หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

# บทที่ 3

## การเลือกและการทดสอบโมเด็มโดยทฤษฎี

### การเลือกโมเด็ม

ข้อควรพิจารณาเบื้องต้นก่อนการเลือกใช้โมเด็มชนิดใดชนิดหนึ่งมีความสำคัญเป็นลำดับแรก เพราะในการจะนำเอาโมเด็มชนิดใดมาใช้ในการรับส่งดาต้าของระบบงานใดจะมีข้อจำกัดด้านความไปด้วยการได้ (Compatibility) ของอุปกรณ์ปลายทาง ตลอดจน Data processing equipment และข่ายสายต่าง ๆ ดังนี้

1. ลักษณะการส่งดาต้า มีการส่งแบบ Synchronous หรือ Asynchonous ซึ่งการส่งแบบ Synchonous และ Asynchonous มีข้อดีและข้อเสียมากน้อยแตกต่างกัน นอกจากนี้ การจัด Channel ในการรับส่ง data เป็นแบบ Simplex duplex หรือ Half-duplex เมื่อลักษณะการส่ง ดาต้า ที่ต้องการใช้เป็นแบบใด ก็ต้องเลือกใช้โมเด็มที่มี Mode ส่งเช่นเดียวกัน เพราะระบบการรับส่ง data เป็นแบบใด อุปกรณ์ปลายทาง (DTE) และ Data processing equipment ที่จัดเตรียมไว้ก็จะมีลักษณะเฉพาะเข้ากันได้กับโมเด็มนั้น

2. ปริมาณดาต้าที่รับส่งและ Bit error rate ขั้นต่ำสุดที่ต้องการ อัตราการส่งที่มี Bit error rate และ Response time เป็นปัจจัยที่สำคัญในการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพของโมเด็ม แม้ระบบการรับส่งดาต้าจะขึ้นอยู่กับชนิดของวงจร, ข่ายสายที่ใช้ CTS (clear to send) delay ตลอดจนอุปกรณ์ Input-output ที่ใช้ แต่การได้ตั้ง Bit error rate ไว้ก่อนการเลือกซื้อ จะช่วยให้ได้ Specification ที่ตรงกับความต้องการในการใช้งานมากยิ่งขึ้น โดยปกติแล้วการเพิ่มอัตรากำลังส่งในระยะทางไกลขึ้นจากเดิมเป็น 2 เท่า ปริมาณการส่งดาต้า จะไม่เพิ่มขึ้นเป็นทวีคูณด้วย และที่ควรสังเกตคือแม้โมเด็มต่างชนิดกันจะมีอัตราความเร็วในการรับส่งดาต้าเท่ากัน ก็อาจมี Bit error rate และ CTS ต่างกันได้

ปริมาณการส่งข้อมูลมากน้อยเป็นปัจจัยในการเลือกความเร็วในการรับส่งของโมเด็มประการหนึ่ง นอกเหนือจากนั้น การที่ใช้อุปกรณ์ปลายทางในการ Process งาน

มีความเร็วสูงหรือต่ำก็มีความสำคัญต่อการเลือกความเร็ว การเลือกโมเด็มที่มีอัตราความเร็วในการรับส่งสูงเกินจากจำเป็น จะทำให้เกิดการสูญเปล่า เพราะราคาของโมเด็มนั้นสูงมากเมื่อใช้โมเด็มที่มีความเร็วสูงมากขึ้น

3. ข่ายสายที่ใช้ ต้องการจะต่อโมเด็มเข้ากับข่ายสายชนิดใด Leased line, Public line หรือ DDD (Direct Distance Dialing) Net work ฯลฯ จะใช้ข่ายสายชนิดเดียวหรือต้องการให้ Switch ไปยังข่ายสายอีกชนิดหนึ่งด้วย เช่น Switch จาก Leased line ไปยัง Private line ระยะทางในการรับส่งข้อมูลยาวหรือสั้นเพียงไร โมเด็มที่จะเลือกใช้จึงควรมีลักษณะที่เหมาะสมกับข่ายสายดังกล่าวมากที่สุด

4. ลักษณะการใช้โมเด็มในการส่งดาต้า หมายถึงการส่งดาต้าโดยวิธีใด เช่น อาจโดยส่งสัญญาณผ่านเข้าทางปากพูดและหูฟังของโทรศัพท์ (Acoustic Coupling) หรืออาจส่งดาต้าโดยใช้ Push-button key ของโทรศัพท์แบบกดปุ่ม หรือจะใช้ต่อโดยตรงกับ DTE ก็ได้ ในการเลือกใช้โมเด็มแบบใดแบบหนึ่งจึงต้องเลือกให้เหมาะกับลักษณะของดาต้าที่ใช้ด้วย

5. ใครเป็นผู้จำหน่ายโมเด็ม ก่อนอื่นต้องศึกษาสำรวจถึงบริษัทตัวแทนผู้จำหน่ายหรือผู้ให้บริการการเช่าเครื่องโมเด็ม ว่าแต่ละบริษัทมีโมเด็มชนิดใดจำหน่ายบ้าง แต่ละชนิดนั้นมีลักษณะเฉพาะ (Feature) ต่าง ๆ ให้เลือกมากน้อย ราคาแต่ละชนิดเปรียบเทียบกันตลอดจนบริการต่าง ๆ ที่แต่ละบริษัทให้เมื่อลูกค้าซื้อหรือเช่าโมเด็มไป

เมื่อทราบคร่าว ๆ ถึงรายละเอียดเบื้องต้นก่อนการเลือกชนิดของโมเด็ม ก็สามารถตัดสินใจขั้นที่ 1 ว่าจะใช้โมเด็มชนิดใด เช่นทราบแน่ว่าจะใช้โมเด็มที่มีความเร็ว, ลักษณะ Mode ของการทำงาน และข่ายสายชนิดใดชนิดหนึ่งอย่างแน่นอนแล้ว ต่อจากนั้นการเลือกชนิด (Type) ของโมเด็มอย่างเดียวกันนั้นของต่างบริษัทผู้ผลิตหรือจำหน่าย ต้องพิจารณาในรายละเอียดดังนี้

1. การมี Option ในการทำงานให้เลือก โมเด็มที่ออกแบบการสร้างให้สามารถที่จะใช้งานได้หลาย ๆ แบบนั้นเหมาะสำหรับระบบงานที่ต้องการจะมีการเปลี่ยนแปลงหรือขยายงานอยู่เสมอ ถ้าระบบงานใดที่มีลักษณะการใช้งานเพียงด้านเดียว ก็ไม่จำเป็นต้องเลือกโมเด็มที่มี Function การทำงานหลาย ๆ แบบดังกล่าว ทั้งนี้เพราะการออกแบบ

เครื่องชนิดนี้ มีความซับซ้อน (Complex) ยิ่งขึ้น อุปกรณ์ที่ใช้ก็ยุ่งยากมากขึ้น ทำให้ราคาของโมเด็มชนิดนี้สูงขึ้นด้วย

ในกรณีที่ต้องการให้โมเด็มทำงานหลายลักษณะ จึงควรพิจารณาด้าน

ก. เลือกอัตราการรับส่งข้อมูลได้หรือไม่

ข. ช่วงกว้างของสัญญาณที่รับส่งมีให้เลือกได้มากน้อย

ค. เลือกส่งแบบ Duplex, Simplex, Synchonousหรือ Asynchonous ได้ไหม

ง. ราคาเมื่อเทียบกับชนิดที่ Set Functions การทำงานไว้คงที่

จ. ชนิดของ ดาต้า ที่ส่ง (level) ต่าง ๆ เลือกได้หรือไม่

2. <u>ความยากง่ายในการติดตั้งและการใช้</u> โมเด็มควรได้รับการออกแบบให้ง่ายแก่การใช้ มีปุ่ม Control แต่น้อย มีการ Set ไว้เรียบร้อยภายในเครื่อง ไม่ควรมีปุ่มให้ Operator ปรับแต่งสัญญาณเพื่อกันการผิดพลาดเนื่องจากการปรับต่าง ๆ และการปรับบ่อยๆ อาจทำให้อุปกรณ์ชำรุดได้เร็วขึ้น ดังนั้นโมเด็มจึงควรออกแบบในการทำงานให้มีความต่อเนื่องกันไม่ขาดตอน (High reliability) Indicator ต่าง ๆ ที่จะบอกถึงการทำงาน บอกถึง Data ที่ได้ ตลอดจน Condition ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น และจำเป็นต้องง่ายแก่การอ่าน อาจเป็นไฟ หรือ Meter ที่มีหน้าปัดตัวเลขง่าย ๆ ซึ่งรายละเอียดนั้นต้องดูจากเครื่องโมเด็มในแต่ละบริษัทประกอบกับ Catalog และคู่มือการใช้ (Manual) ของเครื่องจากบริษัทผู้ขายหลาย ๆ บริษัทเปรียบเทียบกัน

3. <u>การแก้ไขและตรวจสอบ</u> ปัญหาในอนาคตอีกประการหนึ่งคือ ปัญหาด้านการแก้ไขและตรวจสอบเครื่องโมเด็ม โมเด็มก็เช่นเดียวกับอุปกรณ์ Electronics อื่น ๆ ที่มีอายุการใช้งานและข้อขัดข้องจำกัดเกิดขึ้น การที่จะซื้อเครื่องใหม่โดยทิ้งเครื่องเก่าไปในเวลาที่ไม่สมควรเป็นการสูญเปล่า ดังนั้นการมองถึงปัญหาหลังจากซื้อไปใช้แล้วเป็นสิ่งจำเป็น เพราะโมเด็มเป็นอุปกรณ์ใหม่ทางการสื่อสารดาต้า การซ่อมด้าน Hardware ต้องอาศัยช่างผู้ชำนาญโดยเฉพาะ ซึ่งหาได้ไม่ง่ายในเมืองไทย การที่ได้พิจารณาถึงอุปกรณ์การตรวจสอบที่ผู้ใช้เองสามารถทำการตรวจสอบได้ในเบื้องต้นก่อนการที่จะส่งเครื่องโมเด็มไปให้ช่างจะช่วยให้มีความเชื่อมั่นว่า การเลือกซื้อโมเด็มชนิดนั้นคุ้มค่าแก่การลงทุน มีข้อควรพิจารณาดังนี้

ก. โมเด็มนั้นมีเครื่องตรวจสอบสำเร็จอยู่ภายใน (Self-test feature) หรือไม่ ถ้ามียากหรือง่ายแก่การใช้ และราคาเปรียบเทียบกับเครื่องที่ไม่มีเครื่องตรวจสอบภายในสูงต่ำกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ วงจรทดสอบภายในนี้สามารถจะ Switch ตัวเองให้เป็นอิสระจากสายเพื่อให้ทำการตรวจสอบในขณะที่ทำการรับส่งข้อมูลอยู่ได้หรือไม่

ข. กรณีไม่มีวงจรตรวจสอบภายใน จะใช้อุปกรณ์ใดมาทำการตรวจสอบได้บ้างหรือไม่ ราคามากน้อยเท่าไร ในเมืองไทยมีผู้จำหน่ายหรือไม่ ที่ใด

ค. มี Manual adjustment ที่จะ set สัญญาณที่รับส่งให้อยู่ในระดับที่ต้องการหรือไม่ ถ้ามียากหรือง่ายแก่การใช้

ง. ราคาของเครื่องโมเด็มเทียบกับการซื้อรวมกับเครื่องตรวจสอบต่างกันหรือไม่เพียงไร

4. <u>ความถูกต้องและความเชื่อถือได้ในการทำงานของโมเด็ม</u> โมเด็มที่ออกแบบสร้างอย่างดี จะมีการขจัดการสูญหายและการพร่าเพี้ยน (Attenuation and distortion) ของสัญญาณที่รับส่งในสายโดยการตั้งวงจรไว้คงที่หรือมีปุ่มให้ผู้ใช้ปรับได้ หรืออาจเป็นชนิดที่มีการปรับภายในอย่างอัตโนมัติ ซึ่งจะช่วยให้การส่งสัญญาณเสียงในสายโทรศัพท์ใช้ช่วงกว้างได้มากขึ้น และมี Bit rate ในการรับส่งสูงขึ้นด้วย

ความเชื่อถือได้ของวงจรมักเป็นผลต่อเนื่องโดยตรงกับความซับซ้อนของวงจรที่ออกแบบสร้างมา แต่ก็ไม่เสมอไป เพียงแต่เป็นข้อมูลเบื้องต้น ก่อนการพิจารณาอื่น ๆ เท่านั้น ความเชื่อถือได้นั้นไม่เพียงแต่ขึ้นกับจำนวนชิ้นส่วนของอุปกรณ์ที่ประกอบโมเด็มเท่านั้น ความเชื่อถือได้ของโมเด็มที่มีอัตราความเร็วในการรับส่งต่ำจะน้อยกว่าแบบที่มีอัตราความเร็วในการรับส่งสูง

ปกติพิจารณาความเชื่อถือได้ของโมเด็มจากองค์ประกอบดังนี้

ก. ดูจากเวลาเฉลี่ยของเครื่องที่เสีย (MTBF = Mean time between failure) จากผู้ใช้อื่นที่ใช้โมเด็มในลักษณะงานที่เหมือนหรือใกล้เคียงกับระบบงานของตน

ข. พิจารณาจากการควบคุมคุณภาพการผลิตว่ามีการควบคุมการผลิตใกล้เพียงไร มีการทดลองติดตั้งเครื่องโมเด็มในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันหรือไม่

ค. ดูการจัดระบบการทำงานว่าแต่ละส่วนมีการทำงานเป็นอิสระแก่กันมากน้อย เพราะการทำงานของโมเด็มส่วนมากขึ้นกับเทคนิคการออกแบบมากกว่าเทคนิคการนำไปใช้

ง. ดูชื่อเสียง ประสบการณ์ของผู้ผลิตว่าเป็นที่นิยมในกลุ่มผู้ใช้มากน้อย ข้อมูลนี้ควรจะสอบถามจากผู้ใช้ที่มีระบบงานเหมือน ๆ กันหรือใกล้เคียงกัน

ในด้านความถูกต้อง (Accuracy) ของการรับส่งสัญญาณนั้น นอกจากจะได้ข้อมูลจากการสอบถามผู้ใช้แล้ว ควรได้มีการทำการทดสอบเองในลักษณะต่าง ๆ ดังจะกล่าวต่อไป โดยการตรวจสอบดูว่า

- สัญญาณที่ส่งนั้นเครื่องรับรับได้ถูกต้องตรงกันหรือไม่เพียงใด
- ความเร็วในการรับส่งเป็นไปตามที่ระบุไว้หรือไม่

5. <u>มีวงจร Equalizer หรือไม่</u> ในกรณีที่มีระดับของสัญญาณสูงหรือต่ำกว่าที่เหมาะสม มี loss เกิดขึ้น หรือการพร่าเพี้ยนเกิดขึ้นภายในเครื่องโมเด็ม มีตัว Equalizer ทำหน้าที่ Neutralize อยู่หรือไม่ ถ้ามีเป็นแบบ Manual equalizer หรือแบบ Statistic หรือแบบ Fixed หรือ Automatic equalizer เพื่อดูว่าช่ายสายที่เรามีนั้นเหมาะสมหรือไม่กับลักษณะการ Equalization ที่มีอยู่ในแต่ละเครื่อง

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย



6. <u>บริการต่าง ๆ ที่บริษัทผู้ขายให้แกลูกค้า</u> บริษัทผู้ขายโมเด็มแต่ละบริษัทมีหลักการใหญ่ในการให้บริการลูกค้าเหมือนกัน คือให้เช่าหรือให้บริการการซื้อขาด แต่รายละเอียดปลีกย่อยนั้นแตกต่างกัน ผู้มีหน้าที่จัดหาโมเด็มควรได้พิจารณา ซึ่งได้แก่

ก. บริการการซ่อมแซมเมื่อเครื่องเสีย มีช่างผู้ชำนาญงานที่จะคอยรับซ่อมหรือไม่ มีมากน้อย การเรียกใช้บริการสะดวกรวดเร็วไหม

ข. ค่าบริการถูกแพงกว่ากัน

ค. ส่งเครื่องให้ยืมหรือเช่าระหว่างที่ถูกนำไปซ่อมหรือไม่

ง. มีบริการรับประกันไหม เป็นระยะเวลาเท่าไร, ขอบเขตในการประกันครอบคลุมเพียงไร

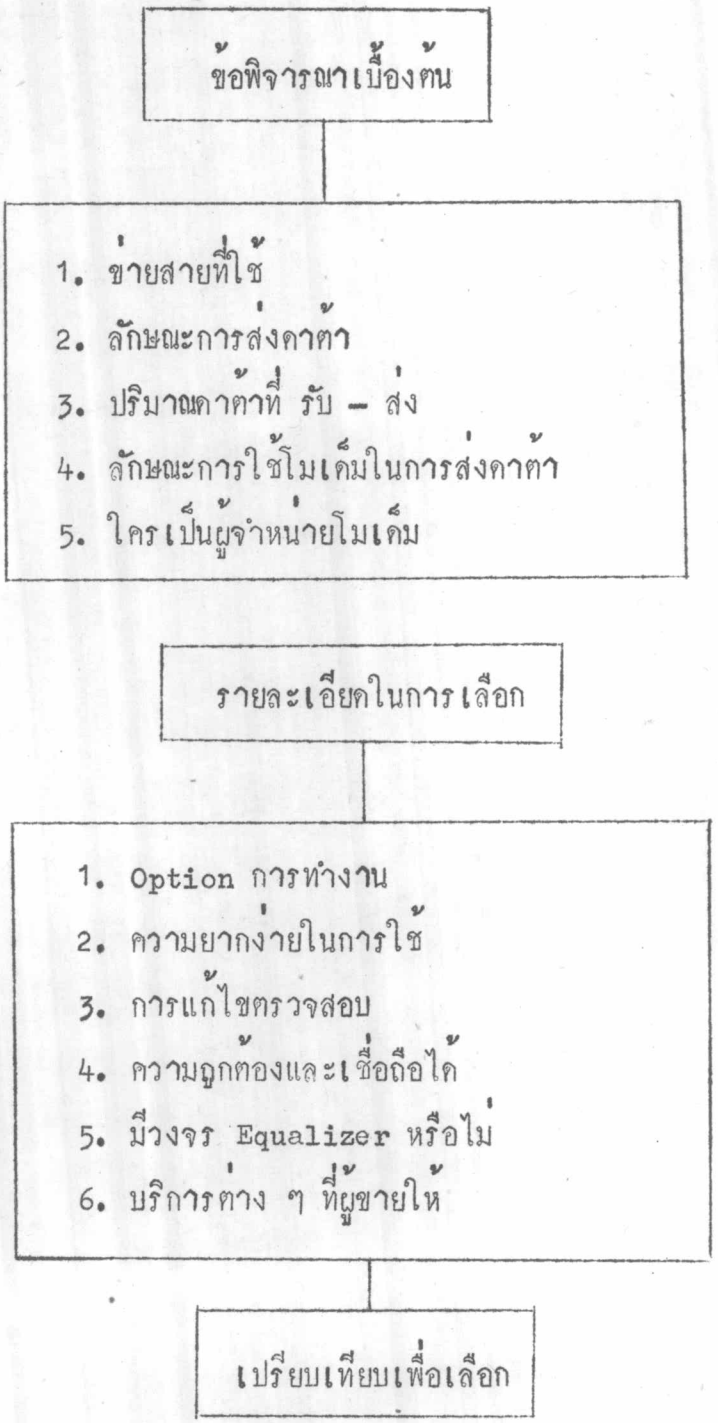
นอกจากข้อพิจารณาต่าง ๆ ดังกล่าวแล้ว ด้านความกระทัดรัดของรูปร่างและการใช้ได้กับอุปกรณ์ปลายทางโดยใช้ Interface หลาย ๆ ชนิดได้กว้างขวางไปด้วยกันได้ (Compatible) มากน้อยก็เป็นปัจจัยที่ได้พิจารณา ตลอดจนการมี Secondary channel หรือ Backward channel ก็ช่วยให้ทำงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น องค์ประกอบต่าง ๆ ที่กล่าวมา ในการเลือกอาจดูจาก Catalog ก่อนแล้วจึงกำหนดรายละเอียด

ผู้ใช้โมเด็มสามารถจะหารายละเอียดเกี่ยวกับโมเด็มจาก Catalog ของบริษัทผู้จำหน่ายต่าง ๆ ได้ และมักจะมีรายละเอียดดังนี้

1. <u>ขนาด</u> แต่ละบริษัทจะบอกขนาดไว้โดยมีรูปภาพประกอบ สุดแล้วแต่โมเดลแต่ละโมเดล ขนาดของโมเด็มมีต่าง ๆ กัน เช่น 8 $\frac{3}{4}$" x 19" x 14", 6" x 18 $\frac{1}{2}$" x 12 $\frac{1}{2}$" ฯลฯ น้ำหนักก็มีต่าง ๆ กัน เช่น 40 ปอนด์ (18.2 Kg.) , 12 ปอนด์ เป็นต้น

2. <u>ความเร็ว</u> จะบอกว่ามีความเร็วในการส่งเท่าไร มีความเร็วหลายขนาดให้เลือกหรือไม่ เช่น NOM.200 Bps, MAX..300Bps. หรือ 2400/1200 คือปกติใช้รับส่งความเร็ว 2400 Bps. เมื่อเกิดสิ่งรบกวนในสาย ก็ใช้ความเร็วลดลงเป็น 1200 Bps. ได้

3. <u>วิธีการส่ง</u> (Transmission mode) จะเป็นแบบ Synchronous หรือ Asychronous หรือส่งได้ทั้ง 2 อย่าง, Simplex หรือ Duplex หรือ Half-duplex หรือ เลือกส่งได้ และส่งแบบ Serial หรือ Parallel.




รูปที่ 15 สรุปขั้นตอนในการเลือกดาต้าโมเด็ม

4. วิธีการ Modulate เป็นแบบใด AM, FM, หรือ PM.

5. Interface จะกำหนดว่าใช้ได้กับอุปกรณ์ชนิดใด โดยเทียบกับ CCITT Recommendation นัมเบอร์ต่าง ๆ หรือ EIA หรือ MILSTD เช่น RS-232-C, CCITT No 21 เป็นต้น

6. Equalization มี Equalization แบบใด Fixed, Statistical หรือ Automatic และ Equalizer แบบใดใช้ใน Channel ใด

7. Voltage ที่ใช้ เช่น 115Vac ± 10%, ความถี่ 47 - 63 Hz., หรือ 200 - 250 V. ความถี่ 47 - 63 Hz. เป็นต้น

8. สภาพของสิ่งแวดล้อม จะกำหนดว่าต้องรักษาเครื่องในสภาพใด เช่น อุณหภูมิ 0° - 50° C ความชื้นสัมพัทธ์ไม่เกิน 95% ที่ 40°C บางเครื่องจะบอกขนาดของความกดดันด้วย

9. รายละเอียดเกี่ยวกับสายที่ใช้ จะบอกว่าใช้กับ Four-wire ขนาดกี่โอห์ม และถ้าใช้กับ Two-wire ขนาดกี่โอห์ม เช่น 600 โอห์ม และ 900 โอห์ม ใน Four-wire และ Two-wire ตามลำดับ

10. ระดับของการรับ-ส่งสัญญาณในสายส่งต่อ 1 Channel โดยจะกำหนดว่าระดับการส่งใน Four-wire เป็นเท่าไร ใน Two-wireเป็นเท่าไร และระดับการรับสัญญาณเป็นอย่างไร เช่น

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Transmit : | Four-wire | + 5 dBm. | ถึง | 27 dBm. |
| | Two-wire | 0 dBm. | ถึง | 32 dBm. |
| Receive : | Four-wire | 0 dBm. | ถึง | 50 dBm. |
| | Two-wire | + 3 dBm. | ถึง | 47 dBm. |

11, Line conditioning จะบอกว่าในการใช้โมเด็มเครื่องนั้นต้องใช้กับสายที่มีการทำ Conditioning หรือไม่มี และถ้ามีเป็นชนิดใด (C1, C2, หรือ C4.)

12. Status display โดยทั่วไปแล้วโมเด็มจะมีไฟแสดง และปุ่ม Control ต่าง ๆ ไม่มาก แต่บางเครื่องได้มีการออกแบบที่มี Status display มากขึ้น เพื่อให้ Operator สามารถทราบสภาพการทำงานโดยอาจมีปุ่มต่าง ๆ เช่น

ก. Reques to send Indicator นี้เปิดเมื่อ DTE. ที่เชื่อมต่ออยู่มีPositive level ("0" หรือ Space) ในสายส่ง

ข. Data set ready เปิดเมื่อไฟเข้ายังโมเด็ม แสดงว่าเครื่องพร้อมที่จะ Process data นั่นคือไม่ได้อยู่ใน Test mode

ค. Receive data เปิดเมื่อได้รับ "0" (Space) และปิดเมื่อได้รับสัญญาณ " 1" (Mark)

ง. Power เปิดเมื่อมีไฟเข้าอยู่ในเครื่องในระดับที่ทำงานได้เหมาะสม

จ. Signal detect เปิดเมื่อโมเด็มมีการตรวจสอบสัญญาณในสายส่ง

ฉ. Test เปิดเมื่อสวิชที่ควบคุมอยู่ในสภาพไม่ปกติ และปิดเมื่อพบ Error ใน Test data ที่ได้รับ

ช. Data term ready เปิดเมื่อมี Positive level ใน Line ที่ส่งมาจาก DTE. ที่ต่ออยู่

ซ. Exmitted data เปิดเมื่อ DTE ส่ง Space สู่โมเด็ม และปิดเมื่อมี Mark ส่งมา

ฌ. Signal Quality เปิดเมื่อ Probability ของ Error ของ Data ที่ได้รับต่ำในกรณีมีอัตราความเร็วในการรับส่งสูง

ญ. Data Switch เปิดเมื่อโมเด็ม Generate pseudo random test pattern เมื่ออยู่ในระหว่างการ Test

13. รายละเอียดอื่น ๆ ในบางโมเดลอาจจะบอกรายละเอียดต่าง ๆ เพิ่มเติมดังนี้

(1) ส่งได้ทั้งสัญญาณเสียงและสัญญาณดาต้า (Alternate voice and data)

(2) มี Loop back operation

(3) มี Backward channel ที่มีความเร็วเท่าไร เช่น อาจเป็น 75 Bps.

(4) มี Selftest feature ที่สามารถบอกจุด Fault ได้ว่าเกิดขึ้นที่ส่วนใด (DPE. Line, Modem, Terminal, หรือ CPU)

(5) มี Error correcting code และ Error detecting code แบบใด

(6) อาจเลือกใช้ Clock ภายในหรือภายนอกเครื่องได้

(7) มี Remove diagnostic สำหรับ Point to point และ Multipoint network

(8) อาจมีรายละเอียดการทำงานอย่างคร่าว ๆ (Technical summary)

(9) วิธีการ Operate เครื่อง

(10) อาจกำหนด Isochronous distortion อย่างสูงที่จะเกิดขึ้นได้

นอกจากนี้บางเครื่องก็อาจกำหนด Bit error rate ในการส่งได้ว่า ไม่เกินเท่าไรในการส่ง ซึ่งจากรายละเอียดดังกล่าวที่ได้สามารถใช้เป็นเครื่องตัดสินใจได้ในเบื้องต้น ถือการเลือกซื้อหรือเลือกใช้โมเด็มได้อย่างคร่าว ๆ

ตัวอย่าง Specification ของโมเด็มที่ผู้ใช้กำหนดก่อนการเลือกซื้อ

ในทางปฏิบัตินั้น บริษัท, องค์การ หรือหน่วยงานต่าง ๆ ของรัฐ มักจะกำหนด Specification เกี่ยวกับชนิดของโมเด็มที่ต้องการจะนำไปใช้งาน แล้วประกาศเพื่อให้ผู้ผลิตจำหน่ายโมเด็มนำเสนอแก่องค์การหรือหน่วยงานนั้น ๆ ซึ่งรายละเอียดต่าง ๆ ที่กำหนด มีตัวอย่างขององค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย ดังนี้

2400/1200 BPS DATA MODEM

1. General

1.1 This specification lays down the general requirements of 2400/1200 bits per second data modems to be supplied to the Telephone Organization of Thailand. They will be used to transmit data over switched or leased circuits in the public telephone network of Thailand.

1.2 The data modem shall conform to this specification and all relevant recommendations of the CCITT especially V24, V25, and V26.

2. Basic Characteristics

2.1 Data modem shall employ phase modulation with synchronous mode of operation. Serial data formal is preferred.

2.2 Data modem shall be able to operate in full duplex, simplex and half duplex.

2.3 The maximum output level to line for each transmitted shall be 0 dBm. with adjustment range down to at least -13 dBm. (in not more than 2.0 dB. steps). This will be an installation adjustment and the level control shall not be normally accessible to the operator.

2.4 The receivers shall accept levels in the range of -6 dBm. to -42 dBm. Adjustment for receive sensitivity shall also not be normally accessible to the operator.

2.5 A statistical equalizer shall be provided in the standard unit to complement amplitude and envelope delay distortions of the average unconditioned voice frequency line or channel.

3. Interchange Circuits

3.1 Interchange circuits which interconnect the data modem to data terminal equipment (directly or through intermediate equipments) shall comply with CCITT recommendation V24 in all respects like numbering, junction, operation, electrical characteristics etc.

3.2 Each data modem shall be fully equipped with all necessary interchange circuits required for its proper working with

the method of operation, type of line, and attachments as specified. Proposed methods of operation, types of lines, and optional attachments are indicated in paras. 4, 5 and 11.

4. Line Interface

4.1 The line interface of the data modem shall permit connection to one of the following types of circuits.

a) 2 wire circuit of switched telephone network.

b) 2wire non-switched leased circuits.

c) 4 wire non-switched leased circuits.

4.2 Conversion from one type of circuit to another type should be possible without replacement of the complete data modem. Only additions and deletions of a few unit or modules should be necessary.

4.3 The line points of the data modem shall have:

a) Nominal impedance of 600 ohms.

b) A return loss of 15 dB. in the range 300-3400 Hz. and 20 dB. in the range 800-2600 Hz. against a 600 ohms resistive impedance.

c) Balance attenuation of at least 40 dB. in the range 50-3400 Hz.

5. Equipment Configurations

5.1 Equipment should, preferably be available in different configurations, combinations of modulators, demodulators interchange circuits, etc. Only the required functional

units needed are equipped on configurations for the following methods of operation:

a) Half duplex operation on 2 wire circuits (switched or leased).

b) Unidirectional operation on 2 wire circuits (switched or leased).

c) Full duplex operation on 4 wire leased circuits.

5.2 Conversion from one method of operation to another should not require complete replacement of existing equipment. Only additions and deletion of a few units or modules should be necessary.

6. Power Supply

6.1 The data modem shall work off commercial power supply of nominal 220 volts A.C., 50 Hz., single phase ± 10% of both voltage and frequency.

7. Alarms and Test Facilities

7.1 Adequate alarms and indication to identify the major types of faults (power supply failure, fuse failure, received level too low etc.) shall be provided on the equipment.

7.2 Facility for loop test should be available.

8. Reliability

8.1 The equipment shall perform satisfactorily in the temperature range 0° to + 55°C, relative humidity of up to 95%.

8.2 The components used shall be of professinal grade and rated for the operation in the above climatic condition.

9. Construction

9.1 The data modem shall be available in one of two versions:

a) Desk top model with single modem and power supply.

b) Cabinet or rack model with 2 or more modems.

9.2 The physical design and construction of the desk top model shall be a compromise between attractive appearance, ease of operation and ease of maintenance. The later two shall not be sacrificed for the sake of appearance.

10. Handbooks and Drawings

10.1 One set of complete handbook and drawing (in English) for each unit plus one set for each five (or fraction thereof) units in an order shall be supplied, (the later shall be sent to the Subscriber Plant Section of the Telephone Organization of Thailand).

10.2 The handbook shall include installation, operational and maintenance instructions, in addition to description of circuits and their functions.

10.3 The drawing shall include mechanical assembly drawing, wiring drawings, block schematics and component layout in the printed cards.

11. Optional Items

11.1 The following are the optional items which may be required along with the basic data modem equipment.

11.2 Automatic calling and/or answering equipment.

11.3 Voice adapter to provide alternate voice/data on leased circuits and over dial-up lines after connection has been made.

11.4 Line adapter to provide quick and convenient method of switching from dedicated service to dial-up service.

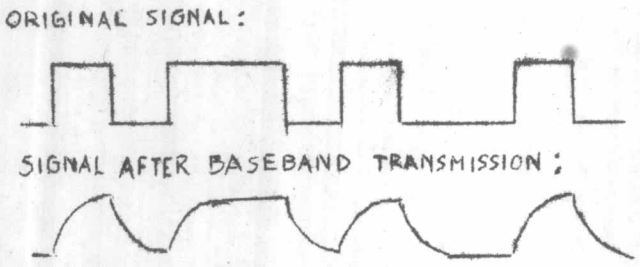
12. Guarantee

The supplier shall guarantee all operating equipment and material specified herein to be suitable and proper for the use intended, and without charge make a replacement of any operating equipment or material, which when returned to the manufacturer or his representatives within one year after date of delivery, proves upon examination to be defective in material or workmanship.

การทดสอบโมเด็ม (Modem testing)

การจะเลือกโมเด็มภายหลังการทำการทดสอบโมเด็ม ควรต้องทราบรายละเอียดเกี่ยวกับลักษณะต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในระบบการส่งดาต้าบางประการ

เมื่อจัดระบบการสื่อสารดาต้าโดยไม่ใช้โมเด็ม Pulse ของสัญญาณที่เกิดขึ้นจากปลายทางคู่สายที่ส่ง เรียกว่า Base band signaling pulse จะถูกบิดอย่างรวดเร็ว ดังรูปที่ 16 ถ้าส่งในระยะทางไกลกว่า 3 ไมล์ หรือส่งด้วยความเร็วสูงกว่า 300 Bps. Distortion จะเกิดมากจน Bit pattern ของ Data ที่ส่งแต่ละ Bit ไม่สามารถจะรับไว้ได้




รูปที่ 16 แสดง Distortion ของ Base band signaling pulse

ลักษณะในข่ายสายที่โมเด็มต่ออยู่เมื่อใช้ Narrow band modem, Amplitude attenuation และ Envelope delay distortion ที่เกิดขึ้นในสายส่งมีน้อย ถ้าใช้ Wide band modem จะเกิด Amplitude attenuation และ Envelope delay distortion อย่าง Random ดังนั้นการวินิจฉัยว่าโมเด็มเครื่องใดรับส่ง Data ได้ถูกต้องเพียงใดต้องพิจารณาถึงสายที่ใช้ด้วย การที่จะปรับให้สายมีสภาพดีเพื่อที่จะตรวจสอบได้ว่าโมเด็มที่จะทำการทดลองนั้นมีคุณภาพมากน้อยมี 2 วิธีคือ

(1) ด้วยการ Equalize ในโมเด็มที่มีอัตราการส่งสูง และ

(2) ทดสอบในสายที่มีการทำ Conditioning

Impulse noise และ Signal dropouts มักเกิดในข่ายสาย DDD. (หรือ STD. ในประเทศไทย) ทำให้รูปของสัญญาณผิดเพี้ยนไป องค์การโทรศัพท์ใน U.S.A. ได้กำหนดว่า สำหรับ Leased line ควรจะมี Impulse noise ที่สูงกว่า -23 dBm. อยู่มากกว่า 25 ช่วงใน 15 นาที และ Impulse noise นั้นจะก่อให้เกิด Error ในการ Modulate แบบ PM และ FM น้อยกว่า AM (ได้มีการทดสอบสายการสื่อสารสนับสนุน

ทฤษฎีที่ว่า การ Modulate แบบ PM และ FM ป้องกันเสียงรบกวนได้ดีกว่าการ Modulate แบบ AM และเสียงรบกวนสูงทำให้ Error rate ในการส่ง Data สูงด้วย ในการ Modulate แบบ PM S/N (Signal to noise ratio) มักอยู่ประมาณ 30 dB. ขึ้นไป และโมเด็มที่มีความเร็วต่ำ และ Modulate แบบ FM มี Error rate น้อยที่สุด)

<u>โมเด็มที่มี Selftest-feature</u> โมเด็มที่มีความเร็ว 4800 Bps. ขึ้นไปที่ใช้กับสายโทรคมนาคม มักมีวงจร Digital logic สำหรับตรวจและแก้ไข Data ที่ส่งมาให้ถูกต้องโดยอัตโนมัติ เมื่อ Data ที่ส่งมามีการผิดพลาด เครื่องรับจะมีสัญญาณ Request to send ไปยังเครื่องส่ง เพื่อให้ส่ง Data ชุดเดิมที่มี Error เกิดขึ้นซ้ำใหม่อีกครั้ง หรืออาจแก้ไข Data ที่ปลายทางเครื่องรับโดยไม่มีการส่ง Data ซ้ำ (Forward error correction) ความแม่นตรงในการทำงานนี้ขึ้นกับความสมบูรณ์แบบ และราคาของ Error coding ที่ใช้ Error ที่เกิดขึ้นและพอจะรับไว้ได้ในสายโทรศัพท์ต้องต่ำกว่า 1 Bit ในการส่ง 100,000 Bits ด้วยความเร็ว 2,400 Bps. และน้อยกว่า 1 Bit ในการส่ง 200,000 Bits ด้วยความเร็ว 4,800 Bps. และน้อยกว่า 1 Bit ใน 1,000 Bits เมื่อใช้โมเด็มที่มีความเร็ว 9,600 Bps. (บริษัทแต่ละบริษัทผู้ออกแบบอาจมีขีดของ Error ที่รับไว้ได้ แต่ต่างไปจากนี้สุดแต่เทคนิคการออกแบบและเทคนิคในการ Generate pattern ของการ Check)[1]

สูตรในการคำนวณหาจำนวน Bit สูงสุดที่ส่งใน 1 วินาทีของ Shannon คือ $W \log_2 (1 + S/N)$ เมื่อ

W = Band width

S/N = Signal to noise-ratio

สูตรนี้ Assume ว่า การ Modulate ถูกต้องและมีแต่ White noise อย่างเดียวเท่านั้น ในทางปฏิบัติ เนื่องจากมีเสียงรบกวนและองค์ประกอบของสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ

---

[1] Martin, <u>op. cit.</u>

ทำให้ค่าสูงสุดในการส่ง Data ต่ำกว่า 1 ใน 3 ของที่ควรได้จากทฤษฎี

การทดสอบควรทำหลาย ๆ ครั้งและทำในเวลาเดียวกันทุกวัน เครื่องรับปลายทาง (Remote location) ควรอยู่ไกลที่สุดเท่าที่จะไกลได้ ลักษณะ Amplitude Attenuation และ Envelope delay วัดได้ยาก ส่วนใหญ่ไม่มีอุปกรณ์การทดลองนี้พอเพียง และในการวัดต้องกินเวลามาก ในทางปฏิบัติไม่นิยมวัดค่าที่แท้จริงในข่ายสาย DDD แต่ใช้วิธีการวัดเปรียบเทียบกับการใช้ Leased line ทั้งนี้เพราะ

(1) การเปลี่ยนลักษณะ Amplitude และ Delay จะมีอยู่ในการ call แต่ละครั้ง โดยเฉพาะถ้าใช้หลายจุด (Locations) ต่าง ๆ กัน

(2) ระดับการส่งสัญญาณต่ำกว่าใน Leased line

(3) Residual RN noise มีระดับสูงกว่าใน Leased line

(4) มี Impulse noise เกิดขึ้นบ่อย และมีระดับสูงกว่าใน Leased line

(5) มีโอกาสที่จะเกิด Phase jitter และ Frequency translation มากกว่าใน Leased line

(6) ในข่ายสาย DDD นั้นไม่ทำ Line conditioning

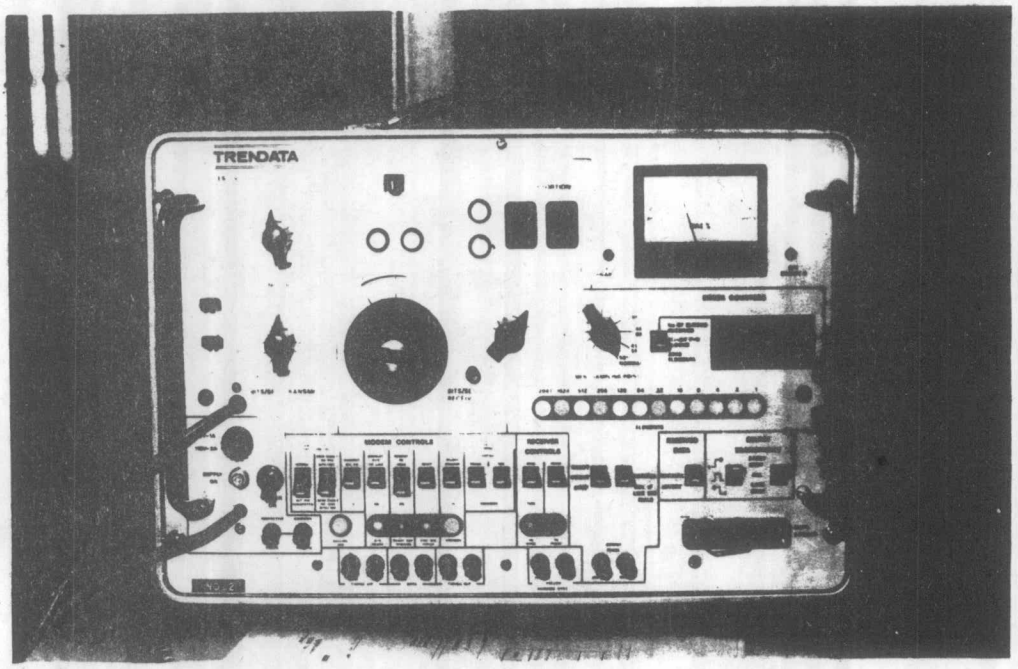
สำหรับกรณีใช้โมเด็มที่มีความเร็ว 7,200 - 9,600 Bps. และ 4,800 Bps. ใช้ทดสอบในข่ายสาย DDD ไม่ได้ ก็ต้องใช้ Leased line

การทดสอบเปรียบเทียบว่า โมเด็มแต่ละเครื่องมีค่าส่งผ่านได้มากน้อยให้ Operate ใน Normal mode และทำโดยการส่ง Data block เพิ่มขึ้นทุก ๆ ครั้งที่ส่ง จนถึงช่วงที่มี Data block ส่งผ่านสูงสุด แล้วเปรียบเทียบกัน ในการนี้ต้องใช้ Data เหมือน ๆ กัน Mode เดียวกัน ข่ายสายเดียวกัน และ Operate อย่างเดียวกัน

<u>เครื่องทดสอบโมเด็ม</u> (Modem test equipment)

เครื่องมือที่ใช้ตรวจอุปกรณ์ Electronic โดยทั่วไป เช่น Oscilloscope ก็สามารถใช้วัดและตรวจสอบการทำงานอย่างง่าย ๆ ของโมเด็ม เช่นวัด Wave-form และความเร็วได้ แต่เครื่องมือที่วัดรายละเอียดการทำงานต่าง ๆ ของโมเด็มได้สูงมีแบบ

เฉพาะคือ เครื่องทดสอบดาต้าโมเด็ม (Data test set) เครื่องทดสอบโมเด็มนั้นมีอยู่หลายชนิดด้วยกัน และมีแบบใหม่ ๆ ออกสู่ตลอดตลอดเวลา องค์การที่เกี่ยวข้องกับการใช




รูปที่ 17 เครื่องทดสอบโมเด็ม Trendata test set No. 1 - 4

โมเด็มบางประเทศ เช่น B.P.O. (British post office) ได้คัดเลือกอุปกรณ์ทดสอบของหลายบริษัทให้เข้าเป็นมาตรฐาน B.P.O. Standard และเรียกชื่อใหม่ว่า Data tester No. 1, No. 2 ... เป็นต้น แต่เมื่อพิจารณาการทำงานของเครื่องมือเหล่านี้แล้วจะเห็นว่ามีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน จะต่างกันก็ที่บางแบบมีความสามารถวัดได้สูงกว่าเท่านั้น

<u>หน้าที่การทำงาน</u> เครื่องทดสอบโมเด็มใช้สำหรับ

1. การติดตั้งโมเด็ม
2. วัดการทำงานของระบบโทรคมนาคม
3. แก้ไขตรวจสอบโมเด็มโดยทั่ว ๆ ไป
4. อาจใช้เป็น Data station โดยต่อเข้ากับโมเด็มเพื่อทำหน้าที่เป็น Data terminal equipment simulator

ส่วนประกอบของเครื่องมือ เครื่องมือนี้ประกอบด้วย

1. Interchange circuit control
2. วงจรสัญญาณ (Signal circuit)
3. Data test signal generator

เมื่อใช้เป็นเครื่องรับ Data เครื่องมือนี้จะวัดและแสดง (Present) ในรูปของ Telegraph distortion และ Bit error ของสัญญาณที่ได้รับ

ตัวอย่างของเครื่องทดสอบโมเด็ม

Datel tester No. 1A เครื่องมือนี้ใช้ได้ทั่ว ๆ ไป และประกอบด้วยวงจรตรวจสอบ Error โดยเฉพาะ เหมาะสำหรับใช้เป็นอุปกรณ์ในห้องทดลอง นอกจากจะ Generate สัญญาณ และวัดสัญญาณได้แล้ว ยังสามารถ Simulate control และ Supervisory function ระหว่าง Modem กับ DTE.

ในการตรวจสอบโมเด็ม เครื่องจะ Generate สัญญาณที่ละ Bit แล้ววัด Bias distortion ที่ละ Bit แล้วแสดง Error ของ Data ที่ได้รับ และวัด Individual distortion peak distortion ในแต่ละ Period แสดงที่หน้าปัดของเครื่อง เมื่อจะใช้เครื่องมือนี้ตรวจสอบโมเด็มและต่ายสายก็ต่อเข้ากับโมเด็มโดยมีจุดเชื่อมต่อต่าง ๆ ดังตารางที่ 2

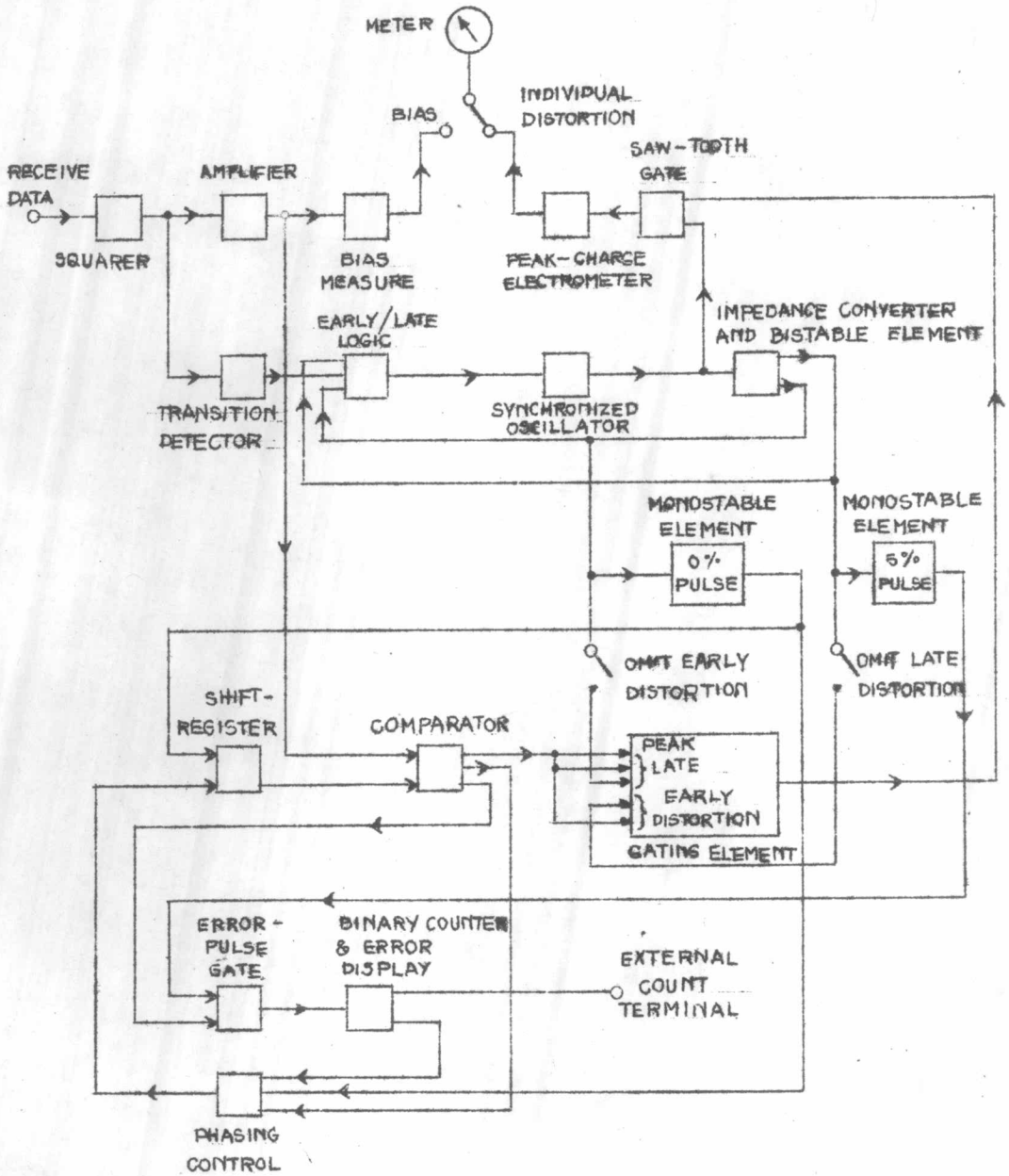
ตารางที่ 2 การเชื่อมต่อระหว่าง Datel tester No.1A กับโมเด็ม[2]

| Tester | Interface | Modem No.1A |
|---|---|---|
| | ←Data signalling-→ rate selector | ON(1,200bit/s) OFF (600 bit/s) |
| | ←Connect data set→ to line | ON (modem terminates exchange line) |
| ON (command acknowledge- ment) | ←Data set ready→ | |
| | →Request to send→ | ON(modem oscillators on,carrier sent to line) |
| ON(command acknowledgement after 20 ms to allow echo suppressor to be disabled) | ←Ready for sending← | |
| ON(carrier being received: if line breaks longer than 10 ms occur,this circuit is switched off, lighting CARRIER FAIL lamp) | ←Data carrier detec- tor | ← Received carrier detected |
| Binary data signal at signal speed and pattern selected | →Transmitted data→ | Binary data converted to FM signals for trans- mission to line |
| Binary signal.Errors and peak distortion measured (tester 1A).Bias distor- tion measured(tester 1A or 2B) | ←Received data← | Received FM signals demodulated |
| Calling indicator ON con- dition lights lamp | ←Calling indicator (tester 2B only) | ← Calling indicator operate to incoming ringing and sends ON signal |

เครื่องมือนี้จะมีส่วนส่ง (Transmiter) และส่วนรับ (Receiver) เช่นเดียวกับโมเด็ม ส่วนส่งจะมีความถี่ 36 KHz. ที่ส่งจาก Oscillator เข้าสู่ Binary divider chain ซึ่งมี Clock pluse ส่งผาน Out put จาก Shift reqister จะมีลักษณะเป็น 1 : 1, 1 : 3 และ 1 : 7 หรือ 511 Bit pseudo random pattern ที่อัตราการส่งคงที่ Block diagram ของเครื่องรับ แสดงในรูปที่ 18

---

[2]Sir Isaac Pitman, and Son, Data Communication (London: Pitman House, Ltd., 1973), p. 138.




รูปที่ 18 Block diagram ของ Test set ส่วนรับ[3]

---

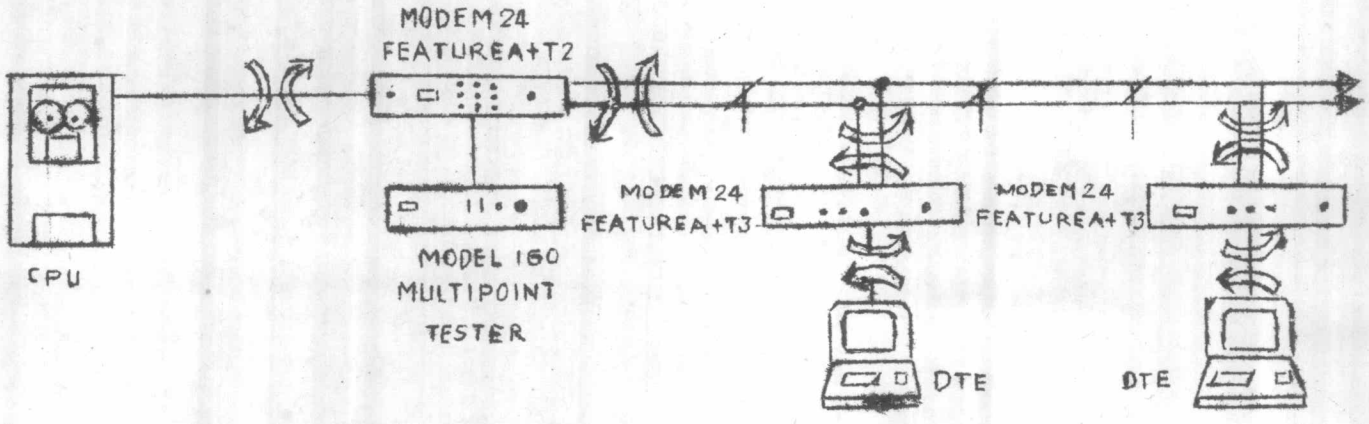
[3] Ibid., p. 137.

การปรับสัญญาณภายในเครื่องรับส่งขึ้นกับ Late หรือ Early ของสัญญาณที่ส่ง ก่อนที่จะมีการเปรียบเทียบสัญญาณที่ Generate ขึ้นกับสัญญาณที่ส่งมา ต้องแปลงสัญญาณให้อยู่ในรูป Phase เมื่อมี Error bit เกิดขึ้น Counter จะนับไว้ และวิธีการตรวจสอบ Error ในสัญญาณที่ส่งมาใช้ Mid point signaling technique และวัดเวลาระหว่างการ Generate bit กับเวลาที่ได้รับ Bit ที่ส่งมาด้วย Telegraph distortion เมื่อต้องการวัด Late peak distortion หรือ Early peak distortion ก็กดปุ่ม Omit late หรือ Omit early ตามต้องการได้

Datel tester No. 1B วัด Bit และ Block error ของโมเด็มที่มีความเร็วถึง 9.6 KBps.

ตัวอย่างของเครื่องตรวจสอบโมเด็มที่บริษัทผู้ผลิตโมเด็มผลิตขึ้นได้แก่ Model 220 transmission test set ของ ICC. อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับหาจุดบกพร่องในข่ายสายการสื่อสารและใช้ตรวจสอบโมเด็ม มีส่วนประกอบและการทำงานพอสรุปได้ดังนี้

1. ทดสอบได้ทั้ง Asynchronous และ Synchronous เครื่องนี้สามารถที่จะตัดแบ่งวงจรทดสอบเป็นจุด ๆ เพื่อตรวจดูว่าจุดขัดข้องเกิดขึ้นที่ DTE, CPU, ข่ายสาย หรือโมเด็ม ดังรูปที่ 19




รูปที่ 19 โมเด็มที่ Test error ได้เป็นช่วง ๆ

2. ช่วยในการติดตั้งและเชื่อมต่อระบบโทรคมนาคม และทำหน้าที่ Link ระหว่าง DPE กับอุปกรณ์อื่น ๆ

3. จะนับและบอกจำนวน Bit ที่เป็น Error ในการส่งอย่าง Synchronous

4. ทดสอบอย่าง Asynchronous ตามมาตรฐานของ EIA และวัด Bias Distortion ได้

5. มีวงจรแสดงความถี่ ช่วยให้สามารถทำ Local test ของ WE 100 series type modem ได้ โดยใช้โมเด็มกับ Test set เพียงอย่างละเครื่องเท่านั้น (Loop-back mode)

6. เป็นอุปกรณ์ที่ไม่ต้องปรับในการใช้และมี Indicator 6 ตัว แสดงหลักเลขฐาน 10 มี Selftest modes ที่ช่วยให้มั่นใจความถูกต้องในการทำงานมากยิ่งขึ้น

7. จะเลือกช่วงการวัดให้แสดงจำนวน Error ทุก 100 หรือ 1000 Block หรือ Bit ได้ ความยาวของ Block อาจเลือก 63, 511, 2047 Bits ได้

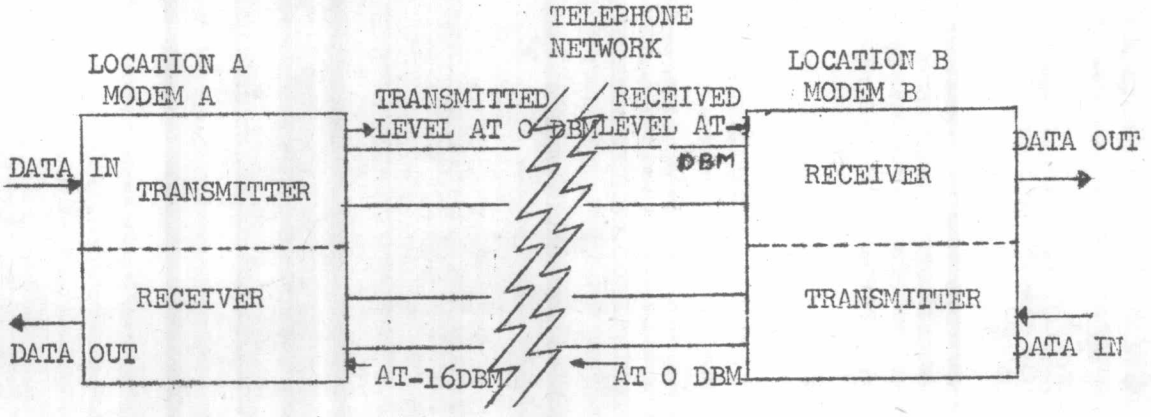
8. แสดงจำนวน Bit หรือ Block error ได้ถึง 999 และ Bias Distortion ได้เพิ่มขึ้นหรือลดลงทีละ 1%

<u>การจัดอุปกรณ์ในการทดสอบ</u>

1. <u>การต่อโมเด็มเข้าโดยตรง</u> (Back to back connection) ปกติใช้อุปกรณ์ Test set ในการตรวจสอบการทำงานของระบบการสื่อสารหนึ่ง ๆ ว่า มีความสามารถในการทำงานมากน้อยเพียงใด มี Error ที่จุดใด ในกรณีนี้ถือว่าโมเด็มที่นำมาใช้ในระบบสื่อสารนั้นมีคุณภาพในการทำงานได้ 100% แต่เมื่อต้องการจะทำการทดสอบโมเด็มโดยเฉพาะถ้านำโมเด็มต่อเข้าในข่ายสายแล้วมักเกิด Error ขึ้นกับ Data ที่ได้รับ แม้โมเด็มจะมีคุณภาพดี แต่ถ้าอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้มีความไม่เหมาะสมหรือมีจุดบกพร่องแห่งใดแห่งหนึ่ง ดังนั้นเมื่อจะวัดการทำงานของโมเด็มโดยควบคุมไม่ให้เกิดข้อบกพร่องที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากอุปกรณ์อื่น ๆ วิธีง่ายที่สุดก็โดยการต่อโมเด็ม 2 เครื่องเข้ากันโดยตรง ไม่ผ่านข่ายสายการสื่อสารหรือ DPE. ใด ๆ แล้วนำเครื่องมือตรวจสอบไปวัด ลักษณะต่าง ๆ ที่วัดได้จะเป็นลักษณะการทำงานของโมเด็มโดยไม่มีสาเหตุบกพร่องจากอุปกรณ์อื่นเลย

2. <u>การต่อโมเด็มในข่ายสายการสื่อสาร</u> โมเด็มนั้นเมื่อนำต่อกันอย่าง Back to back connection ลักษณะของสิ่งรบกวนต่าง ๆ ต่อสัญญาณดาต้าจะแตกต่างไปจากลักษณะที่เกิดขึ้นจริงในข่ายสายการสื่อสาร ดังนั้นการที่จะประเมินค่าของโมเด็มจากค่าที่วัดได้ของการต่อโดยตรงจึงไม่เพียงพอ เพราะสภาพการใช้งานที่แท้จริงของโมเด็มนั้นต้องอยู่ในข่ายสายที่มีอุปกรณ์การสื่อสารอื่น ๆ ประกอบอยู่ด้วย ถ้าโมเด็มออกแบบมาดีย่อมจะสามารถขจัดลักษณะสิ่งรบกวนที่เกิดขึ้นในระบบการสื่อสารดาต้าให้ลดน้อยลงหรือหมดไปได้ ดังนั้นเมื่อต้องการจะนำโมเด็มไปใช้ในข่ายสายชนิดใด ก็ควรจะนำโมเด็มไปทดสอบในข่ายสายนั้นด้วย

<u>การทดสอบโมเด็มใน Leased lines</u> จัดแบบ Half-duplex หรือ Full-duplex ใช้สาย 4 สาย ดังรูปที่ 20

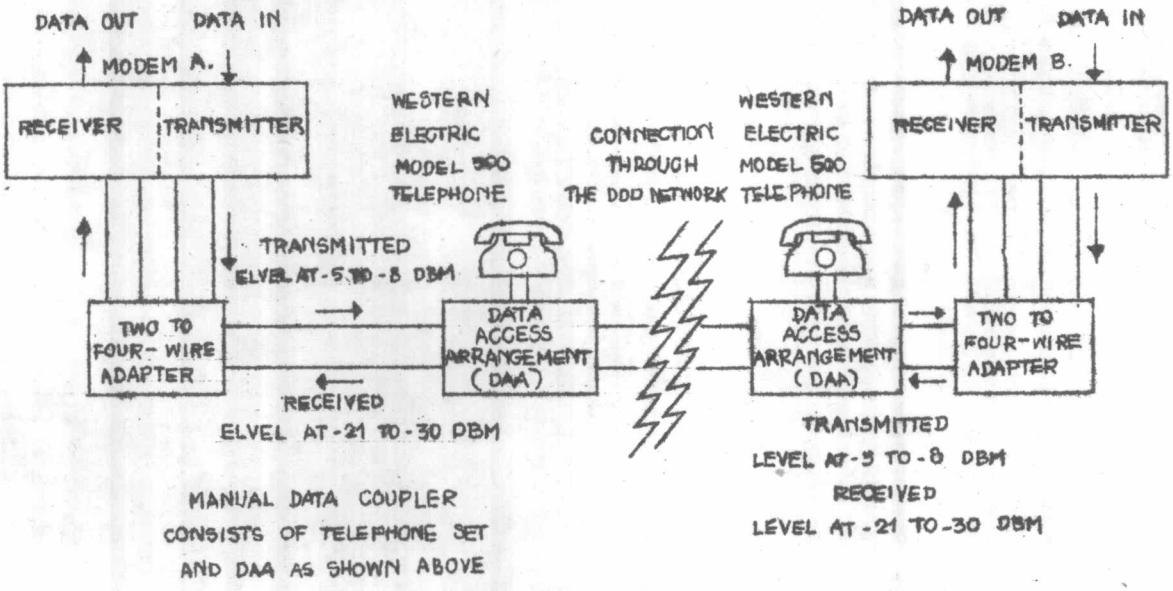



รูปที่ 20 การต่อโมเด็มเพื่อทดสอบใน Leased line จัดแบบ Half หรือ Full-duplex[4]

---

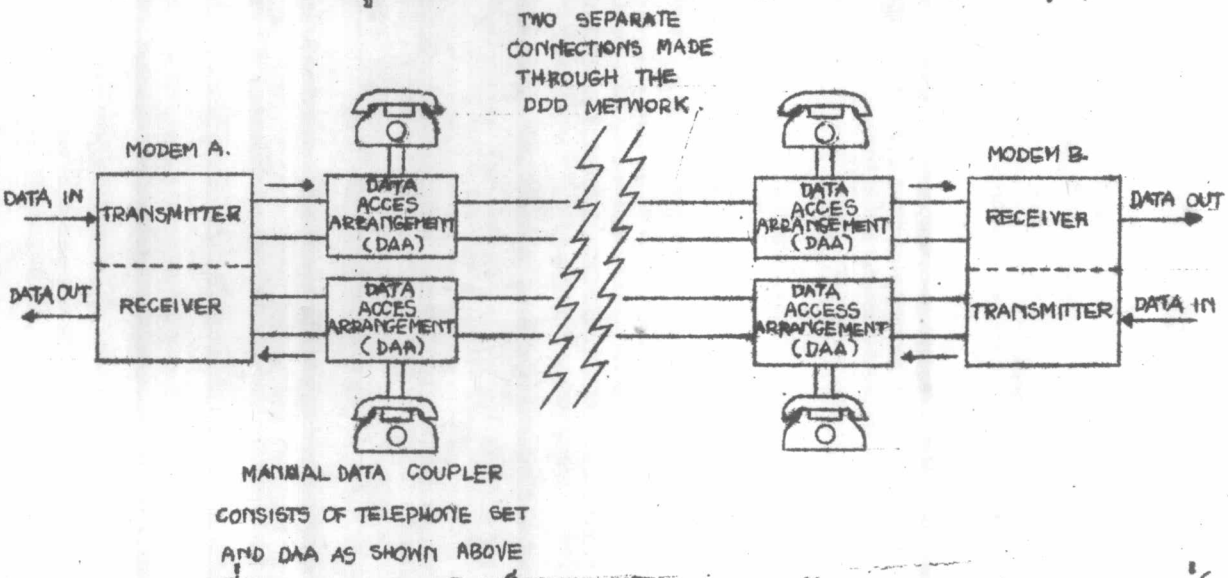
[4]Vilips, <u>op. cit.</u>, p. 69.

การต่อโมเด็มเพื่อทดสอบใน DDD (หรือ STD) Network อาจจัดแบบ Half-duplex ใช้สายคู่ ดังรูปที่ 21 ในการทำ Test นี้ ควรมี Adaptor ด้วย




รูปที่ 21 การทดสอบโมเด็มใน DDD network จัดแบบ Half-duplex 4 wire[5]

หรือจัดแบบ 4 สาย ดังรูปที่ 22 ต้องใช้ Manual type data coupler ทุกจุดปลายทาง




รูปที่ 22 การทดสอบโมเด็มใน DDD network จัดแบบ Half-duplex สายคู่[6]

---

[5] Ibid., p. 70.

[6] Loc. cit.