bias) ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการปรับแต่งสัญญาณ (Modulate) ของไดโอด ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้เองทำให้ในชุดควบคุมระดับกระแสอัตโนมัติ (Automatic power control: APC) ของเลเซอร์ไดโอด จึงต้องมีชุดตรวจวัดและปรับระดับกระแสรวมอยู่ในโครงสร้างของมันด้วยเสมอ โดยทั่วไปแล้วบริษัทที่ผลิตวงจรถับไอซี (IC Driver) มักจะจัดประเภทของเลเซอร์ไดโอดออกเป็นกลุ่มๆ แล้วสร้างวงจรถับเพื่อทำงานกับเลเซอร์ไดโอดกลุ่มนั้นๆ โดยอาศัยค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ตรวจวัดได้เป็นเกณฑ์

นอกเหนือจากปัญหาเรื่องการปรับระดับของกระแสให้คงที่แล้ว วงจรขับของเลเซอร์ไดโอดจะต้องสามารถทำงานที่ความเร็วสูงโดยใช้กระแสจากแหล่งกำเนิดที่มีแรงเคลื่อนต่ำ (30-60mA) แต่มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตลอดเวลา ดังนั้นแนวโน้มในการที่จะเปลี่ยนกระแสไฟจากระดับ 5 V มาอยู่ที่ 3 ถึง 3.6 V จึงเป็นปัญหาอันหนึ่งที่จะต้องคำนึงถึงในการออกแบบวงจรถับของเลเซอร์ไดโอดด้วย

เราลองมามองดูปัญหานี้จากการคำนวณค่าเพื่อเข้าใจปัญหาในจุดนี้ดียิ่งขึ้น ยกตัวอย่างเช่น จะต้องใช้กระแสที่มีแรงเคลื่อนบวกที่ปรับขึ้นลงอยู่ระหว่าง 750 -1000 mV เพื่อการเหนี่ยวนำของกระแสที่ 10 นาโนเฮนรี่ ที่ใช้เวลาปรับสู่ระดับกระแสสูงสุด (Maximum rise time) ที่ไม่กักร้อยพิโควินาที (ใช้ใน gigabit Ethernet) สำหรับสัญญาณขนาดนั้นก็ต้องใช้กระแสลักษณะเดียวกันนี้แต่มีทิศทางตรงกันข้าม ดังนั้นแรงเคลื่อนไฟฟ้าของกระแสจะอยู่ในช่วง 1.5-2V เมื่อรวมกันเข้ากับแรงเคลื่อนของตัวไดโอดเองอีก 1.3 -2V แล้วแรงเคลื่อนรวมของกระแส จะอยู่ที่ระดับตั้งแต่ 3V ขึ้นไป ซึ่งการจะทำให้กระแสมีแรงเคลื่อนสูงที่ระดับนี้กระทำได้ยาก หากใช้แหล่งกำเนิดพลังงานที่จ่ายกระแสเพียง 3 -3.6 V

นอกจากปัญหาที่กล่าวถึงข้างต้นแล้วยังต้องคำนึงถึงเรื่อง Extinction Ratio ซึ่งคืออัตราส่วนระหว่างระดับของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ใช้แทนบิต “1” ของข้อมูล กับระดับของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ใช้แทนบิต “0” ทั้งนี้ก็เนื่องจากว่าเราไม่สามารถจะปิด (Turn Off) ไดโอดลงได้อย่างสมบูรณ์ ไดโอดจะปลดปล่อยโฟตอนออกมาอยู่ตลอดเวลา ปัญหาจะเกิดขึ้นเมื่ออัตราส่วนนี้มีค่าน้อยมากจนไม่สามารถจะแยกความแตกต่างระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้า บิต 1 กับบิต 0 ได้ โอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดของบิตข้อมูล (bit error) ที่ชุดรับสัญญาณก็จะเพิ่มมากขึ้นไปด้วย แต่การที่ไดโอดมีความไวต่ออุณหภูมิการทำงานที่เปลี่ยนแปลงไป ทำให้การรักษาระดับของอัตราส่วนนี้ไว้กระทำได้ยาก ยกตัวอย่างเช่น หากอุณหภูมิการทำงานเปลี่ยนไปจาก 25 °C ไปอยู่ที่ 50 °C จะต้องใช้กระแสเพื่อขับไดโอดเพิ่มจาก 10mA ไปเป็นที่ 30mA เลยทีเดียว ทั้งนี้เพื่อให้ได้แรงเคลื่อนที่เป็นปกติ

นอกจากจะต้องใช้กระแสที่มีแรงเคลื่อนปรับขึ้นลงเร็วแล้ว ยังต้องคอยควบคุมรูปแบบของการปรับขึ้นลงนั้นด้วย ทั้งนี้

เพื่อให้ได้กระแสที่เหมาะสมที่มี Overshoot, ringing และ jitter น้อยที่สุดด้วย ซึ่งทั้ง 3 ตัวนี้เป็นตัวที่ทำให้โอกาสของการเกิดความผิดพลาดของข้อมูลที่ชุดตัวรับสัญญาณสูงขึ้นทั้งสิ้น

อีกเรื่องหนึ่งที่ต้องให้ความสนใจ คือ เรื่องความปลอดภัยต่อการใช้งานเลเซอร์ไดโอด ที่นำมาใช้กับกระแสแรงเคลื่อนต่ำ คลื่นแสงที่ได้ออกมาจากไดโอดโดยเฉพาะอย่างยิ่งเคลื่อนที่อยู่ในช่วงคลื่นสั้นตั้งแต่ 780–850 nm นั้นอาจเป็นอันตรายถึงทำให้ตาบอดได้ แม้ว่าจะมีชุดวงจร APC ทำหน้าที่ควบคุมระดับพลังงานของคลื่นแสงดังกล่าวแล้วก็ตาม แต่ถึงกระนั้นในการใช้งานบางประเภทก็ยังมีโอกาสไม่มีความปลอดภัยเพียงพอ ตัวอย่างเช่น หากมีวงจรบางส่วนใน APC เกิดทำงานผิดพลาดหรือ ชัดข้องเกิดการลัดวงจรมีผลให้ APC ทำงานผิดพลาดได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีระบบที่คอยตรวจสอบและรายงานผลการทำงานของ APC ว่ามีความ

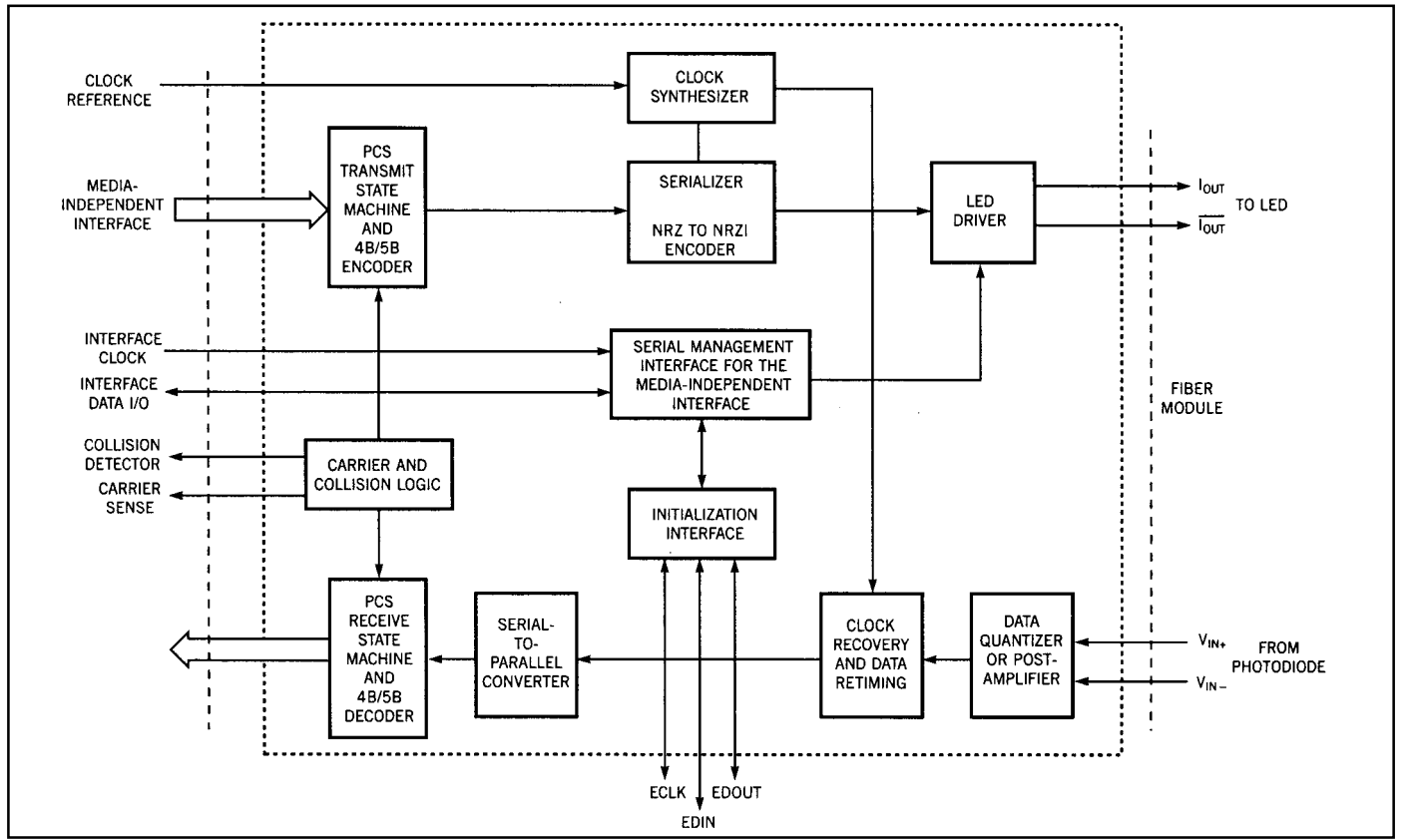
บกพร่อง หรือผิดพลาดในการทำงานหรือไม่ด้วย

นอกจากการพิจารณาการทำงานในสภาวะปกติแล้ว เรายังต้องคำนึงถึงการทำงานในสภาวะก่อนสู่สภาวะเสถียร (Transient) และ ตอนเริ่มใช้งาน (Start up) ด้วย ทั้งนี้เป็นเพราะอาจเกิดกรณีที่วงจรควบคุมการทำงานของเลเซอร์เกิดทำงานขึ้นก่อนที่ APC จะทำงานครบวงจร ทำให้วงจรขับจ่ายกระแสมากเกินไปชั่วขณะ ซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายแก่ตัวเลเซอร์ไดโอดเองก็เป็นได้

**ชุดตัวรับสัญญาณ อีกรูปแบบหนึ่งที่แตกต่างอย่างสิ้นเชิง**

แม้ว่าวงจรขับ และชุดแหล่งกำเนิดโพตอนของตัวส่งสัญญาณจะแตกต่างกันออกไปได้หลายรูปแบบ แต่ในชุดตัวรับสัญญาณนั้นนั้นจะสร้างขึ้นมาจากอาศัยหลักการพื้นฐานที่เหมือนกัน การที่ชุดตัวส่งสัญญาณ และชุด

ตัวรับสัญญาณมีความแตกต่างกันอย่างมากก็เนื่องจากว่า ในขั้นตอนของการส่งสัญญาณนั้นสัญญาณที่นำมาขับไดโอด จะเป็นสัญญาณที่ทราบระดับความถี่ที่แน่นอน ความเข้มของสัญญาณมีสูงทำให้สามารถตรวจจับสัญญาณได้ง่าย แต่ในการรับสัญญาณนั้นชุดตัวรับสัญญาณจะต้องตรวจจับ สัญญาณที่ไม่ทราบความถี่ที่แน่นอน และนำสัญญาณนั้นมาทำการถอดเอาสัญญาณข้อมูลออกมาโดยอาศัยค่าพารามิเตอร์บางตัวที่สามารถตรวจวัดได้มาใช้เป็นเกณฑ์ ดังนั้นชุดตัวรับสัญญาณจะต้องมีคุณสมบัติในเรื่องความไวในการตรวจจับสัญญาณที่มีกำลังต่ำแบบต่างๆ โดยมีสัญญาณรบกวนรูปแบบต่างๆ ความหนาแน่นของสัญญาณ และ แบนด์วิธเป็นตัวแปรที่สำคัญที่มีผลต่อความไวต่อการตรวจจับสัญญาณนี้ นอกจากนั้นชุดตัวรับสัญญาณยังจะต้องสามารถปรับระดับของการรับสัญญาณได้อัตโนมัติ ทนต่อการเกิด Overload ของสัญญาณขนาดใหญ่ ทนต่อการเกิด jitter



รูปที่ 2: เมื่อใช้งานกับวงจรการสื่อสารในระดับความเร็วต่ำกว่า 100 BaseX สามารถสร้างวงจรทั้งหมดนี้ให้รวมอยู่ใน ไอซี เดียวกันได้เช่นไอซีของ Micro Linear ML6696

และมีความสามารถในการถอดสัญญาณข้อ มูลที่มีความแม่นยำสูงด้วย

ในชุดตัวรับสัญญาณโดยทั่วไป แล้วจะประกอบไปด้วย ตัวรับสัญญาณแสง (โดยทั่วไปคือ Photodiode) ตามด้วยชุด ขยายสัญญาณ (Transimpedance amplifier) ซึ่งจะทำหน้าที่บูธสัญญาณ แล้วแปลงให้อยู่ในรูปของแรงเคลื่อนไฟฟ้า ตามด้วยชุด Limiting Amplifier หรือ 1-bit Quantizer ซึ่งทำหน้าที่แปลงแรงเคลื่อนไฟ ฟ่ำที่วัดได้ว่าหมายถึงข้อมูลบิต 1 หรือ 0 ชุด ตัวรับสัญญาณนี้จะต้องมีวงจรตรวจปรับระ ดับสัญญาณแบบ Phase lock loop (PLL) เพื่อทำหน้าที่ในการถอดสัญญาณนาฬิกาออก จากสัญญาณที่รับได้ และเนื่องจากว่า สัญญาณนั้นจะเป็นสัญญาณที่มีความเร็วและ การเปลี่ยนแปลงระดับขึ้นลงสูงด้วย ดังนั้น ในการออกแบบวงจรรับจะต้องคำนึงถึงเรื่อง ความไวต่อการตรวจวัดสัญญาณรบกวน และ การรบกวนจากแหล่งจ่ายกระแสด้วย นอกจากนี้ แล้วอีกประการหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงก็คือเรื่อง ของกระแสที่ใช้ขับที่ความเร็วสูง ดังนั้นจึง ต้องใช้วงจรอินเทอร์เฟตของ ชุดตัวรับ สัญญาณที่ใช้สัญญาณแบบ Differential Positive emitter-coupled-logic (PECL)

เราลองมาดูตัวอย่างการคำนวณ ของปัญหาในเรื่องนี้ ยกตัวอย่างเช่น ชุดตัว รับสัญญาณของระบบ LAN ที่ 622 Mbps นั้นจะต้องสามารถตรวจวัดระดับสัญญาณ แสงที่ต่ำถึงระดับ-28dBm ซึ่งค่าความเข้ม ของแสงที่ต่ำมากนี้เป็นผลมาจาก เกิดการ ลดกำลังเคลื่อนของสัญญาณ (loss) ประสิทธิภาพการทำงานของแหล่งกำเนิดแสง และ เรื่องอายุการใช้งานและเมื่ออัตราส่วน Extinction อยู่ที่ 10 สัญญาณที่ได้ออกมา จากตัววัดสัญญาณแสง (Photodetector) อาจอยู่ที่ 3mA p-p เนื่องจากเราต้องใช้ สัญญาณ PECL ที่ช่วง 1.6 V เพื่อส่งต่อไปยัง วงจรอินเทอร์เฟสของชุดตัวรับสัญญาณ ดังนั้นจะต้องมีการขยายสัญญาณ (gain) ที่ อัตราส่วน 1.6 V/ 3mA หรือเท่ากับ 530

V/mA ในชุดตัวรับสัญญาณ ซึ่งนับว่ามาก อยู่ทีเดียว และเพื่อรักษาค่า oscillation ของระบบโดยรวมให้ต่ำที่สุด และ รักษาภาพ นั้นให้นานที่สุดจึงจำเป็นต้องแบ่งการขยาย สัญญาณออกเป็น 2 ช่วง คือที่ระดับ 50-70 dB ใน ชุด Transimpedance amplifier และ 45-65 dB ใน ชุด Limiter

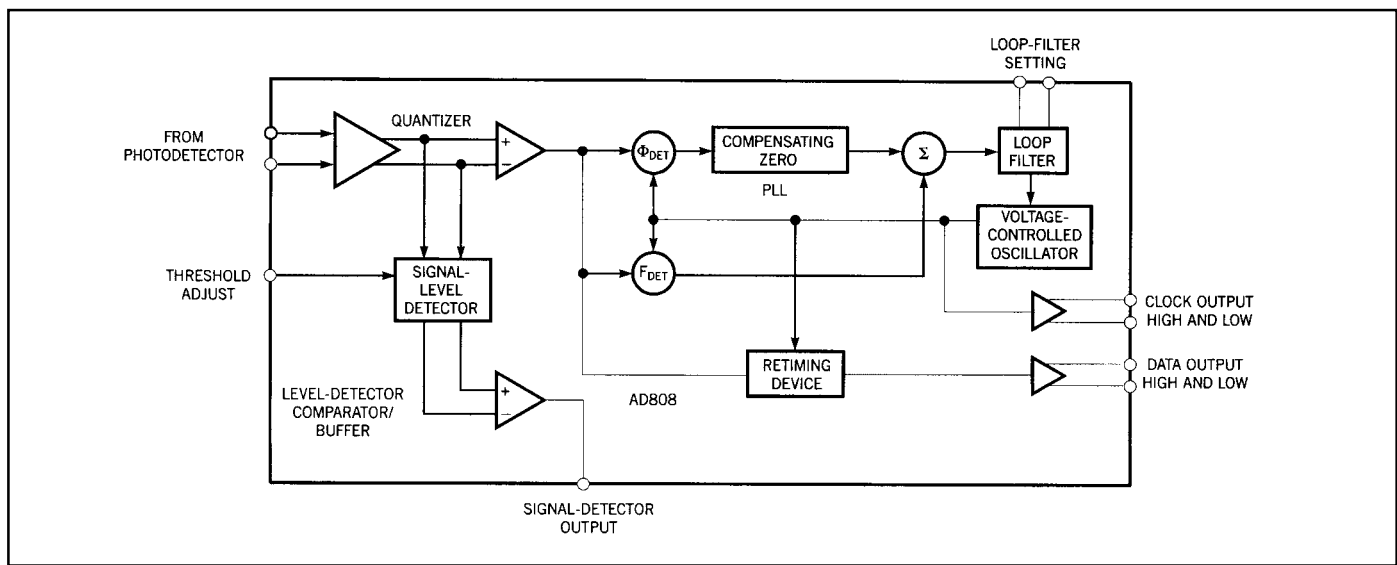
ปัญหาในเรื่องการขยายสัญญาณ แบบ High gain นั้นเป็นปัญหาของสัญญาณ ที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งจะเกิดขึ้นในกรณีที่ ชุดตัวรับ สัญญาณ และ ชุดตัวส่งสัญญาณ อยู่ใกล้กัน ในกรณีอย่างนี้ กระแสที่ได้จากตัววัดสัญญาณ แสงอาจจะสูงถึง 1mA และเกิด Overload และ เวลาที่เสียไปในการทำการกู้คืนสัญญาณ (Recovery Time) ที่เป็นข้อเสียของการมี High gain และ มีความไวต่อการตรวจ วัดสัญญาณสูง ซึ่งในการนำไปใช้งานจะต้อง คำนึงถึงเรื่องนี้ด้วยเสมอ

การนำไปใช้งานจริงๆ นั้นระดับ ของปัญหาดังกล่าวนี้อาจจะแตกต่างกันออกไป ตามรูปแบบของการนำไปใช้ ยกตัวอย่างเช่น ในระบบ LAN ซึ่งมักมีระยะของการส่ง สัญญาณที่สั้นกว่าระบบการสื่อสารรูปแบบอื่นๆ นั้นจะมีปัญหาในเรื่อง Overload ของสัญญาณ มากกว่าในขณะที่การสื่อสารโดยทั่วไปจะ มีปัญหาในเรื่อง สัญญาณรบกวนและ ความไวต่อการรับสัญญาณมากกว่าระบบ LAN ทั้งนี้เนื่องจากมีระยะการส่งสัญญาณ ไกลกว่า แต่ในปัจจุบันรูปแบบการใช้งาน LAN และ ระบบการสื่อสารแบบอื่นๆ มีความ คล้ายคลึงกันมากขึ้น ปัญหาที่กล่าวมาข้าง ต้นจึงเป็นปัญหาของทั้ง 2 ระบบด้วยเช่นกัน นอกจากนั้นแล้วยังมีการนำเทคนิคที่เรียกว่า “Wavelength Division Multiplexing” มาใช้ในระบบการสื่อสารทั่วไปมากขึ้น ย่อม หมายถึงโอกาสที่จะเกิดสภาวะ Overload ของชุดตัวรับสัญญาณในระบบสื่อสารมาก ขึ้นตามไปด้วย

ปัญหาอีกประการหนึ่งอยู่ที่ การกู้ สัญญาณนาฬิกาของวงจรตรวจสอบความถูก ต้องของสัญญาณ (Clock Recovery PLL)

ของชุดตัวรับสัญญาณ เนื่องจากเราต้อง การแบนด์วิทที่มีช่วงกว้าง สำหรับการส่ง สัญญาณที่รวดเร็วและสามารถกำจัดสัญญาณ รบกวนต่างๆออกไปได้อย่างถูกต้องแม่นยำ แต่การมีแบนด์วิทที่แคบนั้นจะช่วยป้อง กันสัญญาณรบกวนจากชุดตัวส่งสัญญาณได้ ดังนั้นบริษัทผู้ผลิตจึงตั้งค่าแบนด์วิทของ PLL และ กำหนดค่าต่างๆของวงจรที่เกี่ยวข้อง โดยอาศัยอัตราการส่งข้อมูลที่ PLL จะทำงานได้ดีที่สุด ยกตัวอย่างเช่นการ ส่งสัญญาณที่ระดับ 622 Mbps จะใช้ PLL ที่ 500kHz เป็นต้น ในการเลือกใช้อย่างลึ้ม ตรวจสอบความถูกต้องแบบชุด ต่อชุด ของค่าพารามิเตอร์ต่างๆของผู้ผลิตแต่ละราย ซึ่งค่าพารามิเตอร์เหล่านี้เป็นค่าที่ยากที่จะ ควบคุม และแตกต่างกันมากมาย ทำให้เมื่อ นำมาใช้ทำงานร่วมกันอาจเกิดปัญหา เรื่องความผิดพลาดของสัญญาณได้ ซึ่งโดยปกติแล้วการส่งข้อมูลของสายใยแก้ว นำแสงที่ระดับ 622 Mbps จะมีค่าความผิด พลาดอยู่ที่ 1 bit ในทุกๆ 10<sup>10</sup> บิต

แม้ว่าจะเป็นที่ทราบกันดีว่าการ รวมเอาฟังก์ชันการทำงานต่างๆ เข้าไว้ด้วยกัน เหมือนในไอซีนั้นสามารถกระทำได้ แต่การ รวมเอาวงจรรับ LED และ วงจรขับของ เลเซอร์ไดโอดเข้าไว้ด้วยกันกับวงจรควบคุมการทำงานของชุดรับสัญญาณ หรือวงจร ควบคุมการทำงานในระบบดิจิทัลอื่นๆ เป็นเรื่องที่ยากพอสมควร นอกจากนั้นแล้ว เมื่อความเร็วในการส่งสัญญาณสูงเกินกว่า 100 Mbps แล้วโอกาสของการเกิด Crosstalk ระหว่าง วงจรขับ กับ วงจรอินเทอร์เฟสของ ชุดตัวรับสัญญาณ จะมีมากขึ้นกว่าที่จะ ยอมรับได้ เช่นเดียวกันกับที่หากดูทางด้าน เทคนิคและขั้นตอนการทำงานแล้วเป็นไปได้เลยที่จะรวมเอาวงจรรับ และ วงจรควบคุมการทำงานของชุดตัวรับสัญญาณ ที่เป็น แบบอนาล็อก เข้าไว้ร่วมกับวงจรระบบ ดิจิทัล ดังนั้นในระบบการสื่อสารที่ใช้สาย ใยแก้วนำแสงจึงใช้ไอซีที่มีการรวมเอา เฉพาะฟังก์ชันพื้นฐานเท่านั้นมาเป็นองค์ประ



รูปที่ 3 : ตัวอย่างการใช้ ไอซี เช่น ชิป AD808 ของ บริษัท Analog Device ต่อจาก โฟโตไดโอด และ ตัวขยายสัญญาณ ก็จะสามารถสร้างช่องการรับสัญญาณ ( receiver channel ) ที่ระดับ 622 Mbps เพื่อใช้ในการเตรียมข้อมูลสำหรับการทำ เชนรหัสใหม่ (recoding) ในระดับระบบ

กอบเพื่อการทำงานในระดับที่ต้องการ แต่อย่างไรก็ตามคุณสมบัตินี้จะหา ไอซี ระดับ 100 Mbps ที่รวมเอาฟังก์ชันการทำงานของสายใยแก้วนำแสงไวในตัว ยกตัวอย่างเช่น ไอซี แบบ ML6696 ของ Micro Linear ที่รวมเอา Physical Layer ของ 100 BaseFX (1300-nm) และ 100 BaseSX (820-nm) ซึ่งรวมถึงวงจรขับ LED ขนาด 60mA และ Photodetector Post amplifier หรือ Quantizer (รูปที่ 2) ด้วย ในส่วนที่เป็นดิจิทัลของชิปไอซีตัวนี้จะต่อตรงกับ media-access controller โดยใช้อินเทอร์เฟซแบบ media-independent

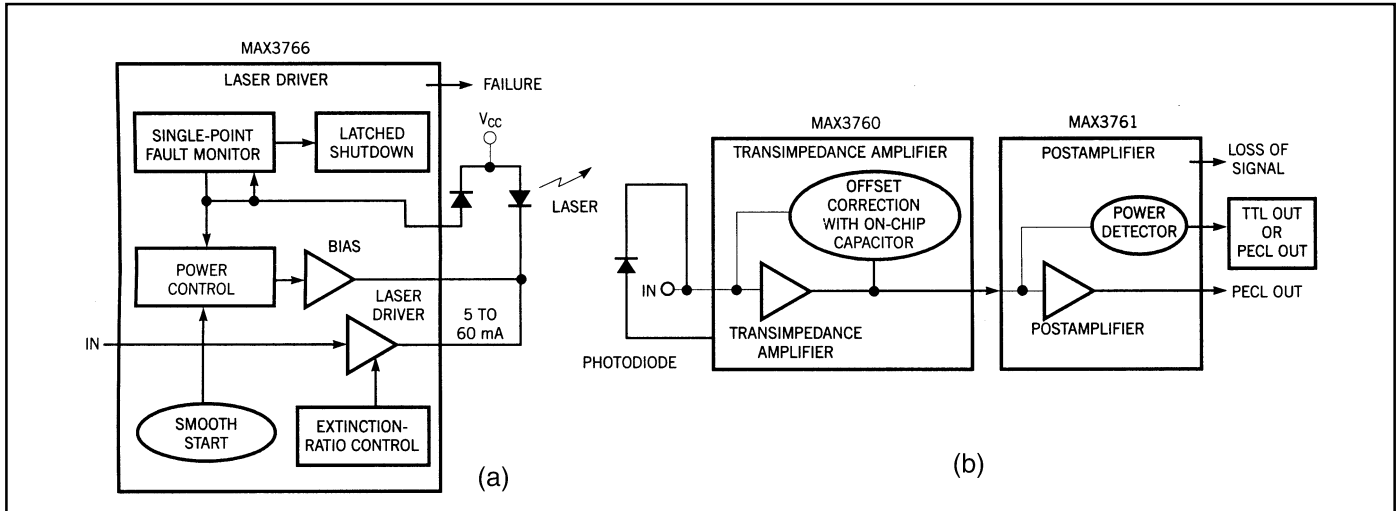
มีหลายบริษัทที่เน้นการพัฒนา ในส่วนของชุดรับสัญญาณ เช่น บริษัท Analog Devices ที่ผลิตไอซีชุดขยายสัญญาณแบบ AD8015 wideband/differential Transimpedance amplifier ที่เป็นชิปแบบ 8 pin ทำงานที่ระดับความถี่ 240 MHz มีช่วงการขึ้นลงสูงสุดของคลื่นที่ 1.5 นาโนวินาที ซึ่งเหมาะกับการใช้งาน เพื่อส่งข้อมูลที่ระดับ 155.52 Mbps จนถึง การใช้งานในระดับความเร็วที่ 300 Mbps โดย มีความไวต่อความเข้มของแสงที่ ระดับ 36 dBm ชุดรับสัญญาณแบบ AD808 ของบริษัทเดียวกันนี้มีชุด Quantizer และ ฟังก์ชัน

สัญญาณนาฬิกา (Clock Recovery) และ ฟังก์ชันการกำหนดเวลาของข้อมูลใหม่ (Data retiming) ทำงานที่ระดับ 622 Mbps ที่มี Jitter ของกระแสที่ได้ออกมา น้อยกว่า 2.5 rms (รูปที่ 3) วงจร PLL-Type data recovery ที่ใช้ไม่มีส่วนประกอบของ Crystal คุณสามารถใช้ ตัวต้านทาน (resister) เพียงตัวเดียวในการกำหนดระดับกระแสก่อนเริ่มทำงาน (threshold) ซึ่งในที่นี้มีค่า Hysteresis ที่ 3 dB และในชุดรับสัญญาณแบบนี้ยังสามารถตั้งค่า flag เพื่อแสดงว่าระดับสัญญาณนั้นต่ำเกินกว่าที่จะทำงานได้

มีอีกหลายบริษัทที่ผลิตชิปเซ็ทที่มีทั้งของตัวส่ง และ ตัวรับสัญญาณ ยกตัวอย่างเช่น บริษัท Maxim ที่ผลิต ชิปเซ็ท 3 ตัว ที่มีฟังก์ชัน 10 แบบในตัวเพื่อการใช้งานกับ LAN ที่ระดับ 622 Mbps (รูปที่4) วงจรขับเลเซอร์ แบบ MAX3766 จะจ่ายกระแสที่ 60 mA โดยมีชุดตั้งค่าระดับอุณหภูมิ ทำงาน (User-Programmable modulation temperature coefficient) เพื่อทำหน้าที่รักษา ระดับของอัตราส่วน Extinction ในช่วงอุณหภูมิที่ แตกต่างกันไปให้คงที่ วงจรนี้ยังประกอบไปด้วย วงจรควบคุม APC ที่มีชุดตรวจวัดการทำงานของโฟโตไดโอด (Laser monitor photodiode) เพื่อการปรับ

ค่ากระแสไบแอส ซึ่งจะช่วยรักษาระดับกระแสที่ได้ออกมาให้คงที่ ไม่ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากอุณหภูมิการทำงานที่เปลี่ยนแปลงหรือจากเรื่องอายุการใช้งาน โดยมี Smooth-start และ fault-monitoring เป็นอีก 2 ฟังก์ชันที่มีอยู่ใน ไอซีตัวนี้

ในส่วนของตัวรับสัญญาณ ยังมีชิป MAX3760 ที่จะแปลงคลื่นแสงให้อยู่ในรูปของแรงเคลื่อนไฟฟ้าและ มีวงจรตัดกระแส (DC-cancellation Circuit) เพื่อช่วยลดระดับของ Phase Width distortion ที่เกิดจากช่วง 30 dB ส่วนของความหนาแน่นของสัญญาณที่ 6.5 kW และ แบนด์วิธ ที่ 560 MHz ค่าทั้ง 2 ตัวนี้ทำให้ได้ความไวต่อแสงที่ระดับ -31.5 dBm และทนต่อกระแส Overload ที่ระดับ 1mA กระแสที่ได้จาก MAX 3760 นั้นจะส่งต่อมายังชิป MAX 3761 Postamplifier ที่เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดขนาด 4mV ที่ใช้สร้างกระแสแบบ TTL/PECL และ ทำหน้าที่แยกค่าการสูญเสียสัญญาณ (Loss-of-signal indication) ออกไป นอกจากนั้นแล้ว Maxim ยังได้ผลิตชิปทำนองเดียวกันนี้อีก 3 ตัวเพื่อใช้งานกับ ช่องการสื่อสารไฟเบอร์ (Fiber Channel) ขนาด 1Gbps และ Gigabits Ethernet ขนาด 1.25 Gbps และ



รูปที่ 4: ชิปเซ็ท 3 ตัวของ Maxim ที่ 622 Mbps เพื่อใช้เป็น วงจรอินเทอร์เฟซของระบบ ดิจิตอล ในส่วนของ ตัวส่งสัญญาณ(Transmitting) (a) และ ตัวรับสัญญาณ(receiver)(b) และ Maxim ยังได้ผลิตชิปที่ใช้งานในระดับ 1.25 2.5 Gbps ออกมาให้เลือกใช้ด้วย

Fiber Channel Application ที่ 2.5 Gbps ตามลำดับ

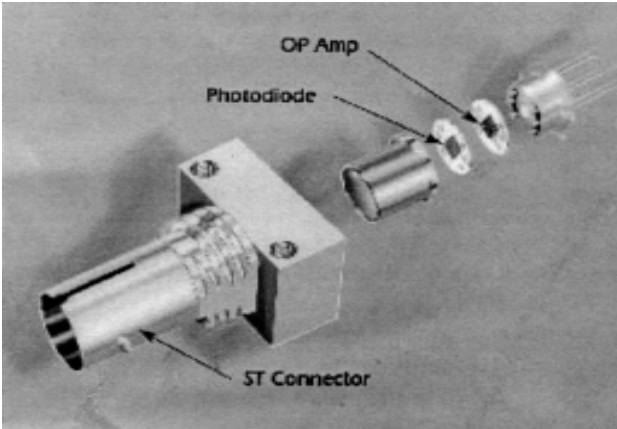
บริษัท Siemens ได้ผลิต Transimpedance amplifier แบบ M13T029 ที่มี gain ที่ 30 ถึง 100 kW เพื่อใช้กับระบบที่ทำงานที่ 622 Mbps ถึง 3.3 Gbps ความไวของ ตัวขยายสัญญาณตัวนี้อยู่ที่ -23.5 ถึง -31dBm ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอัตราความเร็วในการส่งข้อมูล และใช้กระแสที่ 2mA บริษัท Sony ผลิตเลเซอร์ไดโอดแบบ 32 pin พร้อมวงจรขับแบบ CXB1548QY ที่มี ชุด APC รวมอยู่ด้วย โดยมีความเร็วอยู่ที่ 1.06 Gbps และใช้กระแส 360 mW ที่ 5 และ -5.2 V ในส่วนของชุดรับสัญญาณก็ออก ชิป CXB 1577Q ที่สามารถขยายสัญญาณที่ 1.25 Gbps มีฟังก์ชัน Phase Reshaping และ Regeneration ทำงานโดยใช้กระแสที่ 3.3 V

แม้ว่าบริษัท Philips Semicon- ductor จะผลิตไอซี แบบ STMI/OC3 เพื่อใช้งานกับระดับความเร็วต่ำที่ ระดับ 155 Mbps หรือแบบอื่นๆ ที่มีความเร็วสูงขึ้นก็ตาม แต่ก็นับว่าเป็นหนึ่งในผู้ผลิตไม่กี่รายที่ผลิตชิป อินเทอร์เฟซ ที่มีความเร็วสูงถึงระดับ 10 Gbps STM64/OC192 ชุดอุปกรณ์ที่มาพร้อมกับชิป CGY2110 Transimpedance amplifier ได้แก่ CGY2111 modulator / Laser driver ที่มี 3V p-p แบบ single-ended output และแบบ 6V p-p แบบ differential output ชิป CGY2110 นี้มี Input noise ต่ำกว่า 8 pA/Hz และกินกระแสไฟเพียง 350 mW จากแหล่งกำเนิดไฟขนาด 5 V บริษัท Applied Micro circuits Corp ออกชิปวงจรขับเลเซอร์รุ่น 3049 ที่ใช้งานที่ระดับความเร็ว 2.4 Gbps ที่มี

Reference generator, Modulation driver และ laser bias รวมอยู่ในชุด APC ที่สามารถ ปรับระดับกระแสไบแอสได้เพื่อให้สามารถ จ่ายพลังงานแก่เลเซอร์ได้อย่างคงที่ ไอซี แบบนี้ใช้กระแส 5V มี 32 pin ที่มีวงจรหน่วง (delay) แบบ built in ที่มีไว้เมื่อต้องการใช้กระแส bias ในการป้องกันการเกิด Open-Loop ตอน เริ่มเปิดใช้งาน นอกจากนี้ยังมี Laser Power fail output เพื่อแจ้งเตือนเมื่อ กำลังขับของเลเซอร์ ต่ำเกินไปและมีสัญญาณเสียงเตือนสำหรับป้องกันการเกิดกระแสเกิน (Overdrive) ของเลเซอร์ด้วย นอกจากนี้ทางบริษัท ยังผลิตไอซี Open fiber control รุ่น S2036 สำหรับ Fiber Channel เพื่อใช้ตรวจสอบ การเชื่อมโยงของสายใยแก้วนำแสงและหยุดการทำงาน (Shut down) ของเลเซอร์

**รู้ไว้ใช้ไว้**

- การใช้งานสายใยแก้วนำแสงอย่างถูกต้องจำเป็นจะต้องมีอุปกรณ์วงจรขับแบบอานาล็อกที่ทำงานเข้ากันได้กับชุดควบคุมของแหล่งกำเนิดโฟตอน และ จะต้องเลือกระดับความไวของการจับสัญญาณของตัวรับสัญญาณแบบอานาล็อก ตามลักษณะของตัวรับสัญญาณโฟตอนแต่ละแบบ
- แม้ว่ากินไฟเพียง 3 V แต่ก็ยังมีปัญหาบางอย่างในเกี่ยวกับการออกแบบชุดส่งสัญญาณ และ ปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวน และ เรื่องระดับของสัญญาณที่ตรวจวัดได้ของตัวรับสัญญาณ
- ดังนั้นเพื่อป้องกันปัญหาต่างๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นเมื่อใช้อุปกรณ์ต่างๆ ร่วมกันให้ตรวจสอบข้อมูลรายละเอียดต่าง ๆ จากบริษัทผู้ผลิตไอซีในเรื่องการออกแบบ ระดับกระแสไฟฟ้าที่ใช้ การทำงานของไอซี และ ปัญหาที่เกี่ยวกับอุณหภูมิเสียก่อนเมื่อต้องส่งข้อมูลตั้งแต่ที่ระดับ 622 Mbps ขึ้นไป



รูปที่ 5: ไอซีแบบ Optoelectronic ของ Centro Vision 100 Mbps BPX-65-100 (แบบที่มีโครงสร้างเหมือนกับไอซี AMT128501 ของ Anadigics ที่มีความเร็วสูงกว่าที่ระดับ 1.25 Gbps) ที่ใช้ช่วยแก้ปัญหาทางอิเล็กทรอนิกส์ และเชิงกลที่คุณอาจเจอ

หรือลดกำลังลงเมื่อตรวจวัดได้มีการบก  
กวนสัญญาณ ชิปตัวนี้ได้ตามมาตรฐาน  
ความปลอดภัย ANSI XT311 และองค์การ  
อาหารและยาแห่งสหรัฐ และ มาตรฐานความ  
ปลอดภัย Class I ของ IEC(International  
Electronical Commission)

บริษัท Vitesse ก็เป็นอีกบริษัทหนึ่ง  
ที่ผลิตวงจรรับเลเซอร์และ Transimpedance  
amplifier หลากหลายรูปแบบสำหรับใช้  
งานในช่วง 155 Mbps จนกระทั่งถึงระดับ  
สูงกว่า 2.5 Gbps ยกตัวอย่างเช่น  
วงจรรับเลเซอร์รุ่น VSC7924 ที่ 2.5 Gbps  
ใช้กระแส Laser bias ขนาด 50 mA  
และใช้กระแสอีก 60mA สำหรับ กระแส  
Programmable bias กินไฟที่ 5 V และ  
กระแสใช้เวลาขึ้นลงต่ำกว่า 100 พิโควินาที  
สำหรับชุดรับสัญญาณ มีชิป VSC7911 และ  
VSC7912 สำหรับแบบ Differential  
Transimpedance amplifier ที่ 622 Mbps  
ที่มี Integrated AGC Loop ที่ 33 msec  
และมีกระแส input-noise ที่ระดับ 2.8 pA/  
Ö Hz

นอกจากนี้ Vitesse ยังได้ผลิต IC  
ที่ช่วยลดความเสี่ยงในการ เลือกใช้  
Photodetector ให้เหมาะกับ Transimpe-  
dence amplifier เมื่อใช้งานในระดับ  
gigabits โดยได้ออกชิปเซตแบบ 7800  
ที่รวมเอาฟังก์ชันของทั้ง 2 เข้าไว้ด้วยกันในตัว  
โดยมี ชุดตรวจจับสัญญาณขนาด 770-860 nm  
และ ชุดขยายสัญญาณรวมอยู่ในตัวด้วย  
ชิปชุดนี้ ใช้กับการส่งสัญญาณในอัตรา

ความเร็วสูงสุดที่ระดับ 1.063 Gbps

อีกหลายบริษัทได้ทำการรวม  
Photodetector และ amplifier เข้าไว้ด้วยกัน  
เช่น บริษัท Anadigics ที่ออก ไอซีชุดตรวจ  
จับสัญญาณแบบ Optoelectronic ขนาด 850  
nm ที่ใช้งานที่ 1.25 Gbps และ ชิป AMT  
128501 ที่มีความไวต่อแสงที่อย่างน้อย -20  
dBm ที่มีความเร็วในการเคลื่อนที่ขึ้นลง  
ของสัญญาณที่ 260 พิโควินาที และทนต่อ  
ระดับความเข้มของแสงที่ 0- dBm

ที่กล่าวมานี้ไม่ได้หมายความว่า  
ไอซีที่ผลิตออกมานี้จะเอื้อประโยชน์เฉพาะกับ  
ผู้ใช้ที่ต้องการ อุปกรณ์ประเภทที่ดีที่สุดเท่านั้น  
ทั้งนี้เพราะ บริษัท Centro Vision Inc.  
ได้ผลิตชุดรับสัญญาณ BPX65100 ที่ 400  
-1100 nm (สูงสุดที่ 900 nm) เพื่อการใช้งาน  
ที่ระดับ 100 Mbps ออกมาด้วย ซึ่งในตัวของ  
มันประกอบไปด้วย ชุดตรวจจับสัญญาณ  
ขนาด 1-mm<sup>2</sup> และ Amplifier แบบ TO-18  
ที่มีให้เลือกทั้งแบบมาตรฐาน ST หรือ SMA  
connector (รูปที่ 5)

และเพื่อลดความเสี่ยงในการ  
เลือกใช้อุปกรณ์ต่างๆ ลง บางบริษัทได้ผลิตชุด  
โมดูลออกจำหน่าย เช่น NEC ได้ออกชุด  
Transceiver ขนาด 156 Mbps เพื่อการใช้  
งาน ในระยะ 50-100m ทั้งขึ้นอยู่กับชนิดของ  
สายใยแก้วที่คุณเลือกใช้ ชุดโมดูลขนาด 650  
nm , 5V จะมี SIP ขนาดมาตรฐาน 1 x 9”  
มี LED ของชุดส่งสัญญาณ พร้อมวงจรขับ,  
โฟโตไดโอด แบบ PIN ( Positive - intrinsic  
negative ) ชุดขยายสัญญาณ รวมทั้งฟังก์ชัน

- การปรับแบบสัญญาณ (reshaping) และ
- การสร้างสัญญาณใหม่ (Regeneration) รวมอยู่
- ด้วย นอกจากนี้ยังมีอินเทอร์เฟดแบบ
- Differential PECL(Positive /pseudo
- emitter-coupled logic) และ Connector
- แบบ F07 เพื่อต่อเข้ากับสายใยแก้วนำ
- แสงด้วย

แนวโน้มของการเปลี่ยนมาใช้  
กระแสที่มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากเดิมที่ระดับ 5  
V มาเป็น 3 หรือ 3.6 V ของอุปกรณ์ใน  
ระบบใยแก้วนำแสงนั้น ปัจจัยที่เป็นแรง  
ผลักดันประการหนึ่งก็คือ การใช้กระแสแรง  
เคลื่อนต่ำที่ระดับดังกล่าวนี้ จะทำให้สามารถ  
ส่งกระแสเข้าไปในอุปกรณ์ต่างๆ โดยไม่จำเป็นต้อง  
มีการแปลง หรือปรับกระแสนั้นเสียก่อน  
แต่จริงๆ แล้วในส่วนของชุดส่งสัญญาณ  
นั้นการลดระดับลงมานั้นอาจจะไม่ช่วย  
อะไรได้มากนัก เนื่องจากยังมีความจำเป็น  
ที่ต้องใช้กระแสที่มีกำลังสูงในระดับที่แตกต่าง  
กันเพื่อใช้กับอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ปลดปล่อย  
แสงให้ได้แสงในระดับความเข้มที่ต้องการ  
การที่กำหนดให้ใช้กระแสที่มีแรงเคลื่อนต่ำลงยัง  
ทำให้ในการออกแบบขึ้นอุปกรณ์ต่างๆ มีความ  
ยุ่งยากเพราะจะมีข้อกำหนดเฉพาะมากขึ้น  
นั่นเอง นอกจากนั้นการนำไปใช้งานนั้นยังจะ  
ต้องเข้าไปยุ่งเกี่ยวกับการปรับเปลี่ยนระดับกระ  
แสขึ้นลง ดังนั้นในการออกแบบจำต้องคำนึง  
ถึงเรื่องการรักษาระดับกระแสให้คงที่ การ  
Bypass กระแสและกฎเกณฑ์ข้อกำหนดต่างๆ  
ด้วย

ให้คุณเริ่มออกแบบโดยใช้แผง  
วงจรตัวอย่างหรือแบบที่ผ่านการตรวจสอบจาก  
บริษัทแล้ว ซึ่งสามารถหาได้โดยการสอบถาม  
จากบริษัทผู้ผลิต ซึ่งมักจะแนะนำให้คุณทดลอง  
ใช้ก่อนอยู่แล้ว ก่อนที่ลงไปในรายละเอียด  
ปลีกย่อยต่างๆ ขอแนะนำให้ใช้รายละเอียด  
ต่างๆ ที่ได้จากโมดูลที่คุณทดลองสร้างก่อน  
ที่จะตัดสินใจ ถ้ามีเรื่องใดที่เกี่ยวข้องกับการใช้  
งานของคุณให้สอบถามจากบริษัทผู้ผลิต  
ไอซีว่าไอซีตัวดังกล่าวผ่านข้อกำหนดต่างๆ  
หรือไม่ จำไว้เสมอว่าความแตกต่างของ Jitter

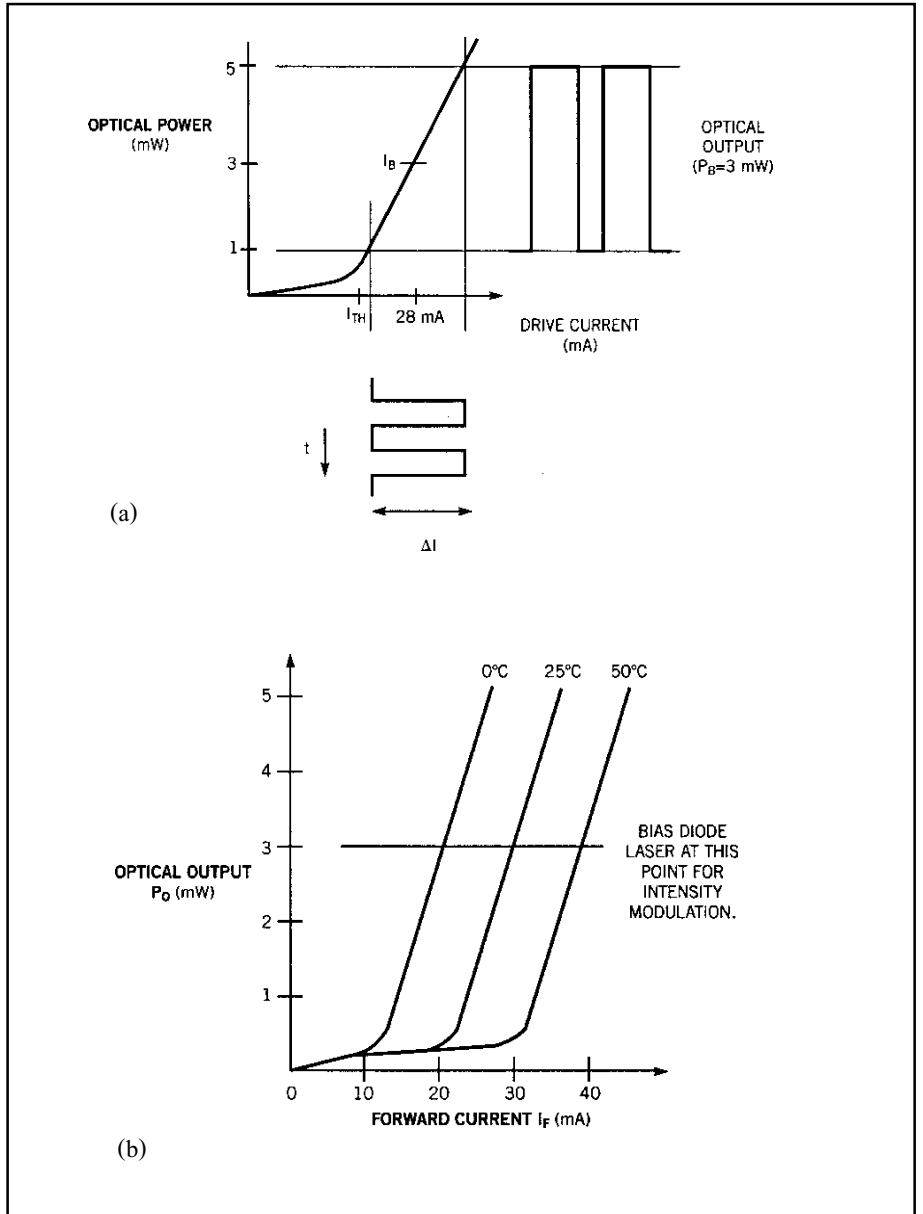
สูงสุดที่เกิดขึ้นภายในอุปกรณ์ใดๆ เพียง 0.01 จะหมายถึง jitter ที่ 4 พิโควินาที ที่การใช้งานระดับ 2.5 Gbps ของทั้งระบบเท่านั้น

**ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับชุดแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานแสง (Photonic Transducers)**

แม้ว่า LED กับ เลเซอร์ไดโอดจะเป็นแหล่งกำเนิดโฟตอนเหมือนกัน แต่ก็มีโครงสร้างการทำงานและลักษณะที่แตกต่างกันอย่างมากระยะที่ไดจาก LED จะเป็นแบบเส้นตรง (linear) ขนานกับแรงเคลื่อน ของวงจรถับ (applied drive current) และ การใช้ LED นั้นจะง่ายต่อการปรับแต่งกระแสโดยใช้กระแสแบบ ปิด / เปิด (on/off) ได้

ในทางตรงกันข้าม เลเซอร์ไดโอดจะมีระดับของกระแสที่เหมาะสมในการเริ่มทำงาน (Threshold current-drive requirement) หากใช้กระแสที่ต่ำกว่าระดับดังกล่าวแล้ว การปล่อยโฟตอน (lasing) จะไม่เกิดขึ้น ในระดับกระแสที่สูงเกินกว่ากำหนดนี้เท่านั้นที่จะเกิดการปลดปล่อยแสงออกมา (รูป Aa) ปัจจัยอีกตัวหนึ่งที่มีผลต่อการทำงานของไดโอดคือ อุณหภูมิขณะทำงาน (รูป Ab) ทำให้กระแสไฟที่ใช้งานจะต้องไม่ปรับเปลี่ยนไปตามระดับอุณหภูมิขณะใช้งาน โดยการใช่วงจรควบคุมอัตโนมัติทั้งนี้ เพื่อรักษาระดับกระแสที่ได้ออกมาให้อยู่ในระดับที่คงที่ในกรณีที่ความต้องการ ดังนั้นในเลเซอร์ไดโอดจะต้องมีการตรวจวัดระดับโฟตอน (Photodetector) รวมอยู่ในโครงสร้างของมันด้วย

และเพื่อให้เกิดการเปลี่ยนโฟตอนให้เป็นอิเล็กทรอนิกส์ จะต้องใช้ โฟโตไดโอด (Photodiode) ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิด คือ positive-intrinsic negative (PIN) ที่มีความไวต่อสิ่งเร้า, มิให้เลือกใช้หลายรูปแบบ (อายุการใช้งานสูงถึง 90 ปี) มีความสมดุลเมื่อใช้งานและตอบสนองไว และอีกแบบที่มีความซับซ้อนกว่า และมีราคาแพงกว่า คือ avalanche photodiode ที่ให้กระแส



รูปที่ A : เลเซอร์ไดโอดแตกต่างจาก LED ตรงที่เลเซอร์ไดโอดจะไม่ให้พลังงานออกมาก่อนกว่าระดับของกระแสที่ใช้งานจะสูงกว่าระดับที่กำหนด (a) ระดับของอุณหภูมิมีผลต่อระดับของการปลดปล่อยกระแสของเลเซอร์ไดโอดและกำลังงานที่ได้นั้น ดังนั้นจึงต้องใช่วงจรควบคุมอุณหภูมิการทำงานใหญ่ที่เพื่อการใช้งาน (Stabilization circuit) (b)

- แม้จะมีแสงตกกระทบที่มีความเข้มเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โฟโตไดโอดนั้นไวต่อระดับความเข้มของแสงที่ระดับต่างกันซึ่งขึ้นอยู่กับโครงสร้างพื้นฐาน และวัสดุที่เลือกนำมาใช้ ดังนั้นการเลือกใช้ไดโอดประเภทนี้จึงต้องคำนึงถึงช่วงความถี่แสงที่เลือกใช้ด้วย นอกเหนือจากระดับความไวของการตอบสนอง และสัญญาณรบกวนที่เกิดในไดโอด
- สัญญาณรบกวนที่เกิดในไดโอด มีอยู่ 3 แบบ คือ
  1. Dark noise ที่เกิดจากการรบกวนของกระแสเมื่อไม่มีแสงตกกระทบไดโอด
  2. Shot Noise ซึ่งเกิดจากระดับความเข้มของแสงที่ตกกระทบไดโอด
  3. Thermal (Johnson) Noise ที่เกิดการไหลเวียนของความร้อนที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในตัวที่สร้างไดโอด.