การปรับปรุงสมรรถนะของเครือข่าย DOCSIS เคเบิลโมเด็มโดยการวิเคราะห์ค่าดัชนีคุณภาพ

DOCSIS PERFORMANCE IMPROVED BY ANALYZING NQI9 QUALITY INDEX

ปรณัฐวุฒิ ตั้งสกุล
PORANATTAWUT TUNGSAKUL

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2560

KMITL-2017-EN-M-010-175

การปรับปรุงสมรรถนะของเครือข่าย DOCSIS เคเบิลโมเด็มโดยการวิเคราะห์ค่าดัชนีคุณภาพ

DOCSIS PERFORMANCE IMPROVED BY ANALYZING NQI9 QUALITY INDEX

ปรณัฐวุฒิ ตั้งสกุล

PORANATTAWUT TUNGSAKUL

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2560

KMITL-2017-EN-M-010-175

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DOCSIS PERFORMANCE IMPROVED BY ANALYZING NQI9 QUALITY INDEX

PORANATTAWUT TUNGSAKUL

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF ENGINEERING IN TELECOMMUNICATIONS ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2017

KMITL-2017-EN-M-010-175

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2017
FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การปรับปรุงสมรรถนะของเครือข่าย DOCSIS เคบิลโมเด็มโดยการวิเคราะห์ค่าดัชนีคุณภาพ

Thesis Title DOCSIS Performance Improved by Analyzing NQI9 Quality Index

นักศึกษา นายปรณัฐวุฒิ ตั้งสกุล

รหัสประจำตัว 58601263

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.พิเชฐ ม่วงนวล

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2017-EN-M-010-175

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.กฤษณ์	อ่างแก้ว	
รศ.ดร.สุวิพล	สิทธิชีวภาค	
ผศ.ดร.สุทธิชัย	นพนาคีพงษ์	
ผศ.ดร.สิรภพ	ตู้ประกาย	
ผศ.ดร.พิเชฐ	ม่วงนวล	

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ วันอังคารที่ 18 กรกฎาคม พ.ศ. 2560 เวลา 10.00-12.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 3

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 18 กรกฎาคม พ.ศ. 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลงานทางวิชาการ	การปรับปรุงสมรรถนะของเครือข่าย DOCSIS เคเบิลโมเด็มโดยการวิเคราะห์ค่าดัชนีคุณภาพ
ชื่อ-นามสกุล	นายปรณัฐวุฒิ ตั้งสกุล
รหัสประจำตัว	58601263
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.พิเชฐ ม่วงนวล

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอการวิเคราะห์คุณภาพการให้บริการเคเบิลโมเด็มในเครือข่าย HFC (Hybrid Fiber Coaxial) ที่เป็นไปตามมาตรฐาน DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specifications) โดยใช้ค่าจากดัชนีคุณภาพของเครือข่ายทั้ง 9 พารามิเตอร์ เป็นตัวชี้วัดว่าอุปกรณ์ในระบบเครือข่าย HFC ที่เป็นไปตามมาตรฐาน DOCSIS มีประสิทธิภาพในการทำงานอยู่ในระดับที่เหมาะสม เพื่อให้การรับ-ส่งข้อมูลจากผู้ใช้งานเป็นไปได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ พารามิเตอร์ในเส้นทางที่ไปด้านหน้า (forward path) และ เส้นทางที่ย้อนกลับ (return path) จะถูกรวบรวมผ่านอุปกรณ์ CMTS (Cable Modem Termination System) ซึ่งสื่อสารกับเคเบิลโมเด็มที่จะใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครือข่าย ในบทความนี้แสดงให้เห็นถึงประโยชน์ของการวิเคราะห์ข้อมูลในเครือข่ายโดยใช้ค่าดัชนีคุณภาพของเครือข่ายทั้ง 9 เพื่อที่จะใช้บอกประสิทธิภาพของเครือข่ายและสามารถนำไปปรับปรุงแก้ไขให้เครือข่ายมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	DOCSIS Performance Improved by Analyzing NQI9 Quality Index
Student	Mr.Poranattawut Tungsakul
Student ID.	58601263
Degree	Master of Engineering
Program	Telecommunications Engineering
Year	2017
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr.Phichet Moungnuol

ABSTRACT

This thesis proposes the quality analysis service of cable modem in HFC network (Hybrid Fiber Coaxial) according to DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specifications) standard by using 9 quality index parameters of network to specific the equipment in HFC network system that working in appropriate level to send and receive data from user. The parameter of the forward path and the parameter of the forward path return path are collected by CMTS (Cable Modem Termination System),which communicated with the cable modem will use to analyze the efficiency of working. The paper show the benefit of network data analysis by the quality index network 9. Not only tell how the efficiency of network but also bring it to solve the problem in the HFC network.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. พิเชฐ ม่วงนวล ท่านอาจารย์ รศ.ดร.ไกรสิน ส่งวัฒนา ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ นายธีรวัต เบ็ญฮาวันที่คอยให้คำปรึกษาและอบรมสั่งสอนเนื้อหาต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ รวมทั้งขอขอบคุณพี่ๆทุกท่านตลอดจนเจ้าหน้าที่ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่าน

ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ รศ.ดร.วิภา แสงพิสิทธิ์, ท่านอาจารย์ ดร.พิชญ สุวรรณกุล, ท่านอาจารย์ ดร.สถาพร พรหมวงศ์ และคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาโทรคมนาคม ที่คอยช่วยเหลือ ให้คำแนะนำที่ดีทั้งในการทำวิทยานิพนธ์ การศึกษาเหล่าเรียน และการให้คำแนะนำด้านวิชาการต่างๆ

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ให้ความกรุณาในการประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ผู้เขียนตำรา และเอกสารบทความต่างๆที่ข้าพเจ้าได้ทำการศึกษาเพื่อเพิ่มความรู้ในการวิจัยหรือในการศึกษาเล่าเรียน

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนญาติพี่น้อง ครูอาจารย์ เพื่อนพี่น้องร่วมรั้วการศึกษาจากสถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังและจากสถาบันอื่น ที่คอยให้คำปรึกษา สนับสนุน และให้กำลังใจมาโดยตลอด จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ ข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่สนใจ และคนรุ่นหลังต่อไป

นายปรณัฐวุฒิ ตั้งสกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... II
กิตติกรรมประกาศ..... III
สารบัญ..... IV
สารบัญตาราง..... VIII
สารบัญรูป..... IX
บทที่ 1 บทนำ..... 1
1.1 ที่มาและความสำคัญ..... 1
1.2 จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา..... 2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา..... 2
1.4 ขอบเขตการวิจัย..... 2
1.5 ส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์..... 3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง..... 4
2.1 กล่าวนำ..... 4
2.2 การให้บริการบนเครือข่าย DOCSIS..... 4
2.3 สถาปัตยกรรมเครือข่ายและระบบ..... 5
2.3.1 สถาปัตยกรรม CMTS..... 5
2.3.2 เครือข่าย HFC..... 6
2.3.3 ช่องสัญญาณขาขึ้นและขาลง (Upstream and Downstream Channel) 7
2.3.4 สถาปัตยกรรมโมเด็ม..... 8
2.4 DOCSIS เคเบิลโมเด็ม..... 9
2.5 รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้งานภายในเครือข่าย HFC..... 16
2.5.1 อุปกรณ์โหนดทางแสง (Optical Node) หรือ AM-Node..... 16
2.5.2 อุปกรณ์มินิบริดเจอร์ (Mini Bridger (MB))..... 18
2.5.3 อุปกรณ์ไลแอ็คเทนเดอร์ (Line Extender (LE))..... 19
2.5.4 อุปกรณ์สปริทเตอร์ (Splitter)..... 20
2.5.5 อุปกรณ์แทป (Tap)..... 21
2.5.6 อุปกรณ์ไดเร็คชั่นเนลคอปเปอร์ (D-Coupler)..... 22
2.5.7 สายโคแอคเชียล (Coaxial Cable)..... 23
2.6 ดัชนีคุณภาพของเครือข่าย (Network Quality Index)..... 25
2.6.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้วัดในเชิงพลังงาน..... 25
2.6.2 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้วัดในเชิงค่ากำลังสัญญาณ..... 26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.6.3 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้วัดในเชิงค่าอัตราการส่งข้อมูลผิดพลาดแบบโค้ดเวิร์ด... 27
2.6.4 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้วัดในเชิงค่าจำนวนครั้งในการหลุดการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ CMTS กับ เคเบิลโมเด็มของผู้ใช้บริการ..... 28
2.7 สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในระบบเครือข่าย HFC..... 29
2.7.1 สัญญาณรบกวนอิมพัล (Impulse Noise)..... 29
2.7.2 สัญญาณรบกวนอินเกรส (Ingress Noise)..... 30
2.7.3 สัญญาณรบกวนที่เกิดจากอุปกรณ์และสายส่ง..... 31
2.8 โปรแกรมพุตตี้ (Putty)..... 33
2.8.1 การทำงานของโปรแกรมพุตตี้..... 33
2.8.2 การส่งผ่านข้อมูลผ่านโปรโตคอลเทลเน็ต (Telnet protocol)..... 35
2.9 ภาษาเอสคิวแอล (SQL Language) 37
2.10 การคำนวณที่เกี่ยวข้องและการพิจารณารหัสชื่อโหนด..... 38
2.10.1 การพิจารณาองค์ประกอบสัญญาณกับอุปกรณ์..... 38
2.10.2 ความเอียงเชิงเส้นของสัญญาณกับการพิจารณาการปรับสัญญาณ..... 41
2.10.3 การคำนวณกำลังงานทางไฟฟ้าที่เกี่ยวข้อง..... 46
2.10.4 การพิจารณารหัสชื่อโหนด..... 47
2.11 การลดสัญญาณรบกวน..... 48
บทที่ 3 วิธีการศึกษาแบบจำลองที่นำเสนอ..... 50
3.1 กล่าวนำ..... 50
3.2 การจัดการระบบเครือข่ายจำลองเพื่อหาค่าแบ่งช่วงเริ่มต้น..... 50
3.3 การเก็บข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์คุณภาพของเครือข่าย..... 53
3.3.1 การวัดค่ากำลังรับสตรีมขาลง (DS PWR Rx) และค่ากำลังส่งขาขึ้น (US PWR Tx)..... 54
3.3.2 การวัดค่ากำลังรับขาขึ้น (US PWR Rx)..... 54
3.3.3 การวัดค่า SNR สตรีมขาลง (DS SNR) และค่า SNR สตรีมขาขึ้น (US SNR)..... 54
3.3.4 การวัดค่าอัตราความผิดพลาดโค้ดเวิร์ดสตรีมขาขึ้น (US CW Error Rate) และค่าอัตราความผิดพลาดโค้ดเวิร์ดสตรีมขาลง (DS CW Error Rate)..... 55
3.3.5 การวัดค่า T3 ไทม์เอาท์ (T3 Timeout) และT4 ไทม์เอาท์ (T4 Timeout) 56
3.4 รูปแบบช่วงที่ใช้แบ่งการทำงาน..... 56
3.5 ค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการทำงานของระบบเครือข่าย..... 61
3.5.1 ค่ากำลังรับขาลง..... 61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.5.2 ค่ากำลังส่งขาขึ้น..... 62
3.5.3 ค่ากำลังรับขาขึ้น..... 62
3.5.4 SNR สตรีมขาลง..... 62
3.5.5 SNR สตรีมขาขึ้น..... 63
3.5.6 ค่าความผิดพลาดโค้ดเวิร์ดสตรีมขาขึ้น..... 63
3.5.7 ค่าความผิดพลาดโค้ดเวิร์ดสตรีมขาลง..... 63
3.5.8 T3 ไทม์เอาท์..... 63
3.5.9 T4 ไทม์เอาท์..... 64
3.6 ลำดับขั้นตอนในการทำงานและการแก้ไข..... 64
3.6.1 การตรวจสอบข้อมูลจากการแจ้งเตือนของระบบแจ้งเตือน..... 64
3.6.2 การตรวจสอบค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบเครือข่ายที่เกิดหลังจากระบบแจ้งเตือน..... 65
3.6.3 การตรวจสอบสัญญาณจาก JDSU หลังจากตรวจสอบค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบเครือข่าย..... 65
3.6.4 การตรวจสอบแบบแผนการวางเครือข่ายในโหนดที่มีปัญหา..... 66
3.6.5 การลงพื้นที่เพื่อทำการแก้ไขระบบเครือข่ายในโหนดที่มีปัญหา..... 68
บทที่ 4 การปรับปรุงสมรรถนะของเครือข่าย DOCSIS โดยพิจารณาจากการวิเคราะห์ดัชนีคุณภาพ NQI9..... 75
4.1 กล่าวนำ..... 75
4.2 การพิจารณาข้อมูล..... 75
4.3 การใช้งานค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบเครือข่ายในวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงาน..... 76
4.3.1 การเกิดสัญญาณรบกวนในกรณีแรก..... 77
4.3.2 การเกิดสัญญาณรบกวนเพิ่มเติมในพื้นที่โหนด LKS00N01L1..... 79
4.3.3 ผลจากการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณรบกวนในพื้นที่โหนด LKS00N01L1..... 80
4.4 ปัจจัยที่ทำให้เกิดปัญหาและแนวทางการแก้ไข..... 81
4.4.1 การทำสมดุลสัญญาณที่ผิดพลาด..... 81
4.4.2 สัญญาณรบกวนที่เกิดจากอัตราส่งสตรีมขาลงต่อสัญญาณรบกวนและอัตราส่งสตรีมขาขึ้นต่อสัญญาณรบกวน..... 82
4.4.3 ปัญหาที่เกิดจากการหลุดการเชื่อมต่อ..... 82
4.4.4 ปัญหาจากการเกิดความผิดพลาดของโค้ดเวิร์ดทั้งสตรีมขาขึ้นและสตรีมขาลง..... 83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4.5 อุปกรณ์ในโครงข่ายที่มักจะเกิดปัญหา..... 84

4.4.6 ปัญหาจากการเข้าสายหรือการตัดสายโคแอคเชียล..... 85

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ..... 89

บรรณานุกรม..... 91

ภาคผนวก..... 93

ภาคผนวก ก ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่..... 94

ประวัติผู้เขียน..... 101

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	DOCSIS NQI-9 Criteriaและสเกลน้ำหนัก.....	57
3.2	เกณฑ์ที่ใช้ในการชี้วัดเครือข่ายด้วยค่าเปอร์เซ็นต์ NQI.....	61
3.3	เปอร์เซ็นต์ NQI ของพารามิเตอร์ที่เสียหายจากปัญหาพร้อมการแก้ไขเบื้องต้น (ต่อ)..	76
3.4	เปอร์เซ็นต์ NQI ของพารามิเตอร์ที่เสียหายจากปัญหาพร้อมการแก้ไขเบื้องต้น (ต่อ)..	77
3.5	เปอร์เซ็นต์ NQI ของพารามิเตอร์ที่เสียหายจากปัญหาพร้อมการแก้ไขเบื้องต้น (ต่อ)..	78
3.6	เปอร์เซ็นต์ NQI ของพารามิเตอร์ที่เสียหายจากปัญหาพร้อมการแก้ไขเบื้องต้น (ต่อ)..	79
3.7	เปอร์เซ็นต์ NQI ของพารามิเตอร์ที่เสียหายจากปัญหาพร้อมการแก้ไขเบื้องต้น (ต่อ)..	80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	โครงสร้างระบบ DOCSIS ผ่านเครือข่าย HFC	5
2.2	เครือข่าย HFC	6
2.3	ตัวอย่างส่วนของระบบเครือข่าย HFC (ต่อ)	7
2.4	ช่องสัญญาณความถี่ที่ใช้ในการส่งสัญญาณ	8
2.5	อัตราการส่งข้อมูลของมาตราฐาน DOCSIS แต่ละรุ่นที่มีการใช้งาน	11
2.6	ระดับชั้นของโปรโตคอล DOCSIS เมื่อเทียบกับแบบจำลองการสื่อสาร OSI	13
2.7	การส่งข้อมูลผ่านเคเบิลโมเด็ม และ CMTS	13
2.8	รูปแบบการส่งข้อมูล	14
2.9	รูปแบบการส่งภายในอุปกรณ์ CMTS และการเชื่อมต่อสู่เครือข่ายภายนอก	15
2.10	อุปกรณ์ออปติคอลโหนด (ด้านซ้าย) และ สัญลักษณ์ของออปติกเคิลโหนด (ด้านขวา)	16
2.11	บล็อคไดอะแกรมของการรวมเส้นทางย้อนกลับ (Reverse Path) กับ ตัวส่งสัญญาณที่ซ้ำซ้อน (Redundant Transmitter) ของอุปกรณ์ออปติคอลโหนด	17
2.12	บล็อกไดอะแกรมของการแบ่งเส้นทางย้อนกลับของอุปกรณ์ออปติคอลโหนด	18
2.13	อุปกรณ์มินิบริดเจอร์ (ด้านซ้าย) และ สัญลักษณ์อุปกรณ์มินิบริดเจอร์ (ด้านขวา)	19
2.14	บล็อกไดอะแกรมของมินิบริดเจอร์	19
2.15	อุปกรณ์ไลแอ็คเทนเดอร์ (ด้านซ้าย) และ สัญลักษณ์อุปกรณ์ไลแอ็คเทนเดอร์ (ด้านขวา)	20
2.16	บล็อคไดอะแกรมของอุปกรณ์ไลแอ็คเทนเดอร์	20
2.17	อุปกรณ์สปริทเตอร์แบบ 3 ทาง (ด้านซ้าย) และ สัญลักษณ์อุปกรณ์สปริทเตอร์แบบ 3 ทาง (ด้านขวา)	21
2.18	บล็อกไดอะแกรมของอุปกรณ์สปริทเตอร์ทั้งแบบ 2 ทาง และ 3 ทาง	21
2.19	อุปกรณ์แทปแบบ 8 ทาง (ด้านซ้าย) และ สัญลักษณ์อุปกรณ์แทปแบบ 8 ทาง (ด้านขวา)	21
2.20	บล็อกไดอะแกรมของอุปกรณ์แทปแบบ 4 ทาง	22
2.21	อุปกรณ์ไดเร็คชั่นเนลคอปเปอร์ (ด้านซ้าย) และ สัญลักษณ์อุปกรณ์ไดเร็คชั่นเนลคอปเปอร์ (ด้านขวา)	22
2.22	บล็อกไดอะแกรมของอุปกรณ์ไดเร็คชั่นเนลคอปเปอร์	23
2.23	ค่าการลดทอนตามความถี่ต่อความยาวสายโคแอคเชียล	24
2.24	การคำนวณค่าอัตราความผิดพลาด	27
2.25	การส่งคำขอร้องจากอุปกรณ์ CMTS ไปยังเคเบิลโมเด็ม	29
2.26	สัญญาณรบกวนที่เกิดจากการเชื่อมอาร์ค (Arc Welder)	30
2.27	สัญญาณรบกวนที่เกิดจากคลื่นวิทยุสมัครเล่น	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.28	สัญญาณรบกวนกระเพื่อมที่เกิดจากสายโคแอคเชียล	32
2.29	การเชื่อมต่อที่หลวมในตัวเชื่อมต่อของอุปกรณ์โหนดทางแสง	33
2.30	หน้าจอของโปรแกรมพุตตี้	34
2.31	แผนภาพการส่งข้อมูลในขั้นตอนทีเวย์แฮนด์เช็ค (3-way handshaking) และการส่งค่าองค์ประกอบของการเชื่อมต่อ	35
2.32	การส่งข้อมูลในขั้นตอนการล็อคอินเข้าสู่ระบบ	36
2.33	การส่งข้อมูลการส่งคำสั่ง 'ls' ไปยังเครื่องผู้ให้บริการ	36
2.34	กำลังส่งที่อุปกรณ์ขยายสัญญาณมีการใช้งานในเครือข่าย HFC ในหน่วย dBmV	38
2.35	กำลังส่งที่อุปกรณ์แยกสัญญาณมีการใช้งานในเครือข่าย HFC ในหน่วย dBmV	39
2.36	การสูญเสียแบบสอดแทรก และแทปการสูญเสียของอุปกรณ์แทปทั้งสามชนิด	39
2.37	ระดับการทำงานที่ความถี่เฉพาะในการทำงานแบบความเอียงเชิงเส้น	40
2.38	อุปกรณ์อีควอไลเซอร์และการทำให้เกิดความเอียงเชิงเส้น	41
2.39	การทำงานภายในของวงจรขยายสัญญาณ	42
2.40	ข้อมูลการลดทอนของอุปกรณ์อิควอไลเซอร์แบบไปข้างหน้า	43
2.41	ข้อมูลการลดทอนของอุปกรณ์อิควอไลเซอร์แบบย้อนกลับ	43
2.42	ข้อมูลการลดทอนของอุปกรณ์แพด	44
2.43	ความเอียงเชิงเส้นของสัญญาณอินพุตตัวอย่าง	45
2.44	การวิเคราะห์สัญญาณภายในอุปกรณ์ขยายสัญญาณ	45
2.45	ความเอียงเชิงเส้นของสัญญาณเอาท์พุต	46
2.46	ค่ากำลังสัญญาณที่เกิดจากมีสัญญาณรบกวนมากในเครือข่ายก่อนการแก้ไข โดยการพิจารณาค่าสัญญาณที่โปรแกรม JDSU	48
2.47	ค่ากำลังสัญญาณที่เกิดในเครือข่ายหลังการแก้ไข การพิจารณาที่โปรแกรมวัดค่าสัญญาณ JDSU	49
3.1	ระบบเครือข่าย HFC ที่ใช้ในการศึกษา	51
3.2	ตัวอย่างค่าของเคเบิลโมเด็มที่มี Mac แอดเดรส คือ 80c6.ab78.be32 ซึ่งกรอบที่ระบุคือ ค่ากำลังรับสตรีมขาลงและค่ากำลังรับสตรีมขาขึ้น	54
3.3	ตัวอย่างเคเบิลโมเด็มทั้งหมดที่อยู่ในการควบคุมของอุปกรณ์ CMTS ซึ่งกรอบที่ระบุแสดงค่ากำลังรับขาขึ้น	54
3.4	ตัวอย่างค่าของเคเบิลโมเด็มที่มี Mac แอดเดรส คือ a4a2.4a53.c271 ซึ่งกรอบที่ระบุคือ ค่า SNR สตรีมขาลง และค่า SNR สตรีมขาขึ้น	55
3.5	ตัวอย่างรายละเอียดเคเบิลโมเด็มและค่าโค้ดเวิร์ดสตรีมขาลง	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.6	ตัวอย่างการคำนวณเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดโค้ดเวิร์ดสตรีมขาลง	55
3.7	ตัวอย่างรายละเอียดของค่าโค้ดเวิร์ดสตรีมขาขึ้น	56
3.8	ตัวอย่างการคำนวณเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดโค้ดเวิร์ดขาขึ้น	56
3.9	ค่าเปอร์เซ็นต์ NQI ของแต่ละพารามิเตอร์ตัวจากโหนด ซึ่งมีจำนวนเคเบิลโมเด็มทั้งหมด 100 ตัว ก่อนการแก้ไข	59
3.10	ค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบเครือข่าย ซึ่งมีจำนวนเคเบิลโมเด็มทั้งหมด 100 ตัว ก่อนการแก้ไข	59
3.11	ค่าเปอร์เซ็นต์ NQI ของแต่ละพารามิเตอร์ตัวจากโหนด ซึ่งมีจำนวนเคเบิลโมเด็มทั้งหมด 100 ตัว หลังการแก้ไข	60
3.12	ค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบเครือข่าย ซึ่งมีจำนวนเคเบิลโมเด็มทั้งหมด 100 ตัว หลังการแก้ไข	60
3.13	การตรวจสอบค่าสัญญาณจาก JDSU จากตัวอย่างโหนด LKS010N01L1	66
3.14	ตัวอย่างแบบแผนการวางเครือข่ายที่ปรากฏในระบบออนไลท์บางส่วน จากตัวอย่างโหนด LKS010N01L1	67
3.15	แบบแผนการวางเครือข่ายที่ใช้ในการวางแผนและการคำนวณก่อนการติดตั้งระบบเครือข่าย จากตัวอย่างโหนด LKS010N01L1	67
4.1	การวางโครงข่ายหรือเครือข่าย HFC ของพื้นที่ LKS ที่โหนด LKS010N01L1	77
4.2	สัญญาณรบกวนที่สาเหตุเกิดจากสายดรอปวายชำรุดจากอุปกรณ์แทป 8 ทาง เบอร์ 14	78
4.3	สัญญาณรบกวนที่สาเหตุเกิดจากการสายดรอปวายที่ไม่ได้มีการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์	79
4.4	สัญญาณของระบบเครือข่ายหลังการแก้ไข	80
4.5	ค่าพารามิเตอร์ต่างๆเปรียบเทียบกันระหว่างก่อนการแก้ไขและหลังการแก้ไขของเครือข่าย	81
4.6	การติดตั้งอุปกรณ์ที่ใกล้กันเกินไป ทำให้เกิดปัญหาในการส่งข้อมูล	85
4.7	ความเสียหายจากตัวเชื่อมต่อที่ผิดพลาด มีความบิดเบี้ยว	86
4.8	การเข้าหัวสายโคแอคเชียลที่ไม่ดีพอคือเกินออกมา ทำให้เกิดการเชื่อมต่อที่หลวม	87
4.9	การแก้ไขสายโคแอคเชียลที่ผิดพลาดที่ต่อเข้ากับอุปกรณ์	88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

การใช้บริการอินเตอร์เน็ตในปัจจุบันมีความต้องการ บริการการสื่อสารข้อมูลที่มีอัตราเร็วสูง ได้มีการพัฒนาเครือข่าย HFC (Hybrid Fiber Coaxial) ซึ่งเป็นการใช้งานร่วมกันระหว่าง สายใย-แก้วนำแสง (Fiber Optic) และสายโคแอคเชียล โดยมาตรฐาน DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specifications)[3] เป็นมาตรฐานที่ใช้งานบนเครือข่าย HFC มีขนาดความจุสูง สามารถส่งข้อมูลได้ไกลและประหยัดค่าใช้จ่ายในระยะยาว

มาตรฐาน DOCSIS นั้นมีการศึกษาพัฒนาและปรับปรุงเริ่มจากมาตรฐาน DOCSIS 1.0 ไปจนถึง DOCSIS 3.1 มีทั้งมาตรฐานของกลุ่มประเทศยุโรปและอเมริกา ระบบที่ใช้ในการทำการศึกษาวิจัยในวิทยานิพนธ์นี้ใช้มาตราฐาน DOCSIS 3.0 มาตรฐานของกลุ่มประเทศยุโรป ที่ผ่านมาได้มีการศึกษาวิจัยที่มุ่งเน้นเพื่อการพัฒนาโครงข่ายให้มีความเสถียรและใช้งานได้สะดวก ทั้งในการจัดการเครือข่ายหรือโครงข่ายเอง อุปกรณ์ที่ใช้งาน และการคิดค้นวิธีการทำงาน[2] รวมถึงการวิเคราะห์การทำงานในเชิงโปรโตคอล[6] ซึ่งผลการวิจัยทำให้มีการพัฒนาระบบ DOCSIS บนโครงข่าย HFC[9] อย่างต่อเนื่อง แต่ยังไม่มีการจัดลำดับความสำคัญของการใช้งานเครือข่ายที่มีการใช้งานมาก เนื่องจากเมื่อระบบมีการพัฒนามากขึ้น ผู้ใช้บริการมีมากขึ้นจนส่งผลให้เครือข่ายมีความซับซ้อน และหาจุดผิดพลาดที่เกิดขึ้นทำได้ค่อนข้างยาก ว่าเหตุใดปัญหาจึงเกิดแล้วควรแก้สิ่งใดก่อนหรือหลัง เนื่องจากไม่มีตัวชี้วัดที่แน่นอนในการระบุมาตรฐานการทำงานของเครือข่าย เพื่อระบุให้ทราบว่าเครือข่ายยังใช้งานได้ปกติ จึงเป็นเหตุผลให้เกิดการวิจัยนี้ขึ้น เพื่อช่วยในการแก้ไขและปรับปรุง รวมถึงการเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการพิจารณาองค์ประกอบโดยรวมในแต่ละสัปดาห์, เดือน หรือปี ซึ่งแสดงให้เห็นพื้นที่ให้บริการหรืออุปกรณ์ที่เสียหายบ่อย และพร้อมทั้งกำหนดสาเหตุจากสภาพการที่พบเจอ เพื่อจะได้ทำการปรับปรุงได้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพหรือมีสมรรถนะที่ดียิ่งขึ้น

ในการทำงานของเครือข่าย HFC นั้นมีการใช้งานอุปกรณ์ CMTS (Cable Modem Termination System) ที่เป็นตัวต้นทางในการส่งรับข้อมูล และเคเบิลโมเด็ม (Cable Modem (CM)) ของผู้ใช้บริการหรือลูกค้า การส่งรับข้อมูลนั้นจะเกิดขึ้นเมื่อผู้ใช้บริการทำการใช้บริการรับส่งข้อมูลอินเตอร์เน็ต ตัวที่บ่งชี้ว่าการใช้งานที่เกิดจากการติดต่อระหว่างผู้ใช้บริการ หรือการใช้งานผ่านตัวเคเบิลโมเด็มกับช่องสัญญาณสื่อสารกับอุปกรณ์ CMTS ว่ามีคุณภาพการทำงานเหมาะสมหรือไม่ พิจารณาได้จากค่าดัชนีคุณภาพของเครือข่ายที่มีการนำค่า 9 พารามิเตอร์ มาแสดงการบ่งชี้คุณภาพของเครือข่ายโดยทำการสร้างเป็นเกณฑ์ในการชี้วัดเครือข่าย หากมีค่าดัชนีต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดจะแสดงได้ถึงปัญหาของการติดตั้งอุปกรณ์ หรือปัจจัยต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นที่โหนดที่ให้บริการ หรือที่เคเบิลโมเด็มของผู้ใช้บริการ ซึ่งสามารถวิเคราะห์ผ่านค่าดัชนีคุณภาพของเครือข่ายได้ ปัญหาที่พบจากการวิเคราะห์ผ่านค่าดัชนีดังกล่าว มีตั้งแต่การระบุความผิดพลาดในการติดตั้งอุปกรณ์, การสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ CMTS กับเคเบิลโมเด็ม และความผิดพลาดในการเพิ่มหรือลดอัตราการขยายกำลังงานในตัวอุปกรณ์ เป็นต้น เพื่อแสดงการวิเคราะห์คุณภาพของเครือข่าย HFC ที่เกิดขึ้นจริงในแต่ละโหนดทางแสง (Optical Node) หรือแต่ละพื้นที่ที่ให้บริการนั้น จะทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์และสร้างเกณฑ์ชี้วัด เพื่อให้ทราบว่าในเครือข่ายสามารถทำงานได้อย่างสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะกล่าวถึงการใช้งานค่าเปอร์เซ็นต์ของพารามิเตอร์ที่ทำการให้น้ำหนักเพื่อง่ายต่อการใช้งานและการแสดงความสามารถของระบบว่ามีประสิทธิภาพในการทำงานที่เหมาะสมหรือควรแก้ไข โดยจากผลวิจัยที่ได้นำมาใช้สร้างเป็นโมเดล เพื่อใช้ในการตรวจสอบการทำงานของระบบเครือข่าย การใช้ค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวสามารถระบุถึงการทำงานของเครือข่ายได้

1.2 จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อวิเคราะห์และจัดเก็บค่าดัชนีคุณภาพในการใช้งานเครือข่าย HFC โดยใช้ค่าการวัดคุณภาพบริการ 9 พารามิเตอร์ของการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ CMTS และเคเบิลโมเด็ม

1.2.2 เพื่อสร้างตารางค่าดัชนีคุณภาพของเครือข่าย HFC และสร้างเกณฑ์ชี้วัดเครือข่ายเพื่อแบ่งช่วงการทำงานและจัดลำดับความสำคัญของเครือข่าย เพื่อที่จะได้ทราบการทำงานของเครือข่าย

1.2.3 นำผลของการวิเคราะห์ดังกล่าวไปใช้ในการตรวจสอบ, เพื่อการปรับปรุงแก้ไข และหาปัจจัยต่างๆที่เกิดขึ้นในการทำงาน เพื่อทำการรวบรวมข้อมูลในการแก้ปัญหาการบำรุงรักษาเครือข่าย HFC ในเชิงรุก และหลีกเลี่ยงการบำรุงรักษาหรือการแก้ปัญหาที่ผิดจุด

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

ในการส่งข้อมูลภายในระบบโครงข่ายหรือเครือข่ายนั้นมักจะมีปัญหา หรือสาเหตุที่เกิดของปัญหาได้หลายปัจจัย ซึ่งหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่เป็นตัวแปรสำคัญที่จะทำให้ทราบถึงคุณภาพของระบบคือค่าของพารามิเตอร์ทั้ง 9 ซึ่งหากสามารถนำค่าของพารามิเตอร์ทั้ง 9 เพื่อสร้างเป็นเกณฑ์ในการชี้วัดคุณภาพของเครือข่ายได้จริงแล้ว แสดงว่าปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในเครือข่าย หรือความผิดพลาดในการรับส่งข้อมูลนั้น สามารถที่จะดูได้จากค่าเกณฑ์ชี้วัดคุณภาพของเครือข่าย โดยหากระบบเครือข่ายมีค่าดัชนีคุณภาพของของเครือข่ายที่ต่ำกว่าเกณฑ์ แสดงให้เห็นถึงระบบเครือข่ายที่ไม่มีประสิทธิภาพหรือมีสมรรถนะของระบบต่ำ จะเกิดผลทำให้เกิดความผิดพลาดในการส่งข้อมูล แสดงให้เห็นการทำงานของอุปกรณ์ที่ทำงานผิดพลาดหรือมีสัญญาณรบกวนเข้าไปในระบบ เมื่อระบบเครือข่ายมีค่าดัชนีคุณภาพของเครือข่ายเป็นไปตามเกณฑ์การชี้วัดคุณภาพ จะสามารถจัดลำดับความสำคัญในการแก้ไขและการปรับปรุงระบบ เมื่อพิจารณาถึงคุณภาพของระบบเครือข่ายที่เกิดขึ้นจริงในแต่ละพื้นที่ให้บริการได้

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1.4.1 ทำการหาข้อมูลที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างอุปกรณ์ภายในระบบเครือข่าย HFC และค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

1.4.2 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างเครือข่าย HFC และค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

1.4.3 เรียบเรียงข้อมูลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ เพื่อนำไปใช้งานจริงในเครือข่าย HFC เพื่อเก็บผลการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4.4 สร้างเกณฑ์ชี้วัดเครือข่าย เพื่อวิเคราะห์ปัญหาและแนวโน้มของปัจจัยอื่นที่อาจจะมีผลต่อการทำงานของเครือข่าย

1.4.5 ทำการรวบรวมปัญหาและการแก้ไขปัญหาที่เกิดจากปัจจัยต่างๆที่เกิดขึ้นในการทำงาน เพื่อใช้เป็นแนวทางในการแก้ปัญหา บำรุงรักษา และหลีกเลี่ยงการบำรุงรักษาหรือการแก้ปัญหาที่ผิดจุด พร้อมทั้งช่วยในการทำงานที่สะดวกและรวดเร็วยิ่งขึ้น

1.5 ส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของวิทยานิพนธ์ จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ สมมติฐานของการวิจัย ขอบเขตการวิจัย และส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 กล่าวถึงพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย ซึ่งประกอบด้วย สถาปัตยกรรมของเครือข่าย HFC, อุปกรณ์ในโครงข่าย, ดัชนีคุณภาพ และโปรแกรมที่ใช้งานในการดึงข้อมูล ซึ่งถูกนำมาใช้อ้างอิงในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

บทที่ 3 กล่าวถึงการเก็บผลและการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อทำการการเก็บผลและเชื่อมโยงเข้ากับค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากตาราง DOCSIS NQI-9 Criteria เพื่อทำการให้น้ำหนักและทำการสร้างตารางเกณฑ์ชี้วัดเครือข่าย ด้วยค่าเปอร์เซ็นต์ NQI ของแต่ละพารามิเตอร์และค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบเครือข่าย เพื่อความสะดวกในการอ่านค่า วิเคราะห์ และการนำไปใช้งาน

บทที่ 4 กล่าวถึงการเก็บผลการใช้งานและการแก้ไขปัญหา โดยการอาศัยการลงพื้นที่จริงและทำการใช้งานค่าเปอร์เซ็นต์ NQI ของแต่ละพารามิเตอร์และค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบเครือข่าย เพื่อวิเคราะห์หาปัญหาและสาเหตุ รวมถึงปัจจัยและสาเหตุที่ทำให้ระบบเครือข่ายทำงานไม่เต็มประสิทธิภาพ ซึ่งทำการรวบรวมถึงการทดสอบ, การแก้ไขระบบเครือข่าย และปัจจัยปัญหาต่างๆที่เกิด

บทที่ 5 เป็นบทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

บทนี้จะกล่าวถึงมาตรฐาน DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specification) ในส่วนอุปกรณ์ที่ใช้งานพารามิเตอร์ เพื่อให้เข้าใจถึงระบบเครือข่าย DOCSIS รวมทั้งสัญญาณรบกวนที่ตำแหน่งต่างๆภายในเครือข่าย

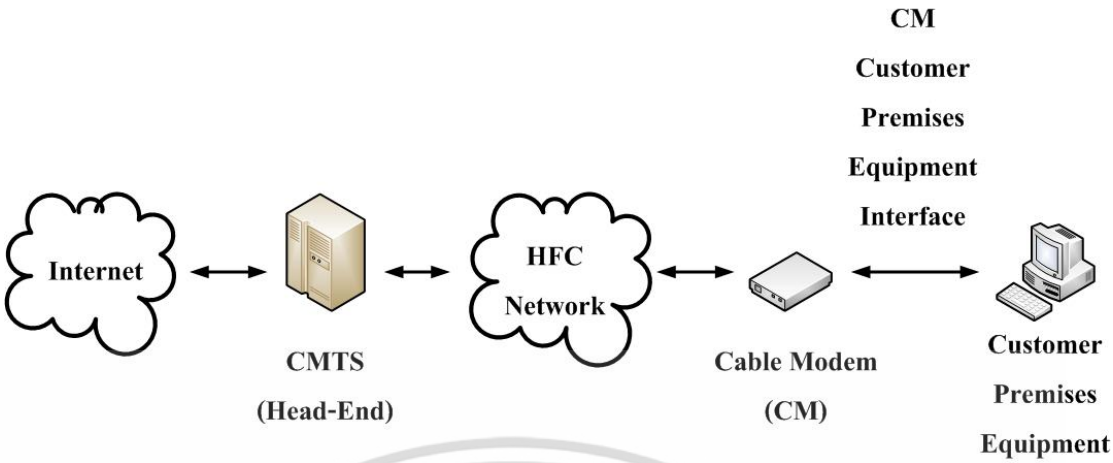
2.2 การให้บริการบนเครือข่าย DOCSIS

ผู้ให้บริการสื่อสารผ่านเคเบิลได้พัฒนาระบบการสื่อสารแพคเก็ตข้อมูลความเร็วสูง (Hi-speed Packet-based) บนระบบเคเบิลทีวี (CATV) ซึ่งเป็นการให้บริการที่มีประสิทธิภาพในการรองรับความหลากหลายของบริการสื่อสารข้อมูล การให้บริการของผู้ให้บริการเคเบิลทีวีประกอบด้วย บริการแพคเก็ตข้อมูลโทรศัพท์ (Packet Telephony Service), บริการวีดีโอคอนเฟอร์เรนซ์ (Video Conferencing Service), บริการที่เทียบเท่ากับมาตรฐาน ISDN (Integrated Services Digital Network) [4] 24 คู่สาย/(23B+D), บริการสวิตซ์แพคเก็ต (Packet-Switched) และการให้บริการเฟรมรีเลย์ (T1/Frame Relay Equivalent Service) เป็นต้น ซึ่งความต้องการแบนด์วิดธ์ที่เพิ่มมากขึ้น บริษัทที่เป็นสมาชิกของ CableLabs ได้อธิบายถึงการเตรียมลักษณะเฉพาะในการเชื่อมต่อ ซึ่งอนุญาตให้มีการกำหนดขอบเขตในการออกแบบ การพัฒนาและการขยายระบบการส่งข้อมูลผ่านสายเคเบิลบนพื้นฐานเดียวกัน ไม่ขัดแย้งกัน ผู้ให้บริการหลายรายสามารถใช้งานร่วมกันได้และยังได้อธิบายถึงการเพิ่มลักษณะพิเศษใหม่ๆให้กับ DOCSIS มีวัตถุประสงค์ดังนี้

- เพิ่มความจุของช่องสัญญาณ
- ยกระดับการรักษาความปลอดภัยของเครือข่าย
- ขยายความสามารถในการกำหนด IP แอดเดรส (IP Address) ของอุปกรณ์ในเครือข่าย
- เสนอการให้บริการใหม่ๆ

ระบบ DOCSIS ส่งผ่านข้อมูลโดยใช้อินเตอร์เน็ตโปรโตคอล (Internet Protocol: IP) ระหว่างสถานีส่งสัญญาณ (Head-End) และบริเวณที่ตั้งของผู้ใช้บริการบนเครือข่ายสายโคแอคเชียลทั้งหมด (All-Coaxial) หรือเครือข่าย HFC (Hybrid Fiber Coax) ในรูปแบบอย่างง่ายดังรูปที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 โครงสร้างระบบ DOCSIS ผ่านเครือข่าย HFC

การส่งสัญญาณผ่านเครือข่าย HFC สถานีรับ-ส่งสัญญาณ CMTS (Cable Modem Termination System) และเคเบิลโมเด็ม (Cable Modem) จะมีส่วนที่เชื่อมต่อกับเครือข่าย HFC ผ่านสายเคเบิล ด้านเครือข่ายคือ CMTS-NSI (CMTS Network Side Interface) ส่วนของผู้ใช้บริการ คือ CMCI (Cable-Modem-to-Customer-Premises-Equipment Interface) เพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่าง CMTS กับเคเบิลโมเด็ม

2.3 สถาปัตยกรรมเครือข่ายและระบบ

การใช้บริการเคเบิลโมเด็มรับส่งข้อมูลจำนวนมาก อัตราเร็วในการรับ-ส่งข้อมูลขึ้นอยู่กับผู้ให้บริการ สถาปัตยกรรมเครือข่ายในสภาพใช้งานจริงความเร็วของสตรีมขาลงจะสูงกว่าความเร็วด้านสตรีมขาขึ้น อย่างไรก็ตาม ความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูลผ่านเคเบิลโมเด็มจะเฉลี่ยตามจำนวนของผู้ใช้งานที่แอคทีฟในเขตนั้น

DOCSIS เคเบิลโมเด็มประกอบด้วย 4 องค์ประกอบ คือ

- อุปกรณ์ CMTS
- เครือข่าย HFC ซึ่งใช้โทโพโลจีแบบต้นไม้และสาขา (Tree-and-Branch Topology)
- ช่องสัญญาณขาขึ้นและช่องสัญญาณขาลง
- เคเบิลโมเด็ม

2.3.1 สถาปัตยกรรม CMTS

CMTS เป็นอุปกรณ์สวิตซ์ทำหน้าที่แยกข้อมูลจากสัญญาณโทรทัศน์สำหรับเครือข่าย DOCSIS ถูกติดตั้งอยู่ที่บริเวณศูนย์ให้บริการของบริษัทผู้ให้บริการ เตรียมการให้บริการส่งข้อมูลความเร็วสูง ทำหน้าที่มัลติเพล็กซ์/ดีมัลติเพล็กซ์ข้อมูล เพื่อสื่อสารไปยังผู้ใช้งานแต่ละรายและแลกเปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลกับเครือข่ายWAN สัญญาณที่สื่อสารจะมีขนาดแบนด์วิดธ์ 8 MHz ซึ่งเท่ากับแบนด์วิดธ์ของสัญญาณโทรทัศน์แต่ละช่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CMTS จะเปิดทางเพื่อสื่อสารกับเคเบิลโมเด็มของผู้ใช้บริการ และกำหนดจุดปลายทางสำหรับเคเบิลโมเด็ม ข้อมูลเหล่านี้ถูกมอดูเลต (Modulate) บนช่องสัญญาณโทรทัศน์ โดยใช้วิธีการมอดูเลตแบบ QAM (Quadrature Amplitude Modulation) [13]

ในการเข้าถึงอุปกรณ์ CMTS อุปกรณ์จะยินยอมให้คอมพิวเตอร์ของผู้ให้บริการรับแอดเดรสเพื่อตอบสนองไปยังอุปกรณ์ CMTS ซึ่งผู้ให้บริการสามารถตรวจสอบรายละเอียดข้อมูลต่างๆ รวมถึงการส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ CMTS และเคเบิลโมเด็มที่ใช้งานเครือข่าย สามารถเรียกอุปกรณ์ CMTS ว่า “เฮดเอ็น (Head-End)” ของระบบได้

ใน DOCSIS ได้มีการแบ่งชนิด ของ CMTS ออกเป็น 2 ชนิดคือ

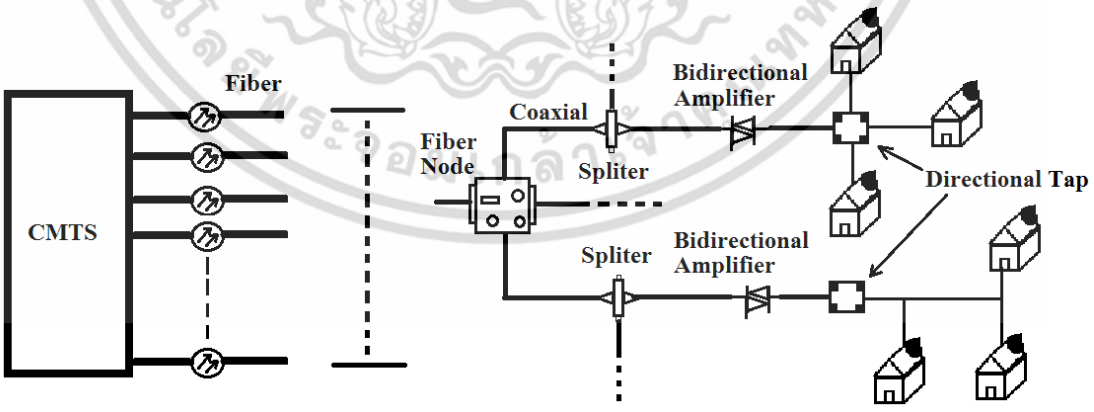
1. CMTS ชนิด “Integrated”
2. CMTS ชนิด “Modular”

โดยอุปกรณ์ CMTS ชนิด Modular มีความสามารถในการปรับขนาดของช่องสัญญาณขาลงให้เพิ่มขึ้นได้ แต่รูปแบบการติดตั้งค่อนข้างซับซ้อนและมีค่าใช้จ่ายสูง ซึ่งแตกต่างจาก CMTS ชนิด Integrated ที่มีความสะดวกในการติดตั้งและลดค่าใช้จ่าย

2.3.2 เครือข่าย HFC

โครงสร้างของเครือข่าย HFC สำหรับการสื่อสารแถบกว้างสองทิศทาง ใช้ในระบบที่ต้องการควบคุมแบบแบ่งแยกการส่งข้อมูลจากผู้ใช้บริการไปยัง CMTS โครงสร้างเครือข่าย HFC มีลักษณะพิเศษที่สำคัญดังต่อไปนี้

- รูปแบบของเครือข่ายเป็นแบบต้นไม้และสาขา (Tree-and-Branch)
- มีเวลาหน่วง (Delay) ในการแพร่กระจายคลื่นที่กว้าง
- มีการแบ่งแยกผู้ใช้งานที่กำลังจะเข้ามาติดต่อกับ CMTS



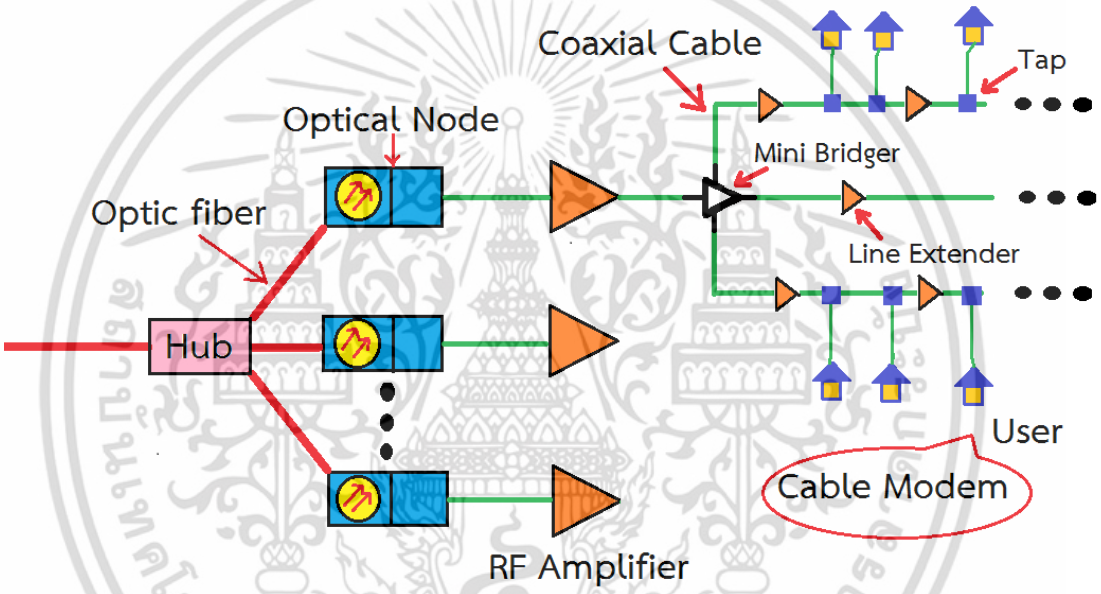
รูปที่ 2.2 เครือข่าย HFC

รูปที่ 2.2 แสดงเครือข่าย HFC [11] มีกลุ่มบ้านของผู้ใช้บริการได้รับบริการผ่านการเชื่อมโยงสายใยแก้วนำแสง (Fiber Link) จากถานีส่งสัญญาณไปยังโหนดทางแสง (Fiber Node) ระยะสั้นๆ โดยที่สายใยแก้วนำแสงเชื่อมต่อกับโหนดทางแสง โดยที่โหนดนี้มีระบบการแปลงสัญญาณ (Signal

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Conversion System : SCS) ระหว่างสัญญาณไฟฟ้ากับสัญญาณแสง การเชื่อมโยงสายโคแอคเชียลจากโหนดทางแสงกับอุปกรณ์จัดสรรการให้บริการประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก 3 ประเภท คือ อุปกรณ์แยกสัญญาณ (Spliter), อุปกรณ์ขยายสัญญาณ (Bidirectional Amplifier) และอุปกรณ์แยกสัญญาณเข้ากลุ่มบ้านของผู้ใช้งาน (Directional Tap)

การส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย HFC นั้นจะมีอุปกรณ์หลักในการกระจายสัญญาณแสงที่ส่งมาจากอุปกรณ์ CMTS ไปยังโหนด เรียกว่า “Hub” โดยมีการเชื่อมต่อการใช้งานระหว่างอุปกรณ์ CMTS กับโหนดทางแสง อุปกรณ์โหนดทางแสง (Optical Node) หรือโหนด (Node) ที่ให้บริการแก่ผู้ใช้งานเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนข้อมูลจากสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าในด้านสตรีมขาลง และในทางกลับกันในด้านสตรีมขาขึ้นทำหน้าที่เปลี่ยนจากสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง ดังรูปที่ 2.3



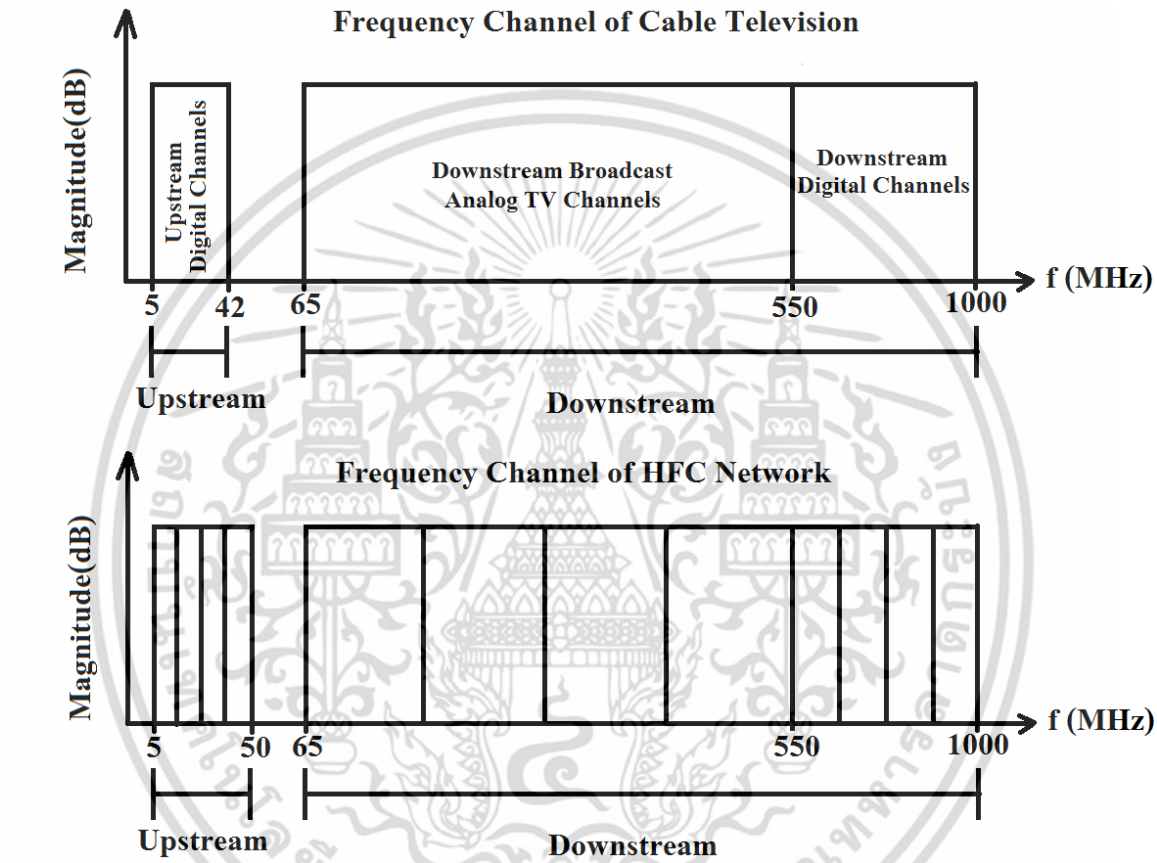
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างส่วนของระบบเครือข่าย HFC (ต่อ)

2.3.3 ช่องสัญญาณขาขึ้นและขาลง (Upstream and Downstream Channel)

มาตรฐาน DOCSIS 3.0 ถูกพัฒนาเพื่อเพิ่มความสามารถในการใช้งานโดยนำช่องของสัญญาณมารวมกันเป็นมัลติเชลเนล (Multi-Channel) ทำให้ความเร็วในการส่งข้อมูลเพิ่มสูงขึ้นและใช้งานผ่านสายใยแก้วนำแสง การรับ-ส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย HFC ข้อมูลที่ส่งผ่านเครือข่ายมายังผู้ใช้บริการเรียกว่า “สตรีมขาลง (Downstream)” หรือ ฟอร์เวิร์ดพาท (Forward Path) ส่วนข้อมูลที่ถูกส่งจากผู้ใช้บริการไปยังเครือข่ายเรียกว่า “สตรีมขาขึ้น (Upstream)” หรือ รีเทิร์นพาท (Return Path) การส่งสัญญาณผ่านสายเคเบิลมีแบนด์วิดธ์กว้างกว่าสายโทรศัพท์ สามารถผสมสัญญาณที่มีความถี่ต่างกันได้ และจัดแบ่งช่องสัญญาณโดยไม่ให้เกิดรบกวนกัน โดยใช้เทคนิคการมัลติเพล็กซ์ เช่น FDM (Frequency Division Multiplexing) ช่องสัญญาณที่ส่งในระบบเคเบิลโมเด็มแบ่งออกได้เป็น 3 ช่องสัญญาณ คือช่องสัญญาณโทรทัศน์อนาลอก 1 ช่องสัญญาณ และอีก 2 ช่องสัญญาณ คือ ช่องสัญญาณสตรีมขาขึ้น (Upstream Channel) และช่องสัญญาณสตรีมขาลง (Downstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Channel) [17] ใช้รับส่งข้อมูลดิจิตอลสองทิศทางจัดสรรตามความต้องการของผู้ให้บริการ โดยจัดสรรความถี่สตรีมขาขึ้นอยู่ระหว่าง 5-50 MHz ที่อัตราการส่งข้อมูล 30Mbps ต่อ 1ช่องสัญญาณ (ตามมาตรฐาน DOCSIS 3.0 ด้านขาขึ้น มีช่องสัญญาณสูงสุด 4 ช่องสัญญาณ) และจัดสรรความถี่สตรีมขาลงอยู่ระหว่าง 65-1000 MHz ที่อัตราการส่งข้อมูล 50Mbps ต่อ 1 ช่องสัญญาณ (ตามมาตรฐาน DOCSIS 3.0 ด้านสตรีมขาลง มีช่องสัญญาณสูงสุด 8 ช่องสัญญาณ) [7] แสดงได้ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ช่องสัญญาณความถี่ที่ใช้ในการส่งสัญญาณ

2.3.4 สถาปัตยกรรมโมเด็ม

เคเบิลโมเด็มเป็นอุปกรณ์ที่สามารถเชื่อมต่อเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลกับสายเคเบิลโทรทัศน์ และสามารถเพิ่มหรือรวมกับกล่องรับสัญญาณ (Set-Top-Box) ที่ทำให้ช่องสัญญาณโทรทัศน์ใช้เป็นช่องสัญญาณของอินเตอร์เน็ตได้ ซึ่งตัวเคเบิลโมเด็มจะมีการติดต่อ 2 ด้าน คือ ด้านหนึ่งเชื่อมต่อกับเครือข่าย HFC และอีกด้านต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลหรือกล่องรับสัญญาณของโทรทัศน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4.1 MAC (Media Access Control)

MAC คือ การควบคุมการใช้สื่อกลางร่วมกัน โดยค่าที่ใช้ในการอ้างอิงอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบเครือข่าย ค่าเหล่านี้จะถูกกำหนดมาจากโรงงานที่ผลิต ในแต่ละอุปกรณ์จะมีค่า MAC Address ซึ่งมีค่าไม่ซ้ำกันประกอบด้วยตัวเลขฐาน 16 จำนวน 6 ชุด เช่น 80:c6:ab:a2:1c:3f เพื่อระบุตัวตนของเคเบิลโมเด็มนั้นในสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ CMTS กับเคเบิลโมเด็ม พร้อมทั้งยังเป็นส่วนหนึ่งในการส่งข้อมูลของเครือข่าย

2.3.4.2 หน่วยประมวลผลกลาง

หน้าที่ของหน่วยประมวลผลจะขึ้นอยู่กับการที่เคเบิลโมเด็มถูกออกแบบมาเพื่อเป็นส่วนหนึ่งของระบบคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ หรือเพื่อใช้สำหรับให้บริการเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ต โดยในการเข้าถึงอินเตอร์เน็ตหน่วยประมวลผลภายใน ทำหน้าที่ในการควบคุมการเข้าถึงเครือข่ายจากโมดูลของตัวควบคุมการเข้าถึงเครือข่ายที่ทำหน้าที่เฉพาะในระบบของเคเบิลโมเด็ม คือหน่วยเดียวที่จำเป็นในการเข้าสู่อินเตอร์เน็ต ซึ่งงานบางชนิดจะใช้หน่วยประมวลผลกลางประมวลผลเกือบทั้งหมด

2.4 DOCSIS เคเบิลโมเด็ม

การให้บริการ DOCSIS หรือการให้บริการอินเตอร์เน็ตผ่านสายเคเบิล เป็นการส่งสัญญาณข้อมูลผ่านระบบเครือข่าย HFC เพื่อรองรับปริมาณการรับส่งข้อมูลที่เพิ่มขึ้น วิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษามาตรฐาน DOCSIS 3.0 ซึ่งเป็นมาตราฐานที่ใช้งานแผ่หลายในปัจจุบัน ในการพัฒนามาตรฐาน DOCSIS นั้นมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องทั้งหมด 5 รุ่นคือ รุ่นที่ 1 DOCSIS 1.0, รุ่นที่ 2 DOCSIS 1.1, รุ่นที่ 3 DOCSIS 2.0, รุ่นที่ 4 DOCSIS 3.0 และ รุ่นที่ 5 DOCSIS 3.1 แต่ละรุ่นมีรายละเอียดพอสังเขปดังนี้

DOCSIS 1.0 ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อเป็นการกำหนดคุณภาพในการรับส่งข้อมูลอินเตอร์เน็ตบนเครือข่าย HFC โดยมีความเร็วและปริมาณในการรับส่งข้อมูลที่เพิ่มขึ้นจากการใช้สายทองแดงหรือ xDSL (Digital Subscriber Line) สามารถรองรับได้มากกว่า 400 เคเบิลโมเด็มต่อ 29 CMTS โดย DOCSIS 1.0 ใช้การเข้ารหัสแบบ BPI (Baseline Privacy Interface) ซึ่งมีความปลอดภัยมากกว่า xDSL ที่ใช้การเข้ารหัสแบบ Point-to-Point Protocol over Ethernet (PPPoE) ที่ใช้ติดต่อกันใน layer2 (Data Link Layer) และมีการรับส่งข้อมูลเป็นท่อที่มีการไหลของข้อมูลที่เรียกว่า “สตรีม” โดยมีอัตราการส่งข้อมูลขาลง 50 Mbps ต่อ 1 ช่องสัญญาณ (แบนด์วิดธ์ 8MHz) และมีอัตราการส่งข้อมูลขาขึ้นอยู่ที่ 10 Mbps ต่อ 1 ช่องสัญญาณ (แบนด์วิดธ์ 6.4MHz)

DOCSIS 1.1 ถูกพัฒนาต่อจาก DOCSIS 1.0 การรองรับข้อมูลมากขึ้นทั้ง เสียง เกมส์ และสตรีมมิ่ง มีการเข้ารหัสที่มีความปลอดภัยสูงขึ้นเป็นการเข้ารหัสแบบ BPI+ ซึ่งในการรับส่งข้อมูลจะมีเพียง 1 ช่องสัญญาณทั้งทางขาขึ้นและขาลง สามารถรองรับ 64 เคเบิลโมเด็มต่อ 22 CMTS โดยมีอัตราการส่งข้อมูลขาลง 50 Mbps ต่อ 1 ช่องสัญญาณ และมีอัตราการส่งข้อมูลขาขึ้นอยูที่ 10 Mbps ต่อ 1 ช่องสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DOCSIS 2.0 ถูกพัฒนาต่อจาก DOCSIS 1.x มีความสามารถในการรับส่งข้อมูลที่มีความจุเพิ่มมากขึ้น มีอัตราการส่งข้อมูลขาลง 50 Mbps ต่อ 1 ช่องสัญญาณ และมีอัตราการส่งข้อมูลขาขึ้น 30 Mbps ต่อ 1 ช่องสัญญาณ การรับส่งข้อมูลมีเพียง 1 ช่องสัญญาณทั้งทางขาขึ้นและขาลง ใช้การเข้ารหัสแบบ BPI+

DOCSIS 3.0 ถูกพัฒนาต่อจาก DOCSIS 2.0 มีความสามารถในการรับส่งข้อมูลที่มีความจุเพิ่มมากขึ้นด้วยการทำการรวมช่องสัญญาณ (Channel Bonding) เช่น หากมีช่องสัญญาณความถี่ 20MHz อยู่ติดกันจำนวน 2 ช่องสัญญาณ เมื่อทำการรวมช่องสัญญาณ ช่องสัญญาณนั้นจะมีช่องสัญญาณเดียวความถี่ 40MHz วิธีการนี้ทำให้เกิดการเพิ่มของแบนด์วิดธ์ รวมทั้งเพิ่มอัตราการส่งข้อมูล ซึ่งการเพิ่มช่องสัญญาณในการรับส่งข้อมูลจะมีการใช้งานช่องสัญญาณขั้นต่ำคือ 4 ช่องสัญญาณทั้งทางขาขึ้นและขาลง โดยอัตราการส่งข้อมูลขาลง 50 Mbps ต่อ 1 ช่องสัญญาณ และมีอัตราการส่งข้อมูลขาขึ้น 30 Mbps ต่อ 1 ช่องสัญญาณ (ช่องสัญญาณที่มีการใช้งานในวิทยานิพนธ์ จะใช้ช่องสัญญาณขาขึ้น 4 ช่องสัญญาณและขาลง 8 ช่องสัญญาณ) และมีการเข้ารหัสแบบ BPI/SEC หรือ Security ที่เป็นชื่อเรียกใหม่ของการเข้ารหัสที่ใช้บิตเข้ารหัส 128 บิต ซึ่งมากกว่าของแบบ BPI/BPI+ ที่ใช้บิตเข้ารหัส 56 บิต มีความปลอดภัยในการรับส่งข้อมูลสูงกว่าแบบเดิม

DOCSIS 3.1 ถูกพัฒนาต่อจาก DOCSIS 3.0 โดยพัฒนาจากการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา (Time Division Multiplexing: TDM) เป็นการมัลติแพล็กซ์แบบแบ่งความถี่ (Frequency Division Multiplexing: FDM) ในรูปแบบ OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) โดยจะส่งสัญญาณออกไปในย่านความถี่ที่เป็นอิสระต่อกันหลาย ๆ ช่องสัญญาณ ซึ่งเป็นรูปแบบเดียวกันกับ 4G LTE และมีการมอดูเลตสูงสุดที่แบบ 4096-QAM โดยแตกต่างจาก DOCSIS 3.0 ที่มีการมอดูเลตสูงสุดที่แบบ 256-QAM ทำให้เกิดการส่งข้อมูลสูงสุดขาลง 10Gbps และการส่งข้อมูลสูงสุดขาขึ้น 1Gbps โดย DOCSIS 3.1 เริ่มมีการใช้งานแล้วบางประเทศ

ซึ่งรูปที่ 2.5 แสดงให้เห็นถึงอัตราการส่งข้อมูลพอสังเขปจากแต่ละรุ่นของมาตราฐาน DOCSIS ที่มีการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Version	Downstream						Upstream				
	Channel configuration				America DOCSIS throughput in Mbps	Euro DOCSIS throughput in Mbps	Channel configuration				Throughput in Mbps
	Minimum selectable number of channels	Minimum number of channels that hardware must support	Selected number of channels	Maximum number of channels			Minimum selectable number of channels	Minimum number of channels that hardware must support	Selected number of channels	Maximum number of channels	
1.x	1	1	1	1	42.88 (38)	55.62 (50)	1	1	1	1	10.24 (10)
2.0	1	1	1	1	42.88 (38)	55.62 (50)	1	1	1	1	30.72 (30)
3.0	1	4	m	No maximum defined	m × 42.88 (m × 38)	m × 55.62 (m × 50)	1	4	n	No maximum defined	n × 30.72 (n × 30)
3.1	1 (m1 = 3) OR 1 (m2 = 1)	2 (m1 = 64) AND 24 (m2 = 24)	m1 m2	No maximum defined	m1 × 64.32 (m1 × 54) m2 × 42.88 (m2 × 38)	-	1 (n1 = 1) AND/OR 1 (n2 = 1)	2 (n1 = 32) AND 8 (n2 = 8)	n1 n2	No maximum defined	n1 × 64.32 (n1 × 54) n2 × 30.72 (n2 × 30)

*m, m1, m2 : Downstream Channel *(x) : Valued approximation
*n, n1, n2 : Upstream Channel

รูปที่ 2.5 อัตราการส่งข้อมูลของมาตราฐาน DOCSIS แต่ละรุ่นที่มีการใช้งาน

คุณสมบัติมาตรฐาน DOCSIS แต่ละรุ่นที่มีการใช้งานเมื่อเทียบกับแบบจำลองการสื่อสาร OSI จะมีการทำงานในชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 โดยมีรายละเอียดดังนี้

- ชั้นกายภาพ จะมีการใช้ความกว้างช่องสัญญาณ (Channel width) ขาลงของทุกรุ่นก่อน DOCSIS 3.1 จะมีความกว้าง 6MHz ต่อ 1 ช่องสัญญาณ (มาตราฐานอเมริกา) และความกว้าง 8MHz ต่อ 1 ช่องสัญญาณ (มาตราฐานยุโรป) โดยที่ด้านขาขึ้นการใช้งานจะถูกแบ่งย่อยในแต่ละรุ่น คือ DOCSIS 1.0/1.1 มีความกว้างช่องสัญญาณระหว่าง 200kHz และ 3.2MHz, DOCSIS 2.0 & 3.0 ความกว้างช่องสัญญาณ 6.4MHz ส่วนการมอดูเลตขาลงของทุกรุ่นก่อน DOCSIS 3.1 จะใช้การมอดูเลตแบบ 64-QAM หรือ 256-QAM ตามมาตรฐาน ITU-T J.83-Annex B สำหรับความกว้างช่องสัญญาณ 6MHz และการมอดูเลตตามมาตรฐาน DVB-C สำหรับความกว้างช่องสัญญาณ 8MHz (มาตราฐานยุโรป) โดยที่ DOCSIS 3.1 จะมีการใช้การมอดูเลตสูงสุดที่แบบ 4096-QAM เพื่อการมอดูเลตเพิ่มเติมซึ่งอาจจะสูงเป็น 8192-QAM หรือ 16384-QAM ในอนาคต ในส่วนการมอดูเลตขาขึ้นจะมีการใช้การมอดูเลตแบบ QPSK หรือ 16-QAM สำหรับ DOCSIS 1.x ขณะที่การใช้การมอดูเลตแบบ QPSK, 8-QAM, 16-QAM, 32-QAM และ 64-QAM ถูกใช้งานในมาตรฐาน DOCSIS 2.0 และ DOCSIS 3.0 ซึ่งยังสนับสนุนการมอดูเลตแบบ 128-QAM กับ TCM (Trellis Coded Modulation) ในโหมด S-CDMA
- ชั้นเชื่อมโยงข้อมูล มาตรฐาน DOCSIS จะมีการกำหนดสำหรับการส่งข้อมูลโดยเฉพาะ เช่นใช้ TDMA สำหรับ DOCSIS 1.0/1.1 และมีการใช้งานร่วมกันระหว่าง TDMA และ

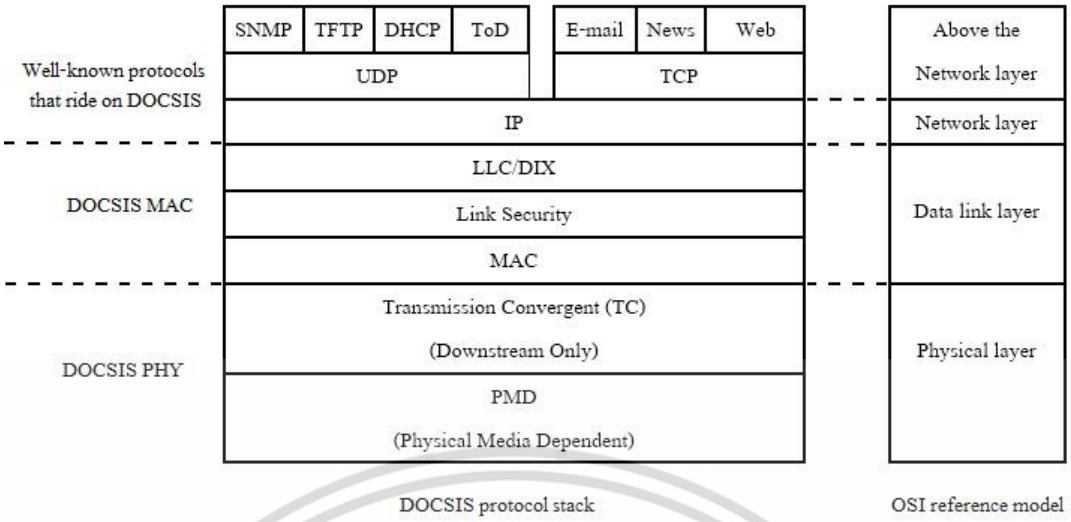
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

S-CDMA สำหรับ DOCSIS 2.0 และ DOCSIS 3.0 มีข้อจำกัดในการยืนยันการร้องขอแบนด์วิดธ์ ด้วยเหตุนี้ระบบ DOCSIS จึงมีการชนกันของข้อมูลค่อนข้างน้อย เมื่อเทียบกับ CSMA/CD ในระบบอีเทอร์เน็ตรุ่นดั้งเดิม สำหรับ DOCSIS 1.0 ขึ้นไปชั้น MAC จะรองรับ QoS (Quality-of-Service) มากขึ้น เพื่อช่วยสนับสนุนการใช้งานแอปพลิเคชั่นที่มีความต้องการในการใช้ทราฟฟิคเฉพาะ เช่น VoIP (Voice over IP) DOCSIS 3.0 มีคุณสมบัติในการการรวมช่องสัญญาณ ซึ่งทำให้เกิดการส่งข้อมูลทั้งด้านสตรีมขาลงและสตรีมขาขึ้นจำนวนมากไปยังผู้ใช้บริการในเวลาเดียวกัน

- ชั้นเครือข่าย โมเด็มที่อยู่ในมาตรฐาน DOCSIS จะได้รับการจัดการผ่าน IP แอดเดรส โดยที่มาตรฐาน DOCSIS 2.0 จะมีการสนับสนุนการใช้งาน IPv6 โดยการอัพเกรดเฟิร์มแวร์บนเคเบิลโมเด็มที่ใช้มาตรฐาน DOCSIS 2.0 ส่วน DOCSIS 3.0 ได้มีการเพิ่มการจัดการผ่าน IPv6 ให้ดียิ่งขึ้น
- อัตราการส่งข้อมูล ในมาตรฐาน DOCSIS 1.x, DOCSIS 2.0 และ DOCSIS 3.0 ที่ด้านสตรีมขาลงจะสนับสนุนการส่งข้อมูลโดยมีการมอดูเลตแบบ 256-QAM มีอัตราการส่ง 42.88Mbps (เฉลี่ยเกิดการส่งประมาณ 38Mbps) ต่อ 1 ช่องสัญญาณ (มีขนาด 6MHz) หรือมีอัตราการส่ง 55.62Mbps (เฉลี่ยเกิดการส่งประมาณ 50Mbps) ต่อ 1 ช่องสัญญาณ (8MHz ตามมาตราฐานยุโรป) ส่วนที่ด้านสตรีมขาลงจะสนับสนุนการส่งข้อมูลโดยมีอัตราการส่ง 37.72Mbps (เฉลี่ยเกิดการส่งประมาณ 30Mbps) ต่อ 1 ช่องสัญญาณ (มีขนาด 6.4MHz หรือประมาณ 6MHz) หรือ 10.24Mbps (เฉลี่ยเกิดการส่งประมาณ 10Mbps) ต่อ 1 ช่องสัญญาณ (มีขนาด 3.2MHz)

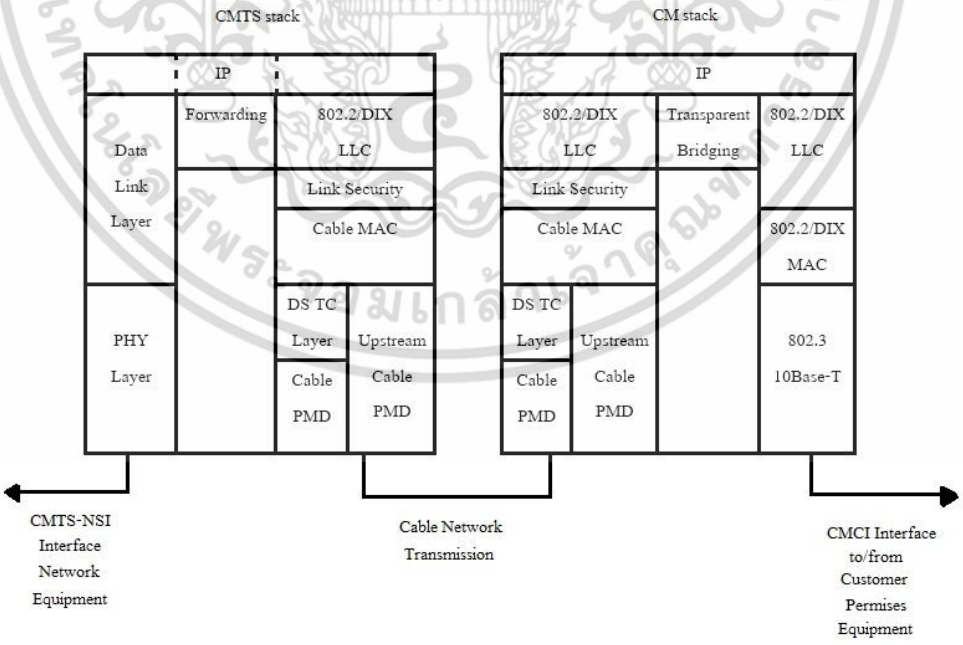
โปรโตคอล DOCSIS มีโครงสร้าง ดังรูปที่ 2.6 ซึ่งแสดงการระเปรียบเทียบกับแบบจำลองการสื่อสาร OSI (Open System Interconnection Model) โดยมีระดับชั้นหลัก 2 ชั้น คือ ชั้นกายภาพ (Physical (PHY) Layer) และชั้นเชื่อมโยงข้อมูล (Data Link Layer: DLL) ชั้นเหล่านี้ได้อธิบายการส่งข้อมูล IP (Internet Protocol) บนเครือข่าย HFC ชั้นที่อยู่เหนือชั้นโปรโตคอล DOCSIS MAC ขึ้นไปคือชั้นเครือข่าย (Network Layer) ซึ่งเป็นโปรโตคอลอินเตอร์เน็ต (Internet Protocol Layer) [14] ชั้นบนสุดเป็นโปรโตคอลมาตรฐานในการให้บริการอินเตอร์เน็ต และโปรโตคอลที่ใช้ในการจัดระบบเครือข่าย ได้แก่ โปรโตคอลสำหรับบริหารจัดการเครือข่าย (Simple Network Management Protocol: SNMP), โปรโตคอลอินเตอร์เน็ตสำหรับถ่ายโอนแฟ้มข้อมูล (Trivial File-Transfer Protocol: TFTP) และโปรโตคอลที่ถูกใช้โดยเครื่องลูกข่ายเพื่อเรียนรู้ข้อมูลต่างๆของระบบเครือข่าย (Dynamic Host Configuration Protocol: DHCP) [18]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ระดับชั้นของโปรโตคอล DOCSIS เมื่อเทียบกับแบบจำลองการสื่อสาร OSI

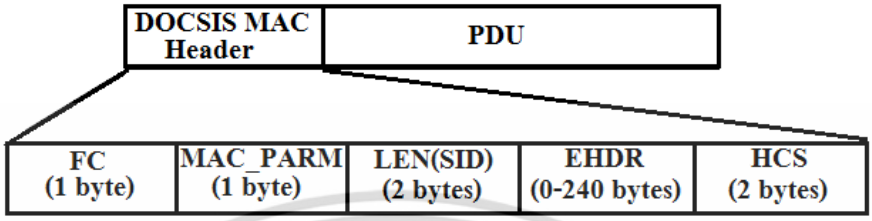
การส่งต่อข้อมูลผ่าน CMTS อาจเป็นการเชื่อมต่อเครือข่าย 2 เครือข่ายหรือมากกว่าเข้าด้วยกันโดยแยกข้อมูลส่งผ่านอย่างเหมาะสม หรืออาจใช้ในการส่งต่อในชั้นเครือข่าย เช่น การหาเส้นทางเดินของเครือข่าย หรือการสวิตช์ IP เป็นต้น ส่วนการส่งต่อข้อมูลผ่านเคเบิลโมเด็มนั้นเป็นการเชื่อมต่อเครือข่าย 2 เครือข่ายหรือมากกว่า ซึ่งข้อปฏิบัติในการส่งต่อข้อมูลนั้นเป็นข้อปฏิบัติที่คล้ายคลึงกับ ISO/IEC 10038 นอกจากนั้นการปรับปรุงแก้ไขยังได้อธิบายในข้อปฏิบัติในการส่งต่อข้อมูลผ่าน CMTS และเคเบิลโมเด็ม ซึ่งยินยอมให้มีการสนับสนุนในชั้นเครือข่ายหลายชั้นดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การส่งข้อมูลผ่านเคเบิลโมเด็ม และ CMTS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการส่งข้อมูลในมาตราฐาน DOCSIS จะใช้รูปแบบแพคเก็ต MAC เช่นเดียวกัน สำหรับสตรีมขาขึ้น และสตรีมขาลง แต่ข้อแตกต่างระหว่างรูปแบบทั้งสองรูปแบบคือข้อความการจัดการเฉพาะของ DOCSIS MAC ในสตรีมขาขึ้น และสตรีมขาลงเท่านั้น โดยแพคเก็ตจะมีส่วนหัวและข้อมูล ดังรูปที่ 2.8

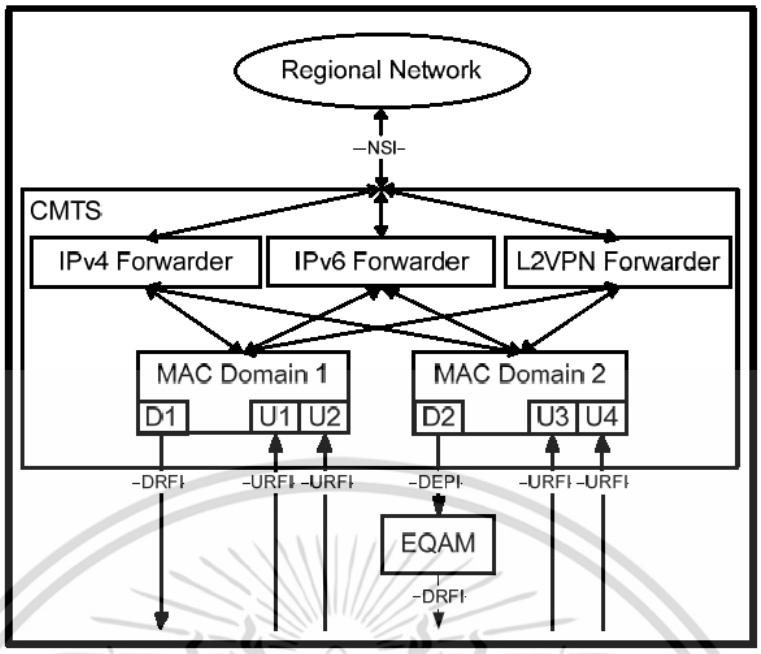


รูปที่ 2.8 รูปแบบการส่งข้อมูล

โดยลักษณะของการส่งข้อมูลจะมี PDU (Protocol Data Unit) ซึ่งเป็นหน่วยที่ใช้ในการสื่อสารกันในการส่งข้อมูลในแต่ละ Layer ซึ่ง DOCSIS MAC Header ประกอบด้วย Frame Control (FC), MAC Parameters (MAC_PARM), Length (LEN) or Service Identifier (SID) และ Header Check Sum (HCS) โดย DOCSIS สนับสนุนรูปแบบขยายส่วนหัว (EHDR : Extended Header) โดยขนาดของหัว MAC ต่ำสุดจะมีค่า 6 ไบต์โดยรวมกับขนาดของส่วน EHDR แล้ว ซึ่งแต่ละตัวมีความหมายดังนี้

- FC มีหน้าที่ระบุชนิดของส่วนหัว MAC
- MAC_PARN มีหน้าที่ในการเพิ่มพารามิเตอร์พื้นฐานบนประเภทของส่วนหัว MAC
- LEN/SID มีหน้าที่ระบุความยาวของแพคเก็ต MAC ตามความยาวของด้าน HCS ถ้าแพคเก็ต MAC เป็นแพคเก็ตร้องขอ ซึ่งจะมีการบรรจุค่า SID โดยค่า SID จะระบุค่าเฉพาะของเคเบิลโมเด็มระหว่างการ initialization และregistration
- EHDR มีหน้าที่จัดการกับการบรรจุข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับแพคเก็ต MAC
- HCS ประกอบด้วย Cyclic Redundancy Check (CRC) เพื่อป้องกันส่วนก่อนหน้านี้และใช้เพื่อระบุข้อผิดพลาดบิตอย่างน้อย 1 บิตหรือมากกว่า ในส่วนหัวของ MAC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 รูปแบบการส่งภายในอุปกรณ์ CMTS และการเชื่อมต่อสู่เครือข่ายภายนอก

จากรูปที่ 2.9 แสดงถึงรูปแบบการส่งภายในอุปกรณ์ CMTS ประกอบด้วย 2 องค์ประกอบย่อยอยู่สองประเภทคือ

- ตัวลำเลียง CMTS (CMTS Forwarders) เป็นการส่งต่อแพ็คเกตด้วยการกำหนดเส้นทางการเชื่อมต่อกับชั้นเชื่อมโยงข้อมูลหรือชั้นเครือข่าย
- โดเมน MAC ที่จัดการและส่งต่อข้อมูลไปยังเคเบิลโมเด็มด้วยช่องสัญญาณสตรีมขาขึ้นและช่องสัญญาณสตรีมขาลง

ตัวลำเลียง CMTS มีหน้าที่ในการส่งต่อแพ็คเกตระหว่าง NSI (Network Side Interface) และโดเมน MAC ในมาตราฐาน DOCSIS 3.0 โดยโดเมน MAC จะไม่มีการส่งแพ็คเกตข้ามจากช่องสัญญาณสตรีมขาขึ้นไปยังช่องสัญญาณสตรีมขาลงภายในโดเมน MAC ซึ่งโดเมน MAC ในมาตรฐาน DOCSIS จะเป็นองค์ประกอบย่อยของอุปกรณ์ CMTS โดยจะทำการดำเนินการรับผิดชอบในการใช้ DOCSIS ฟังก์ชันทั้งหมดบนช่องสัญญาณสตรีมขาขึ้นและช่องสัญญาณสตรีมขาลง ซึ่งโดเมน MAC จะต้องมีในอุปกรณ์ CMTS อย่างน้อยหนึ่งโดเมน โดเมน MAC ยังทำหน้าที่ในการรับและส่ง MMMs (MAC Management Messages) ทั้งหมดจากกลุ่มของเคเบิลโมเด็มที่มีการลงทะเบียนในโดเมน MAC นั้นไปยังอุปกรณ์ CMTS ภายในโดเมน MAC เพียงอันเดียวในช่วงเวลาหนึ่งได้ การส่งแพ็คเกตในช่องสัญญาณสตรีมขาขึ้นทั้งหมดจะถูกพิจารณาการส่งไปยังตัวลำเลียง CMTS DOCSIS 3.0 จะมีรายละเอียดการทำงานของตัวลำเลียง CMTS จนถึงการใช้งานเฉพาะของผู้ให้บริการ CMTS โดยต้องใช้มาตราฐาน DOCSIS 1.0, DOCSIS 1.1 และ DOCSIS 2.0 ที่มีการระบุพื้นฐานการทำงานเพื่อให้อุปกรณ์ CMTS สามารถทำการสื่อสาร IPv4 ผ่านพอร์ต NSI ไปยัง CPE ที่ติดกับเคเบิลโมเด็มของผู้ใช้บริการได้ รวมไปถึงการจัดการ IPv4 ของอุปกรณ์ CMTS และ เคเบิลโมเด็มได้เอง ซึ่ง DOCSIS 3.0 ได้เพิ่มความต้องการในการจัดการเคเบิลโมเด็มด้วยการเพิ่มการใช้งาน IPv6 เพื่อทำการเชื่อมต่อผ่านพอร์ต NSI ไปยัง CPE ที่ติดกับเคเบิลโมเด็มของผู้ใช้บริการ นอกจากนี้ยังมีข้อกำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

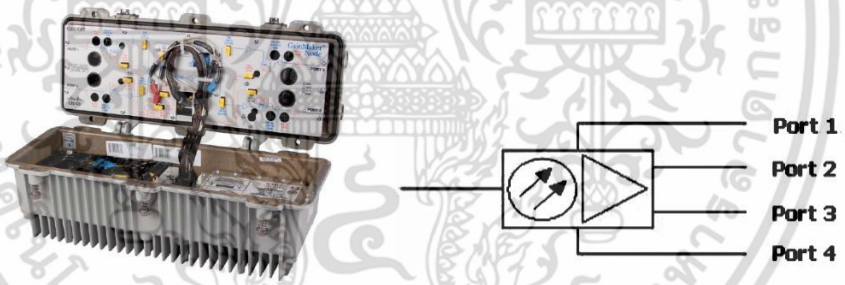
DOCSIS L2VPN (DOCSIS Layer2 Virtual Private Networking) เพื่อให้เกิดการส่งระหว่างพอร์ต NSI กับ CPE ที่ติดกับเคเบิลโมเด็มของผู้ใช้บริการ

2.5 รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้งานภายในเครือข่าย HFC

อุปกรณ์ที่ใช้งานในเครือข่าย HFC นั้น มีอยู่หลายชนิด เพื่อทราบถึงลักษณะการทำงานจำเป็นต้องทราบรายละเอียดการทำงานของอุปกรณ์แต่ละชนิด เพื่อให้ทราบถึงหน้าที่การทำงานโดยอุปกรณ์ต่างๆมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

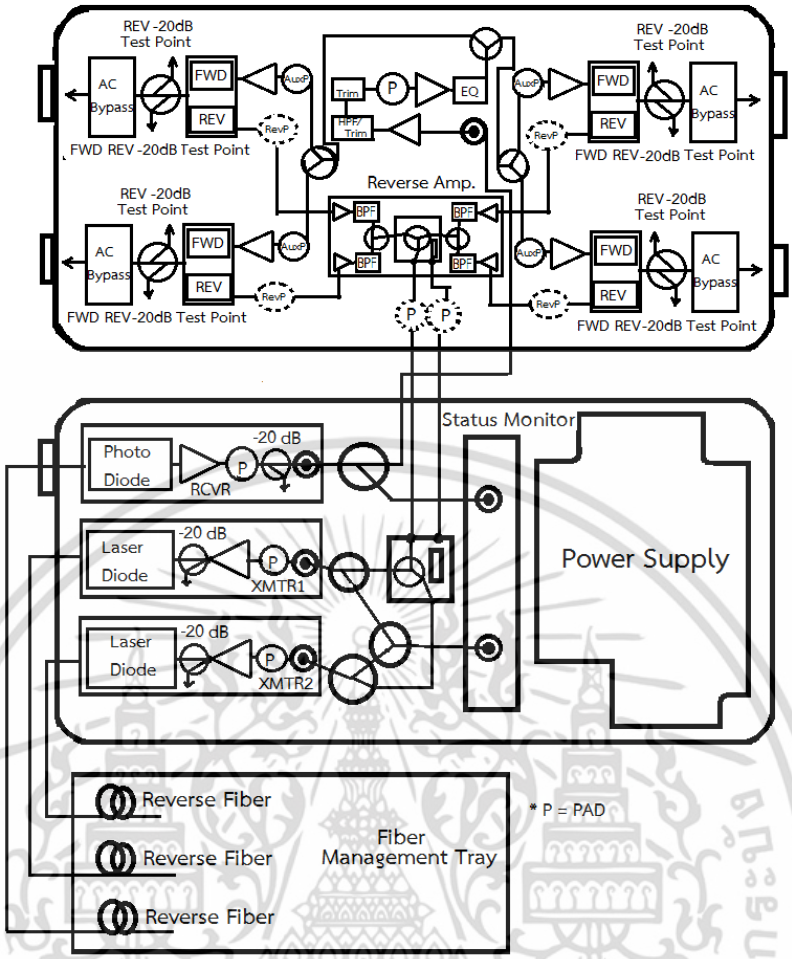
2.5.1 อุปกรณ์โหนดทางแสง (Optical Node) หรือ AM-Node

เป็นอุปกรณ์ขยายแบบแอคทีฟ (Active Amplifier) ใช้ในการแปลงสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าด้านขาลง ในทำนองเดียวกันด้านขาขึ้น ทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง พร้อมทั้งขยายสัญญาณก่อนที่จะส่งผ่านไปตามโครงข่าย โดยอุปกรณ์โหนดทางแสงนี้จะมีพอร์ตอินพุต 1 อินพุตโดยรับส่งข้อมูลมาจากอุปกรณ์ Hub ที่ใช้ในการกระจายแสง เมื่ออุปกรณ์โหนดทางแสงแปลงสัญญาณแสงเสร็จก็จะทำการส่งสัญญาณไฟฟ้าออกไปในแต่ละพอร์ตเอาท์พุต ซึ่งอุปกรณ์นี้มีเอาท์พุตอยู่ 4 พอร์ตในการรับส่งข้อมูลจากอุปกรณ์โหนดทางแสงนี้ไปยังอุปกรณ์ที่ใช้ในการขยายสัญญาณ หรืออุปกรณ์อื่นในเครือข่ายการเชื่อมต่อที่ถูกวางแบบแผนเอาไว้ ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 อุปกรณ์โหนดทางแสง (ด้านซ้าย) และ สัญลักษณ์ของอุปกรณ์โหนดทางแสง (ด้านขวา)

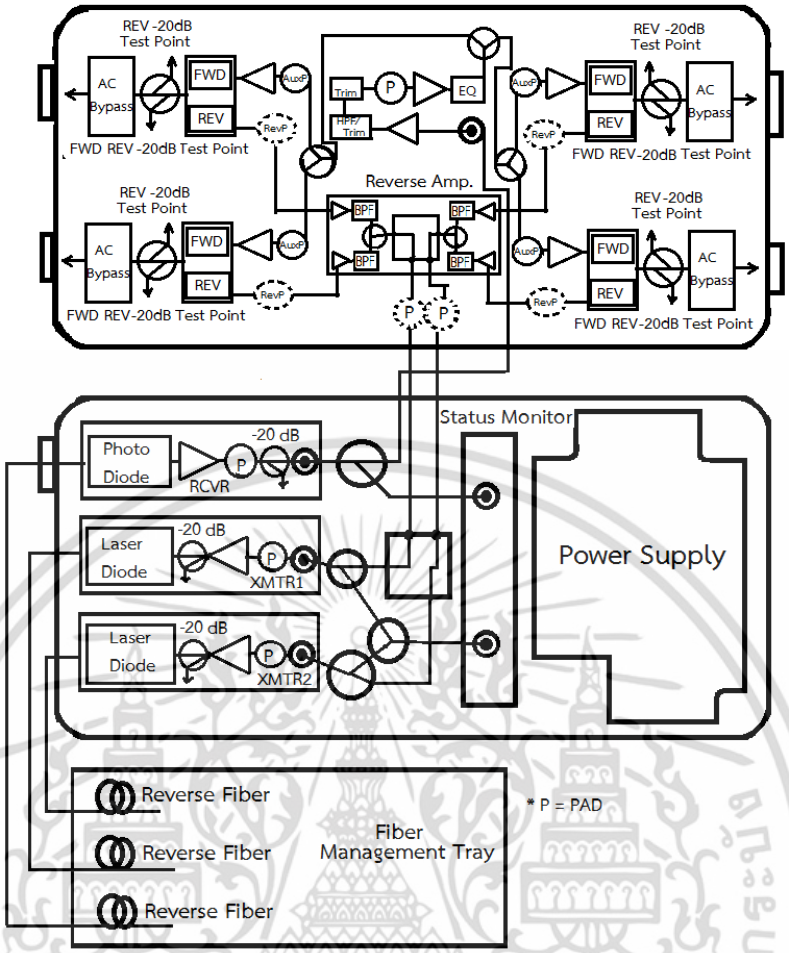
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 บล็อคไดอะแกรมของการรวมเส้นทางย้อนกลับ (Reverse Path) กับ ตัวส่งสัญญาณที่ซ้ำซ้อน (Redundant Transmitter) ของอุปกรณ์โหนดทางแสง

จากรูปที่ 2.11 แสดงบล็อคไดอะแกรมของการรวมเส้นทางย้อนกลับ (Reverse Path) กับตัวส่งสัญญาณที่ซ้ำซ้อน (Redundant Transmitter) ของอุปกรณ์โหนดทางแสง ซึ่งเกิดจากการที่อุปกรณ์โหนดทางแสงรับสัญญาณไฟฟ้าที่มาเข้ามาจากขาเอาท์พุตทั้งสี่ของอุปกรณ์ เพื่อทำการแปลงสัญญาณจากสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง และส่งไปยังสายใยแก้วนำแสงย้อนกลับ (Reverse Fiber) หลังจากนั้นสัญญาณแสงที่ส่งออกมาจะไหลย้อนกลับไปที่อุปกรณ์ CMTS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 บล็อกไดอะแกรมของการแบ่งเส้นทางย้อนกลับของอุปกรณ์โหนดทางแสง

จากรูปที่ 2.12 แสดงบล็อคไดอะแกรมของการแบ่งเส้นทางย้อนกลับของอุปกรณ์โหนดทางแสง ซึ่งเป็นลักษณะการทำงานภายในอุปกรณ์โหนดทางแสงที่จะมีแปลงสัญญาณแสงที่เข้ามาเพื่อเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าแล้วส่งออกตามขาเอาท์พุตทั้งสี่ โดยสัญญาณแสงที่เข้านั้นจะเข้ามาทางด้านสายใยแก้วนำแสงย้อนกลับ หลังจากนั้นสัญญาณแสงที่ถูกนำเข้ามาจะผ่านอุปกรณ์ภายในที่ทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณ จนได้สัญญาณไฟฟ้าออกมาที่ขาเอาท์พุตทั้งสี่ของอุปกรณ์โหนดทางแสง

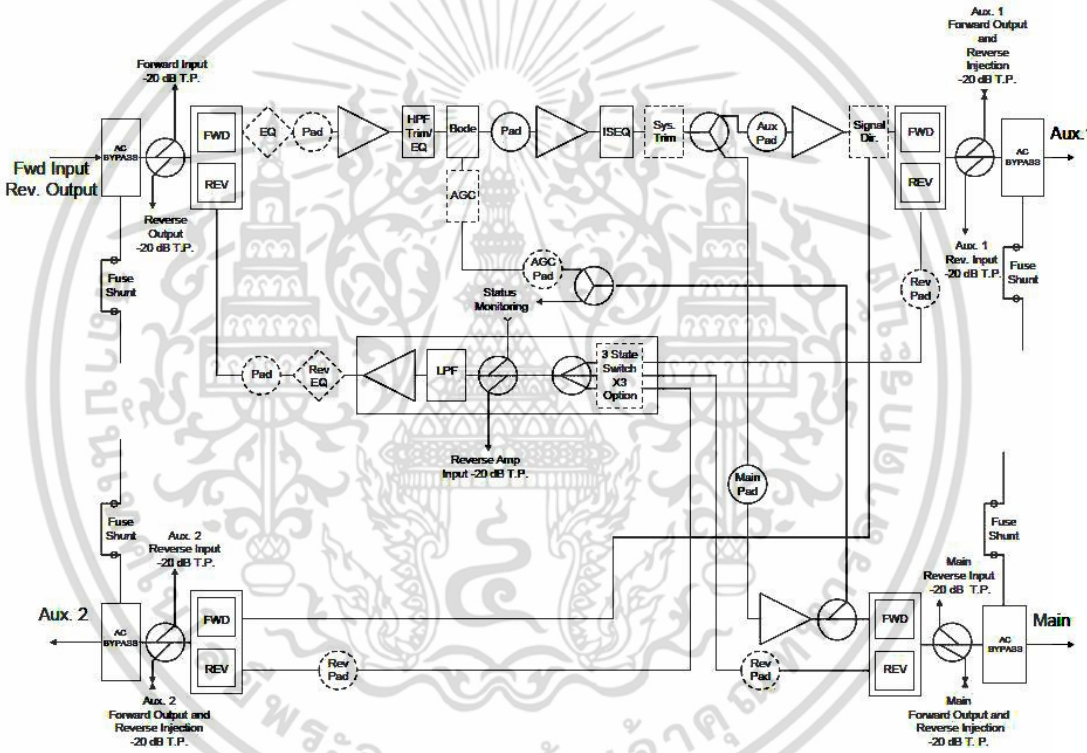
2.5.2 อุปกรณ์มินิบริดเจอร์ (Mini Bridger (MB))

เป็นอุปกรณ์ขยายแบบแอคทีฟ ที่ใช้ในการขยายสัญญาณไฟฟ้าที่เข้ามาในอุปกรณ์ โดยมี 1 อินพุต และขยายสัญญาณออกเป็น 3 เอาท์พุตที่ขา Main, AUX.1 และ AUX.2 (โดยที่ขาAUX = Auxiliary หรือ ขาเสริม) ภายในระบบเครือข่ายนั้นเมื่ออุปกรณ์โหนดทางแสง ส่งสัญญาณมาเพื่อให้ผู้ใช้บริการได้ใช้งาน การที่มีผู้ใช้งานจำนวนมากๆนั้นจำเป็นต้องมีอุปกรณ์แอมพลิไฟล์ในการขยายสัญญาณ เมื่อสัญญาณมีกำลังสัญญาณลดลง โดยส่วนมากจะต่ออุปกรณ์มินิบริดเจอร์นี้จากอุปกรณ์โหนดทางแสง เพื่อใช้ในการขยายสัญญาณดังกล่าวพร้อมทั้งแยกสัญญาณไปตามขาหลัก (Main) และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขาเสริม ผ่านการเชื่อมต่อโดยสายโคแอคเชียล ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 2.13 และในรูปที่ 2.14 แสดงให้เห็นถึงบล็อกไดอะแกรมของมินิบริดเจอร์ในการขยายสัญญาณไฟฟ้าในระบบเครือข่าย ซึ่งมีอุปกรณ์ภายในจะทำการขยายสัญญาณที่เข้ามาในสองรูปแบบคือแบบขาขึ้นและขาลง

รูปที่ 2.13 อุปกรณ์มินิบริดเจอร์ (ด้านซ้าย) และ สัญลักษณ์อุปกรณ์มินิบริดเจอร์ (ด้านขวา)



รูปที่ 2.14 บล็อคไดอะแกรมของมินิบริดเจอร์

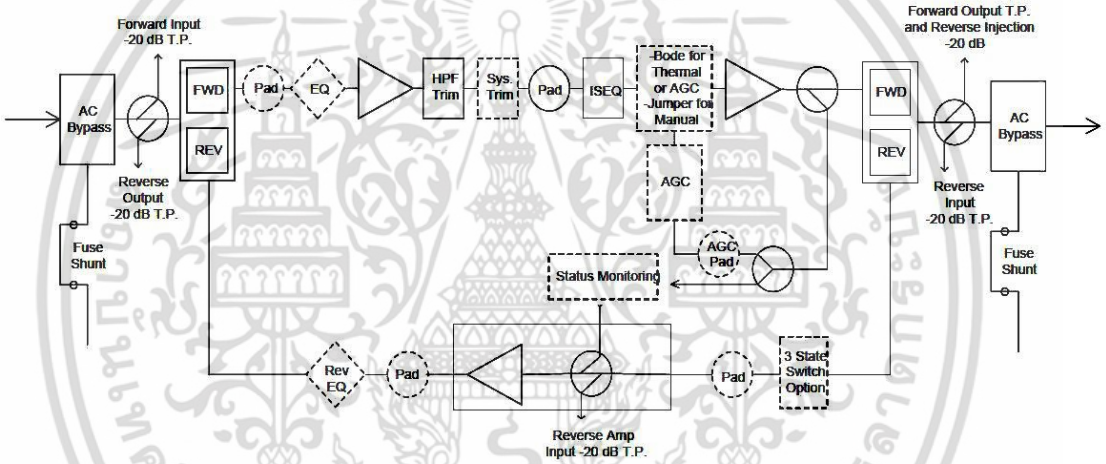
2.5.3 อุปกรณ์ไลแอ็คเทนเดอร์ (Line Extender (LE))

เป็นอุปกรณ์ขยายแบบแอคทีฟ ทำหน้าที่ขยายสัญญาณไฟฟ้า โดยมี 1 อินพุตขยายสัญญาณออก 1 เอาท์พุต ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 2.15 โดยส่วนใหญ่อุปกรณ์ไลแอ็คเทนเดอร์จะมีการเชื่อมต่อในเครือข่ายหลังจากที่ต่ออุปกรณ์มินิบริดเจอร์กับอุปกรณ์โหนดทางแสง เพื่อทำการขยายสัญญาณไฟฟ้าที่ส่งมา ซึ่งสัญญาณไฟฟ้าที่ส่งนั้นหากมีระยะทางที่ไกลจะเกิดการลดทอนของสัญญาณจึงต้องทำการต่อตัวขยายสัญญาณทำให้สัญญาณกลับมามีความแรงที่เหมาะสมในการส่งสัญญาณผ่านสายโคแอคเชียลต่อไป การขยายสัญญาณไฟฟ้าของอุปกรณ์ไลแอ็คเทนเดอร์หากในระบบมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้น อุปกรณ์ที่เป็นตัวขยายสัญญาณทั้งหมดรวมถึงอุปกรณ์ไลแอ็คเทนเดอร์จะขยาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณรบกวนนั้นตามไปด้วย ดังนั้นหากมีสัญญาณรบกวนในระบบเครือข่ายมาก ระบบเครือข่ายนั้นก็จะทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ โดยรูปที่ 2.16 จะแสดงถึงบล็อคไดอะแกรมของการทำงานภายในอุปกรณ์ไลแอ็คเทนเดอร์ในการขยายสัญญาณไฟฟ้าในระบบเครือข่าย

รูปที่ 2.15 อุปกรณ์ไลแอ็คเทนเดอร์ (ด้านซ้าย) และ สัญลักษณ์อุปกรณ์ไลแอ็คเทนเดอร์ (ด้านขวา)

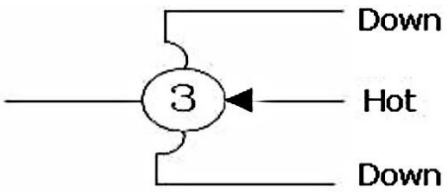


รูปที่ 2.16 บล็อคไดอะแกรมของอุปกรณ์ไลแอ็คเทนเดอร์

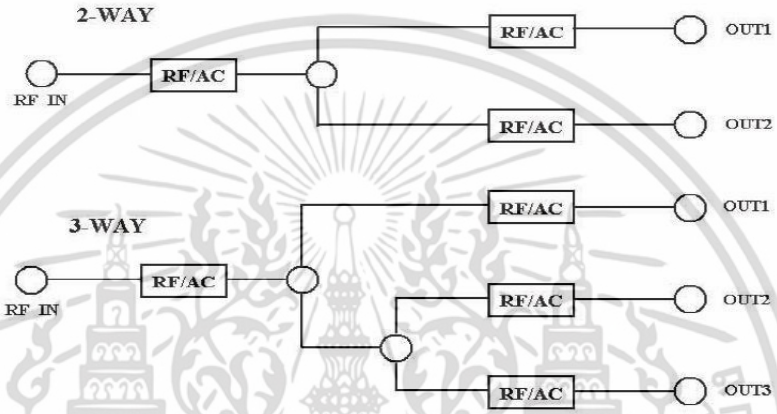
2.5.4 อุปกรณ์สปริทเตอร์ (Splitter)

เป็นอุปกรณ์พาสซีฟ (Passive Equipment) ทำหน้าที่แยกสัญญาณไฟฟ้า โดยมี 1 อินพุตและแยกออกเป็น 2-3 เอาท์พุต ซึ่งอุปกรณ์พาสซีฟนั้นจะไม่ใช่แหล่งจ่ายไฟในการทำงาน อุปกรณ์สปริทเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่มีการต่อได้หลายลักษณะ โดยมีทั้งแบบทำการต่อก่อนอุปกรณ์ขยายสัญญาณและแบบทำการต่อหลังอุปกรณ์ขยายสัญญาณ ดังนั้นอุปกรณ์ที่ใช้ในการแยกสัญญาณสามารถทำให้สัญญาณไฟฟ้านั้นถูกกระจายหรือแบ่งแยกไปตามแบบแผนเครือข่ายที่วางไว้ ในรูปที่ 2.17 แสดงถึงรูปของอุปกรณ์สปิทเตอร์ 3 ทาง หรือ 3 เอาท์พุต และสัญลักษณ์อุปกรณ์สปริทเตอร์แบบ 3 ทาง และในรูปที่ 2.18 แสดงถึงบล็อกไดอะแกรมของอุปกรณ์สปิตเตอร์แบบ 3 ทาง และแบบ 2 ทาง ที่มีการใช้งานในระบบเครือข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



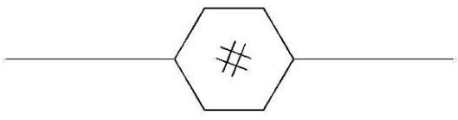
รูปที่ 2.17 อุปกรณ์สปริทเตอร์แบบ 3 ทาง (ด้านซ้าย) และ สัญลักษณ์อุปกรณ์สปริทเตอร์แบบ 3 ทาง (ด้านขวา)



รูปที่ 2.18 บล็อกไดอะแกรมของอุปกรณ์สปริทเตอร์ทั้งแบบ 2 ทาง และ 3 ทาง

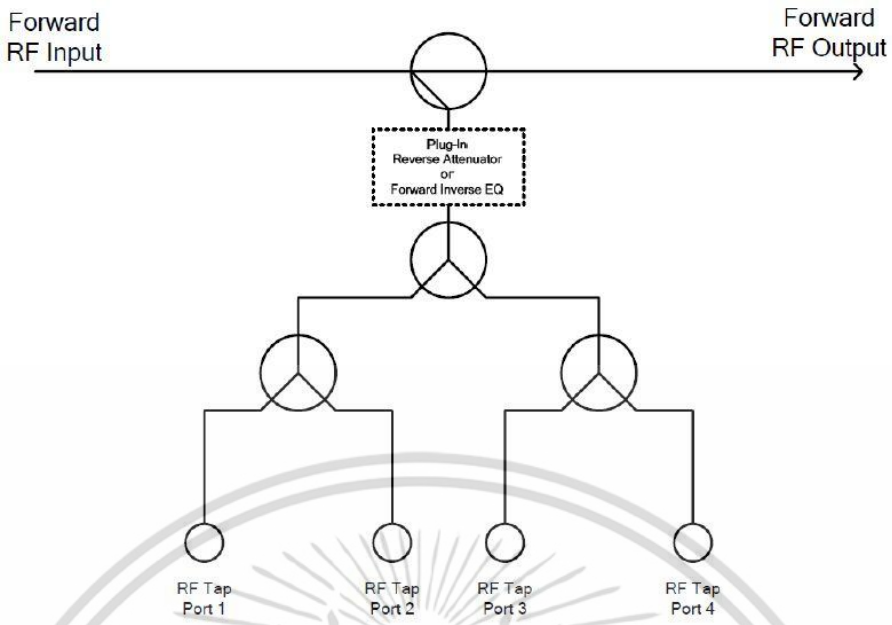
2.5.5 อุปกรณ์แทป (Tap)

เป็นอุปกรณ์พาสซีฟ ทำหน้าที่แยกสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งอุปกรณ์แทปมีความแตกต่างจากอุปกรณ์สปริทเตอร์ คือ อุปกรณ์แทบจะใช้แยกสัญญาณในกรณีที่ใช้แยกสัญญาณไฟฟ้าไปยังบ้านของผู้ใช้บริการโดยทำการเชื่อมต่อเข้าเคเบิลโมเด็ม จึงถือได้ว่าอุปกรณ์แทป เป็นอุปกรณ์สุดท้ายของการวางแบบแผนเครือข่าย โดยมีจำนวนขาที่ขึ้นอยู่กับการใช้งานและการติดตั้ง เพื่อรองรับจำนวนของผู้ใช้บริการ ซึ่งอุปกรณ์แทปที่มีการใช้งานในเครือข่ายแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ แบบ 2 ทาง, แบบ 4 ทาง และแบบ 8 ทาง ซึ่งค่าการลดทอนสัญญาณไฟฟ้าจะแสดงตามตัวเลขที่ปรากฏอยู่บนหน้าอุปกรณ์แทปนั้น ในรูปที่ 2.19 แสดงถึงรูปของอุปกรณ์แทปแบบ 8 ทาง และสัญลักษณ์ของอุปกรณ์แทปแบบ 8 ทาง ซึ่งในรูปที่ 2.20 แสดงถึงบล็อกไดอะแกรมของอุปกรณ์แทปแบบ 4 ทาง โดยหากมีการใช้งานอุปกรณ์แทปแบบอื่นจะมีเพียงขาที่เป็นเอาท์พุตที่เพิ่มขึ้น โดยค่าการลดทอนจะขึ้นอยู่กับการใช้งาน



รูปที่ 2.19 อุปกรณ์แทปแบบ 8 ทาง (ด้านซ้าย) และ สัญลักษณ์อุปกรณ์แทปแบบ 8 ทาง (ด้านขวา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



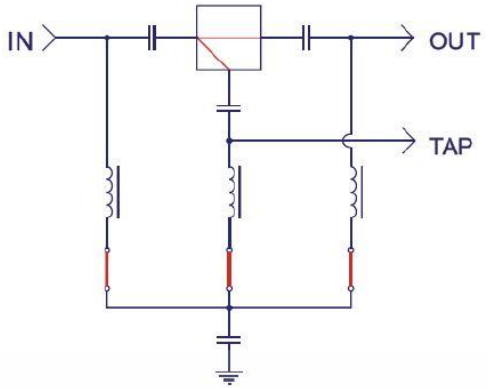
รูปที่ 2.20 บล็อกไดอะแกรมของอุปกรณ์แทปแบบ 4 ทาง

2.5.6 อุปกรณ์ไดเร็คชั่นเนลคอปเปอร์ (D-Coupler)

เป็นอุปกรณ์พาสซีฟ ทำหน้าที่แยกสัญญาณไฟฟ้าคล้ายกับอุปกรณ์สปริทเตอร์ และอุปกรณ์แทป ซึ่งอุปกรณ์สปริทเตอร์ และอุปกรณ์แทปนั้นจะมีการแบ่งสัญญาณไฟฟ้าออกไปหาทุกพอร์ตหรือทุกขาของเอาท์พุต แต่อุปกรณ์ไดเร็คชั่นเนลคอปเปอร์จะมีความแตกต่างจากอุปกรณ์สปริทเตอร์และอุปกรณ์แทป คือการเกิดสัญญาณไฟฟ้าจากการจัดการคัปปิ้ง (Coupling) สัญญาณที่ผ่านตัวนำหรือ ท่อนำคลื่น (Waveguide) ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 2.21 และมีบล็อคไดอะแกรมของอุปกรณ์ไดเร็คชั่นเนลคอปเปอร์ โดยมีลักษณะดังรูปที่ 2.22

รูปที่ 2.21 อุปกรณ์ไดเร็คชั่นเนลคอปเปอร์ (ด้านซ้าย) และ สัญลักษณ์อุปกรณ์ไดเร็คชั่นเนลคอปเปอร์ (ด้านขวา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 บล็อคไดอะแกรมของอุปกรณ์ไดเร็คชั่นเนลคอปเปอร์

2.5.7 สายโคแอคเชียล (Coaxial Cable)

ทำหน้าที่ในการเป็นสื่อกลางในการนำสัญญาณไฟฟ้าวิ่งไปตามการวางสายในเครือข่ายผ่านอุปกรณ์ต่างๆ โดยสายโคแอคเชียลที่ใช้งานภายในระบบสายส่งแบบ HFC นั้นจะมีการใช้งาน 2 ชนิด คือ การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ภายในเครือข่าย และการเชื่อมต่อจากอุปกรณ์แยกสัญญาณไฟฟ้าเข้ากับเคเบิลโมเด็มของผู้ใช้บริการ

2.5.7.1 การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ภายในโครงข่าย

การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ภายในเครือข่ายจะใช้สายโคแอคเชียล รุ่น PIII 500 ซึ่งมีประสิทธิภาพในการส่งข้อมูลตามค่าความถี่สัญญาณไฟฟ้าต่อการลดทอนในสายซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน RoHS 2011/65/EU ISO 9001:2008 ดังรูปที่ 2.23 จะสังเกตได้ว่าที่ความถี่ต่ำจะมีค่าการลดทอนในสายส่งนั้นต่ำไปด้วย และหากความยาวสายโคแอคเชียลมีความยาวที่เพิ่มขึ้นค่าการลดทอนก็จะสูงขึ้นตามไปด้วยเช่นกัน ค่าการลดทอนเหล่านี้จะสามารถนำมาช่วยในการวิเคราะห์ระบบและสามารถส่งผลต่อค่าของสัญญาณภายในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Frequency	Attenuation (dB/100m)	Attenuation (dB/100ft)
5 MHz	0.52	0.16
55 MHz	1.77	0.54
83 MHz	2.17	0.66
85 MHz	2.23	0.68
204 MHz	3.51	1.07
211 MHz	3.58	1.09
250 MHz	3.94	1.20
300 MHz	4.30	1.31
350 MHz	4.69	1.43
400 MHz	5.02	1.53
450 MHz	5.35	1.63
500 MHz	5.67	1.73
550 MHz	6.97	1.82
600 MHz	6.27	1.91
750 MHz	7.09	2.16
865 MHz	7.68	2.34
1000 MHz	8.27	2.52
1002 MHz	8.33	2.54
1218 MHz	9.28	2.83

รูปที่ 2.23 ค่าการลดทอนตามความถี่ต่อความยาวสายโคแอคเชียล

โดยสายโคแอคเชียลจะทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่ออุปกรณ์ตามแผนงานเครือข่ายที่มีการวางแบบแผนไว้ เพื่อให้เครือข่ายมีประสิทธิภาพการทำงานถูกต้องตามที่ได้ออกแบบ เนื่องจากการออกแบบแผนการทำงานของระบบนั้นจำเป็นจะต้องคำนึงถึงความยาวของสายโคแอคเชียลที่เป็นสายหลัก (สายโคแอคเชียล รุ่น PIII 500) ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ดังที่กล่าวข้างต้น อันได้แก่ อุปกรณ์โหนดทางแสงฝั่งที่ส่งสัญญาณไฟฟ้า, อุปกรณ์มินิบริดเจอร์, อุปกรณ์ไลแอ็คเทนเดอร์, อุปกรณ์ไดเร็คชั่นเนลคอปเปอร์, อุปกรณ์สปริทเตอร์ และอุปกรณ์แทป

2.5.7.2 การเชื่อมต่อจากตัวอุปกรณ์แยกสัญญาณเข้ากับเคเบิลโมเด็ม

การเชื่อมต่อสายโคแอคเชียลจากอุปกรณ์แยกสัญญาณหรืออุปกรณ์แทปเข้ากับเคเบิลโมเด็ม จะเรียกว่า “สายดรอปวาย (Drop wire)” ซึ่งจะต่อจากอุปกรณ์ที่ใช้แยกสัญญาณเข้ากับเคเบิลโมเด็มที่อยู่ภายในบ้านของผู้ใช้งาน โดยระยะทางของการใช้สายโคแอคเชียลที่เป็นสายดรอปวายจากอุปกรณ์แทปไปยังเคเบิลโมเด็มภายในบ้านของผู้ใช้บริการ จะมีระยะทางหากจากอุปกรณ์แทปนั้นไม่มากนัก เนื่องจากหากส่งสัญญาณไกลมากเกินไป ค่าของสัญญาณจะลดลงส่งผลให้การรับส่งสัญญาณนั้นไม่มีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ดัชนีคุณภาพของเครือข่าย (Network Quality Index)

ดัชนีคุณภาพของเครือข่าย เป็นการรายงานข้อมูลคุณภาพของเครือข่าย โดยค่าที่ใช้วัดจะเกิดขึ้นจากพารามิเตอร์ทั้ง 9 ของระบบตั้งแต่เฮดเอ็นหรืออุปกรณ์ CMTS ไปยังเคเบิลโมเด็มของผู้ใช้งาน การวัดค่าดัชนีคุณภาพของเครือข่ายมีความสำคัญในการระบุการทำงานของระบบเครือข่าย เพื่อให้สอดคล้องกับการแก้ไขและตรวจสอบสภาพการทำงานของระบบเครือข่าย โดยค่าดัชนีคุณภาพของเครือข่าย HFC ดังกล่าวจะใช้ค่าที่วัดจากพารามิเตอร์ทั้ง 9 ของระบบ ดังที่แสดงในรูปที่ 2.23 โดยค่าพารามิเตอร์ทั้ง 9 จะแสดงให้เห็นถึงระบบที่มีประสิทธิภาพในการใช้งาน หรือหากมีค่าที่น้อยเกินไปก็บ่งบอกได้ถึงระบบการทำงานในเครือข่ายนั้นมีประสิทธิภาพการทำงานที่ต่ำ โดยค่าของพารามิเตอร์นั้นแบ่งออกเป็น 4 ส่วนหลักๆ คือ

- ค่าพารามิเตอร์ที่วัดในเชิงค่ากำลังงาน เช่น DS-PWR, US- Tx PWR, US-Rx PWR
- ค่าพารามิเตอร์ที่วัดในเชิงค่ากำลังสัญญาณ เช่น DS-SNR, US-SNR
- ค่าพารามิเตอร์ที่วัดในเชิงค่าอัตราการส่งข้อมูลผิดพลาดแบบโค้ดเวิร์ด (Codeword Error Rate) เช่น US-Codeword Error Rate, DS- Codeword Error Rate
- ค่าพารามิเตอร์ที่วัดในเชิงค่าจำนวนครั้งในการหลุดการเชื่อมต่อระหว่าง CMTS กับเคเบิลโมเด็มของผู้ใช้บริการ

โดยมีตำแหน่งการวัดค่าตามตำแหน่งและรายละเอียดของค่าพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้

2.6.1 ค่าพารามิเตอร์ที่วัดในเชิงค่ากำลังงาน

- กำลังรับสตรีมขาลง (Downstream Power Receive (DS PWR Rx))

เป็นค่าของกำลังรับสตรีมขาลงที่เคเบิลโมเด็มรับได้ มีหน่วยเป็น dBmV

- กำลังส่งสตรีมขาขึ้น (Upstream Power Transmission (US PWR Tx))

เป็นค่าของกำลังส่งสตรีมขาขึ้นที่เคเบิลโมเด็มส่งย้อนกลับไปยังอุปกรณ์ CMTS มีหน่วยเป็น dBmV

- กำลังรับสตรีมขาขึ้น (Upstream Power Receive (US PWR Rx))

เป็นค่าที่อุปกรณ์ CMTS รับค่ากำลังของสัญญาณที่ถูกส่งมาจากเคเบิลโมเด็ม มีหน่วยเป็น dBmV

ค่าของพารามิเตอร์ที่วัดในเชิงพลังงานที่เกิดจากการรับส่งข้อมูลที่เคเบิลโมเด็มและอุปกรณ์ CMTS จะมีค่าในการรับค่าพลังงานในการส่งข้อมูลทั้งขาเข้าและขาออก โดยเคเบิลโมเด็มจะสามารถทำการรับข้อมูลได้เมื่อมีค่าพลังงานที่เข้ามามีค่าพลังงานต่ำสุดอยู่ที่ -17dBmV และค่าพลังงานสูงสุดที่เคเบิลโมเด็มสามารถทำการรับข้อมูลได้อยู่ที่ +17dBmV โดยค่าดังกล่าวเป็นค่าที่เคเบิลโมเด็มทำงานได้ประสิทธิภาพต่ำมาก และทำให้เคเบิลโมเด็มทำงานหนัก ซึ่งค่าพลังงานอินพุตของเคเบิลโมเด็มจะมีการสร้างเป็นค่าพารามิเตอร์เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลที่เรียกว่า “กำลังรับขาลงของตัวเคเบิลโมเด็ม (DS-PWR)” โดยที่เคเบิลโมเด็มจะทำงานได้ประสิทธิภาพที่เหมาะสมจะมีค่าอยู่ระหว่าง -12dBmV ถึง 15dBmV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนเคเบิลโมเด็มมีค่าพลังงานในการส่งข้อมูลต่ำสุดที่สามารถทำการส่งข้อมูลได้อยู่ที่ -27dBmV และค่าพลังงานสูงสุดที่เคเบิลโมเด็มสามารถทำการส่งข้อมูลได้อยู่ที่ +51dBmV โดยค่าดังกล่าวเป็นค่าที่เคเบิลโมเด็มทำงานได้ประสิทธิภาพต่ำมาก ซึ่งค่าพลังงานดังกล่าวจะอยู่ในฝั่งเอาท์พุตของเคเบิลโมเด็มจะมีการสร้างเป็นค่าพารามิเตอร์เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลที่เรียกว่า “กำลังรับขาขึ้นของตัวเคเบิลโมเด็ม (US-PWR Tx)” โดยที่เคเบิลโมเด็มจะทำงานได้ประสิทธิภาพที่เหมาะสมจะมีค่าอยู่ระหว่าง 35dBmV ถึง 51dBmV

ส่วนการรับค่าพลังงานจากอุปกรณ์ CMTS ที่ส่งมาจากเครือข่าย HFC ซึ่งค่าพลังงานต่ำสุดที่สามารถทำการรับข้อมูลได้อยู่ที่ -4dBmV และค่าพลังงานสูงสุดที่อุปกรณ์ CMTS สามารถทำการรับข้อมูลได้อยู่ที่ +4dBmV โดยค่าดังกล่าวเป็นค่าที่อุปกรณ์ CMTS ทำงานได้ประสิทธิภาพต่ำมาก ซึ่งค่าพลังงานดังกล่าวจะอยู่ในฝั่งอินพุตของอุปกรณ์ CMTS จะมีการสร้างเป็นค่าพารามิเตอร์เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลที่เรียกว่า “กำลังรับขาขึ้นของอุปกรณ์ CMTS (US-PWR Rx)” โดยที่อุปกรณ์ CMTS สามารถทำงานได้ประสิทธิภาพที่เหมาะสมจะมีค่าอยู่ระหว่าง -2dBmV ถึง +2dBmV

2.6.2 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้วัดในเชิงค่ากำลังสัญญาณ

- SNR สตรีมขาลง (Downstream Signal to Noise ratio (DS SNR))
  เป็นค่ากำลังส่งของสัญญาณต่อกำลังของสัญญาณรบกวนซึ่งวัดได้จากตัวเคเบิลโมเด็ม มีหน่วยวัดเป็น dB
- SNR สตรีมขาขึ้น (Upstream Signal to Noise ratio (US SNR))
  เป็นค่ากำลังส่งของสัญญาณต่อกำลังของสัญญาณรบกวนซึ่งวัดได้จากตัวอุปกรณ์ CMTS มีหน่วยวัดเป็น dB

โดยค่าพารามิเตอร์ที่วัดในเชิงค่ากำลังสัญญาณที่เกิดจากการรับส่งข้อมูลที่เคเบิลโมเด็มและอุปกรณ์ CMTS จะมีค่าในการรับค่ากำลังสัญญาณที่เป็นค่าอัตราส่วนของสัญญาณข้อมูลข่าวสารต่อสัญญาณรบกวน (SNR) ซึ่งค่ากำลัง SNR ของสัญญาณที่เคเบิลโมเด็มสามารถทำการรับค่าได้จะมีค่ากำลัง SNR ของสัญญาณต่ำสุดอยู่ที่ 32dB โดยค่าดังกล่าวเป็นค่าที่เคเบิลโมเด็มทำงานได้ประสิทธิภาพต่ำมาก ซึ่งค่ากำลัง SNR ของสัญญาณที่อยู่ในฝั่งอินพุตของเคเบิลโมเด็มจะมีการสร้างเป็นค่าพารามิเตอร์เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลที่เรียกว่า “SNR สตรีมขาลง (DS SNR)” โดยที่เคเบิลโมเด็มสามารถทำงานได้ประสิทธิภาพที่เหมาะสมจะมีค่ามากกว่า 35dB

ค่ากำลัง SNR ของสัญญาณที่อุปกรณ์ CMTS สามารถทำการรับค่าได้จะมีค่ากำลัง SNR ของสัญญาณต่ำสุดอยู่ที่ 27dB โดยค่าดังกล่าวเป็นค่าที่อุปกรณ์ CMTS ทำงานได้ประสิทธิภาพต่ำมาก ซึ่งค่ากำลัง SNR ของสัญญาณที่อยู่ในฝั่งอินพุตของอุปกรณ์ CMTS จะมีการสร้างเป็นค่าพารามิเตอร์เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลที่เรียกว่า “SNR สตรีมขาขึ้น (US SNR)” โดยที่อุปกรณ์ CMTS สามารถทำงานได้ประสิทธิภาพที่เหมาะสมจะมีค่ามากกว่า 31dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้วัดในเชิงค่าอัตราการส่งข้อมูลผิดพลาดแบบโค้ดเวิร์ด

- อัตราความผิดพลาดโค้ดเวิร์ดสตรีมขาขึ้น (Upstream Codeword Error Rate (US CW Error Rate))
- อัตราความผิดพลาดโค้ดเวิร์ดสตรีมขาลง (Downstream Codeword Error Rate (DS CW Error Rate))

เป็นเปอร์เซ็นต์ของจำนวนโค้ดเวิร์ดที่ผิดพลาดในการส่งข้อมูลสตรีมขาขึ้น และ การส่งข้อมูลสตรีมขาลง ตามลำดับ ซึ่งถ้ายิ่งมีค่าที่ต่ำมากๆแสดงว่าการส่งข้อมูลนั้นถูกต้อง โดยค่าของโค้ดเวิร์ดนั้นก็คือค่าของแพ็คเกตของข้อมูลที่จะส่งออกจากต้นทางถึงปลายทาง หรือจากปลายทางถึงต้นทาง โดยจะทำการวัดจาก CMTS และ เคเบิลโมเด็มของผู้ใช้บริการ โดยค่าโค้ดเวิร์ดในฝั่งของอัตราความผิดพลาดโค้ดเวิร์ดสตรีมขาขึ้นนั้น จะมีความสำคัญสูงกว่าอัตราความผิดพลาดโค้ดเวิร์ดสตรีมขาลง เนื่องจากระบบการส่งข้อมูลจากสตรีมขาลงนั้นมีจำนวนความผิดพลาดในการส่งที่น้อยกว่าเมื่อทำการพิจารณาการส่งข้อมูล เพราะเมื่อมีการร้องขอข้อมูลจากเคเบิลโมเด็มของผู้ใช้บริการมายังตัวอุปกรณ์ CMTS การส่งข้อมูลให้แก่ตัวเคเบิลโมเด็มนั้นตัวอุปกรณ์ CMTS จะมีการส่งที่มีประสิทธิภาพในการส่งข้อมูลมากกว่า และเกิดความเสียหายทางข้อมูลน้อยกว่า ในทางตรงกันข้ามเมื่อทำการอัพโหลดไฟล์จากตัวเคเบิลโมเด็มซึ่งมีข้อจำกัดทางพลังงาน และอัตราการส่ง เมื่อข้อมูลที่ส่งส่งมาถึงตัวอุปกรณ์ CMTS ก็อาจจะทำให้เกิดความเสียหายทางข้อมูลที่มากกว่า โดยในการส่งข้อมูลนั้นจะมีอยู่ 3 ลักษณะ คือ

1. ข้อมูลที่ส่งไปแล้วถูกต้องไม่มีความผิดพลาดทางข้อมูล (ทั้งการแปลงบิตข้อมูล การแก้รหัสบิต และการถ่ายโอนของข้อมูลมีความถูกต้องสมบูรณ์) (Good CW or Un-error)
2. ข้อมูลที่ส่งไปแล้วผิดพลาดแต่ระบบในการกู้คืนข้อมูลสามารถแก้ไขได้ (Correctable)
3. ข้อมูลที่ส่งไปแล้วผิดพลาดและระบบในการกู้คืนข้อมูลไม่สามารถแก้ไขข้อมูลนั้นได้ (Uncorrectable)

ซึ่งจากการส่งทั้งสามลักษณะนั้น จะทำการพิจารณาข้อมูลที่ส่งไปแล้วผิดพลาดและระบบในการกู้คืนข้อมูลไม่สามารถแก้ไขข้อมูลนั้นได้ จึงได้เกิดเป็นอัตราความผิดพลาดในการส่งข้อมูลทั้งในฝั่งของสตรีมขาขึ้นและสตรีมขาลง เนื่องจากข้อมูลที่ส่งไปเกิดผิดพลาดและระบบที่การกู้คืนข้อมูลไม่สามารถแก้ไขข้อมูลได้ ดังนั้นหากมีค่าอัตราความผิดพลาดมากย่อมมีปัญหามากในการส่งข้อมูล โดยการคำนวณค่าอัตราความผิดพลาดของข้อมูลที่ส่งนั้นคิดได้ดังรูป 2.24

$$\%\text{Codeword Uncorrectable (\%Codeword Error)} = \frac{\text{Uncorrectable} \times 100}{\text{Good CW+Correctable CW+Uncorrectable CW}}$$

รูปที่ 2.24 การคำนวณค่าอัตราผิดพลาด

ซึ่งอัตราความผิดพลาดโค้ดเวิร์ดสตรีมขาขึ้นถูกสร้างมาเพื่อที่จะทำการพิจารณาอัตราความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการรับข้อมูลของอุปกรณ์ CMTS โดยข้อมูลนั้นถูกส่งมาจากเคเบิลโมเด็ม ค่าที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถพิจารณาได้ว่ามีอัตราความผิดพลาดสูงคือมีค่ามากกว่า 0.0001% และค่าที่สามารถพิจารณาได้ว่ามีอัตราความผิดพลาดต่ำและมีประสิทธิภาพในการส่งข้อมูลที่ดีคือมีค่าน้อยกว่า 0.000003%

ส่วนอัตราความผิดพลาดโค้ดเวิร์ดสตรีมขาลงถูกสร้างมาเพื่อที่จะทำการพิจารณาอัตราความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการรับข้อมูลของเคเบิลโมเด็ม โดยข้อมูลนั้นถูกส่งมาจากอุปกรณ์ CMTS ค่าที่สามารถพิจารณาได้ว่ามีอัตราความผิดพลาดสูงคือมีค่ามากกว่า 0.0001% ซึ่งเป็นค่าเดียวกันกับการพิจารณาอัตราความผิดพลาดโค้ดเวิร์ดสตรีมขาขึ้น และค่าที่สามารถพิจารณาได้ว่ามีอัตราความผิดพลาดต่ำและมีประสิทธิภาพในการส่งข้อมูลที่ดีคือมีค่าน้อยกว่า 0.0000003% (อัตราความผิดพลาดโค้ดเวิร์ดสตรีมขาขึ้นและขาลง สามารถเทียบได้กับค่า BER (Bit Error Rate))

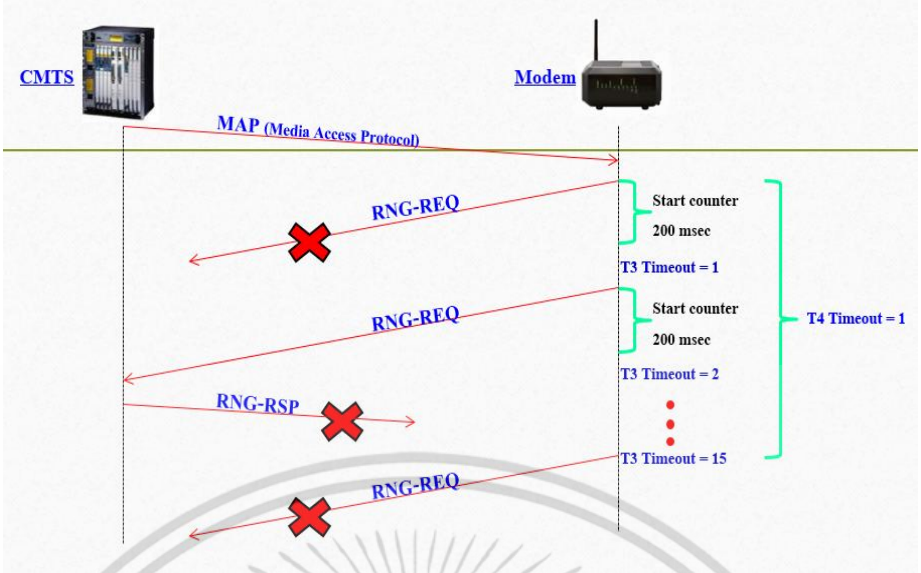
2.6.4 ค่าพารามิเตอร์ที่วัดในเชิงค่าจำนวนครั้งในการหลุดการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ CMTS กับ เคเบิลโมเด็มของผู้ใช้บริการ

- T3ไทม์เอาท์ (T3 Timeout) และ T4ไทม์เอาท์ (T4 Timeout)

ค่าพารามิเตอร์ T3ไทม์เอาท์ และ T4ไทม์เอาท์ คือเวลาในการหลุดการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ CMTS กับเคเบิลโมเด็ม ซึ่งจะทำการส่งข่าวสาร หรือ MAP (Media Access Protocol) [12] จากตัวอุปกรณ์ CMTS ไปยังเคเบิลโมเด็ม เพื่อให้เคเบิลโมเด็มส่งคำร้องขอ (RNG-REQ (Ranging Request)) จากเคเบิลโมเด็มไปยังอุปกรณ์ CMTS (เกิดที่ด้านสตรีมขาขึ้น) หลังจากนั้นอุปกรณ์ CMTS จะส่งผลการตอบสนอง (RNG-RSP (Ranging Response)) ไปยังเคเบิลโมเด็ม (เกิดที่ด้านสตรีมขาลง) หากเกิดการส่งผิดพลาดจะเรียกว่า “ไทม์เอาท์ (Timeout)” หรือการหลุดการเชื่อมต่อ

ในการเกิดค่าพารามิเตอร์ T3 ไทม์เอาท์ จะเกิดจากการที่ตัวเคเบิลโมเด็มขาดการเชื่อมต่อชั่วขณะคือประมาณ 200 มิลลิวินาที แต่สามารถตอบสนองกับคืนกันได้ หากเกิดการขาดการเชื่อมต่อชั่วขณะครบ 15 ครั้งโดยมีความต่อเนื่องกัน เคเบิลโมเด็มจะทำการลงทะเบียนใหม่เป็นการหลุดการเชื่อมต่อ และค่าจำนวนครั้งของการหลุดการเชื่อมต่อจะถูกบันทึกไว้ในค่าพารามิเตอร์ T4 ไทม์เอาท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.25 การส่งคำขอร้องจากอุปกรณ์ CMTS ไปยังเคเบิลโมเด็ม

จากรูปที่ 2.25 แสดงการส่งคำขอร้องจากอุปกรณ์ CMTS ไปยังเคเบิลโมเด็ม โดยเกิดการขาดการเชื่อมต่อชั่วขณะ (T3 ไทม์เอาท์) โดยระยะเวลา 200 มิลลิวินาที เป็นช่วงเวลาในการสื่อสารข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ CMTS กับเคเบิลโมเด็มที่ทำให้เกิดการสื่อสาร และสามารถทำให้ระบบเครือข่ายทำงานได้โดยที่ไม่เกิดสภาวะความล่าช้า (Delay) ระหว่างการสื่อสารข้อมูลในระบบเครือข่าย แต่หากเกิดการขาดการเชื่อมต่อชั่วขณะครบ 15 ครั้งโดยมีความต่อเนื่องกัน ตัวเคเบิลโมเด็มจะบันทึกลงเป็นค่าการหลุดการเชื่อมต่อ (T4 ไทม์เอาท์) 1 ครั้ง ซึ่งหากเกิดการหลุดการเชื่อมต่อเพิ่มมากขึ้น สามารถระบุได้ว่าเคเบิลโมเด็มที่ทำการเชื่อมต่อนั้น อาจจะไม่มีการทำงาน

2.7 สัญญาณรบกวนที่เกิดในระบบเครือข่าย HFC

การเกิดสัญญาณรบกวนส่งผลให้เกิดการความเสียหายต่อการส่งข้อมูล การลดทอนสัญญาณจากสัญญาณรบกวน นำไปสู่การทำงานของระบบที่สูญเสียความสมดุล และการทำงานที่ไม่มีประสิทธิภาพ โดยในระบบ HFC นั้นปัญญาเรื่องสัญญาณรบกวน[5][1] นั้นสามารถแบ่งออกเป็น 3 แบบใหญ่ คือ

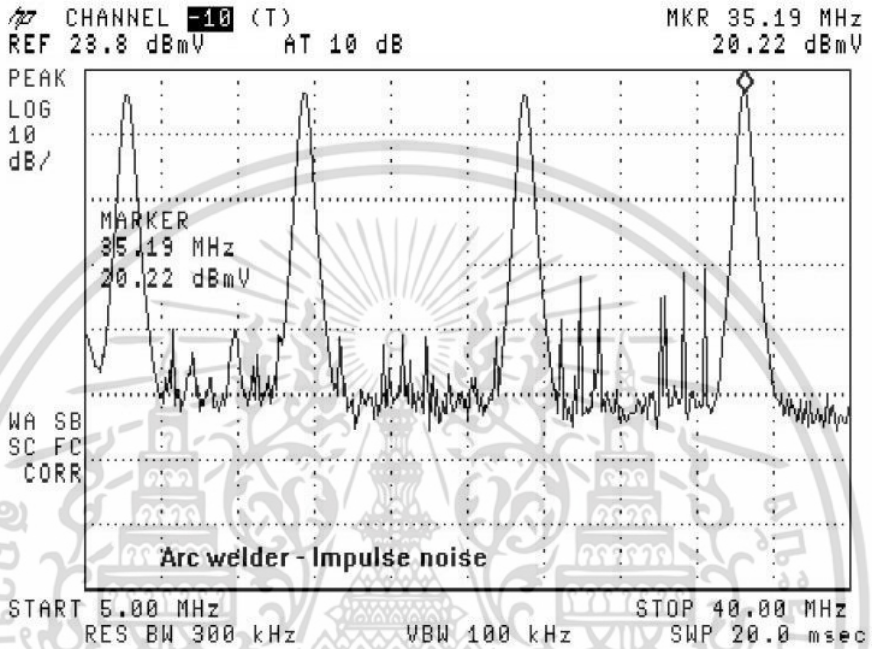
- สัญญาณรบกวนอิมพัล (Impulse Noise)
- สัญญาณรบกวนอินเกรส (Ingress Noise)
- สัญญาณรบกวนที่เกิดจากอุปกรณ์และสายส่ง

2.7.1 สัญญาณรบกวนอิมพัล (Impulse Noise)

สัญญาณรบกวนอิมพัลจำกัดความได้ว่า เป็นสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแทรกสอดเข้าไปในระบบ สัญญาณรบกวนอิมพัลที่เกิดจะมีพัลที่มีระยะเวลาช่วงหนึ่ง เนื่องจากผลกระทบดังกล่าวทำให้สัญญาณรบกวนอิมพัลส่งผลกระทบต่อระบบโดยตรง บางครั้งอาจทำให้เกิดเลเซอร์คริปปิ้ง (Laser Clipping) แต่สัญญาณรบกวนอิมพัลนั้นมักเกิดในระยะเวลาสั้นๆ เนื่องจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นสัญญาณธรรมชาติที่เกิดไม่สม่ำเสมอ ปกติประเภทของสัญญาณรบกวนอิมพัลนี้มาจากอุปกรณ์ที่มีองค์ประกอบรวมกับมอร์เตอร์ เช่น เครื่องเป่าผม, เครื่องดูดฝุ่น, เครื่องผสมผสานไฟฟ้า (Electric Mixers), เครื่องเจาะไฟฟ้าและเครื่องมือที่ใช้กระแสไฟฟ้าสลับขนาดเล็กอื่นๆ ในบางครั้งมอเตอร์ขนาดใหญ่มักมีการเก็บประจุตอนเริ่มต้นการทำงาน การเหนี่ยวนำดังกล่าวอาจจะขัดขวางการทำงานและทำให้เกิดสัญญาณรบกวนที่รุนแรงเมื่อเริ่มการใช้งานระบบเครือข่าย



รูปที่ 2.26 สัญญาณรบกวนที่เกิดจากการเชื่อมอาร์ค (Arc Welder)

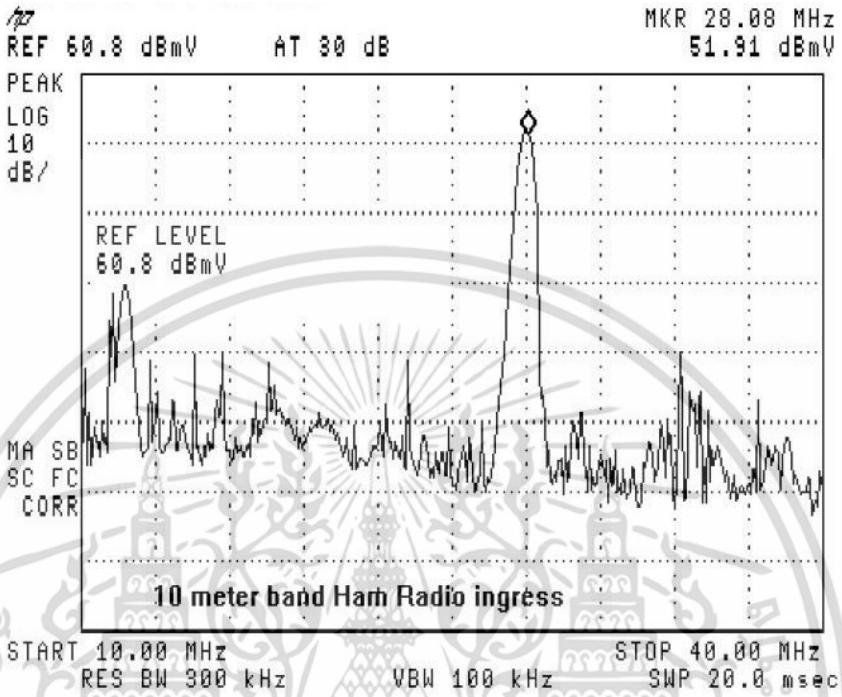
จากรูป 2.26 แสดงสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการเชื่อมอาร์ค เกิดจากเครื่องเชื่อมที่กำลังทำการอาร์คไฟฟ้าระหว่างแท่งอิเล็กโทรดกับชิ้นงานโลหะเพื่อหลอมละลายโลหะ ณ จุดเชื่อม ซึ่งหากยังมีการใช้งานเครือข่ายที่อยู่ใกล้กับการทำการเชื่อมก็จะปรากฏสัญญาณรบกวนนี้ขึ้นในระบบ แต่เมื่อทำการเชื่อมต่อเสร็จสิ้นสัญญาณนี้จะหายไป

2.7.2 สัญญาณรบกวนอินเกรส (Ingress Noise)

สัญญาณรบกวนอินเกรส [10] นิยามได้ว่า เป็นสัญญาณที่เกิดจากการรบกวนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เข้าไปในเครือข่ายสายเคเบิล หรือเครือข่าย HFC โดยสัญญาณรบกวนแบบอินเกรสนี้จะทำให้พลังงานลดลงแต่มีความถี่ของสัญญาณเพิ่มมากขึ้น และจะเกิดขึ้นถาวรซึ่งความช้าหรือเร็วในการเกิดจะขึ้นอยู่กับระยะเวลา โดยแหล่งที่พบการเกิดของสัญญาณรบกวนอินเกรส คือ คลื่นวิทยุระยะสั้น และวิทยุสมัครเล่น ซึ่งค่าความถี่ย้อนกลับนั้นจะอยู่ระหว่าง 5MHz และ 47MHz โดยคลื่นวิทยุสมัครเล่นที่ใช้จะอยู่ที่ความถี่ 7MHz ถึง 7.3MHz, ความถี่ 10.1MHz ถึง 10.15MHz, ความถี่ 14.0MHz ถึง 14.35MHz, ความถี่ 18.068MHz ถึง 18.168MHz, ความถี่ 21.0MHz ถึง 21.45MHz, ความถี่ 24.89MHz ถึง 24.99MHz และความถี่ 28.0MHz ถึง 29.7MHz โดยจะมีค่าพลังงานพีคเอนเวโลป (Peak Envelope Power (PEP)) อยู่ที่ 1500 watts PEP ทุกความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังกล่าวยกเว้นที่ความถี่ 10.1MHz ถึง 10.15MHz ซึ่งจะลิมิตหรือถูกจำกัดไว้ที่ 200 watts PEP แหล่งที่พบมีการรั่วไหลเข้ามาของสัญญาณรบกวนอินเกรสคือ อุปกรณ์ของผู้ใช้บริการ การเชื่อมต่อที่หลวมไม่แน่นสมควร สายเคเบิลที่เสียหาย



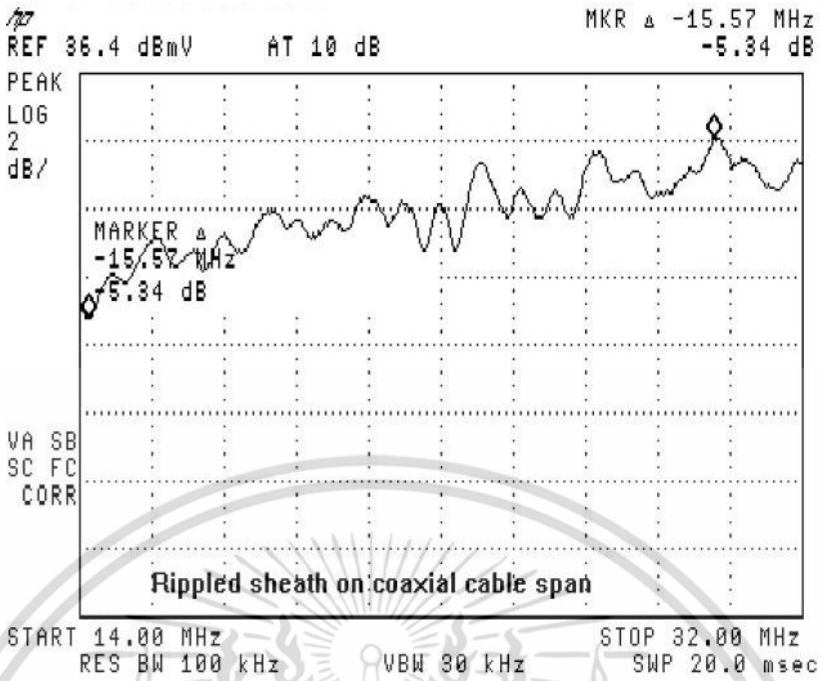
รูปที่ 2.27 สัญญาณรบกวนที่เกิดจากคลื่นวิทยุสมัครเล่นที่ความถี่ 28MHz

จากรูปที่ 2.27 แสดงสัญญาณคลื่นวิทยุสมัครเล่นหรือสัญญาณคลื่นความถี่ระยะสั้นเข้ามารบกวนในระบบ เกิดการรบกวนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เข้าไปในเครือข่าย HFC ทำให้เกิดความเสียหายให้การส่งสัญญาณ การรั่วไหลของสัญญาณคลื่นวิทยุสมัครเล่นจะเกิดการไม่ถอนการติดตั้งของผู้ใช้บริการ ปล่อยสายโคแอคเชียลโดยไม่มีการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์จะเป็นอีกช่องทางที่สัญญาณคลื่นวิทยุสมัครเล่นสามารถเข้ามารบกวนในระบบ

2.7.3 สัญญาณรบกวนที่เกิดจากอุปกรณ์และสายส่ง

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการเกิดสัญญาณรบกวนที่เกิดจากอุปกรณ์และสายส่ง ที่มีความชำรุดหรือเสียหายในขณะที่มีการส่งข้อมูล โดยสัญญาณรบกวนดังกล่าวนั้นจะเกิดขึ้นทันที จากรูปที่ 2.28 แสดงสัญญาณกระเพื่อมที่เกิดขึ้นได้จากการที่สายโคแอคเชียลที่ทำการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ที่ไม่มีการเชื่อมต่อที่สนิทดีเท่าที่ควร เมื่อมีแรงลมมากระทบแรงขึ้นก็จะเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดสัญญาณรบกวนกระเพื่อมที่เกิดจากสายโคแอคเชียล

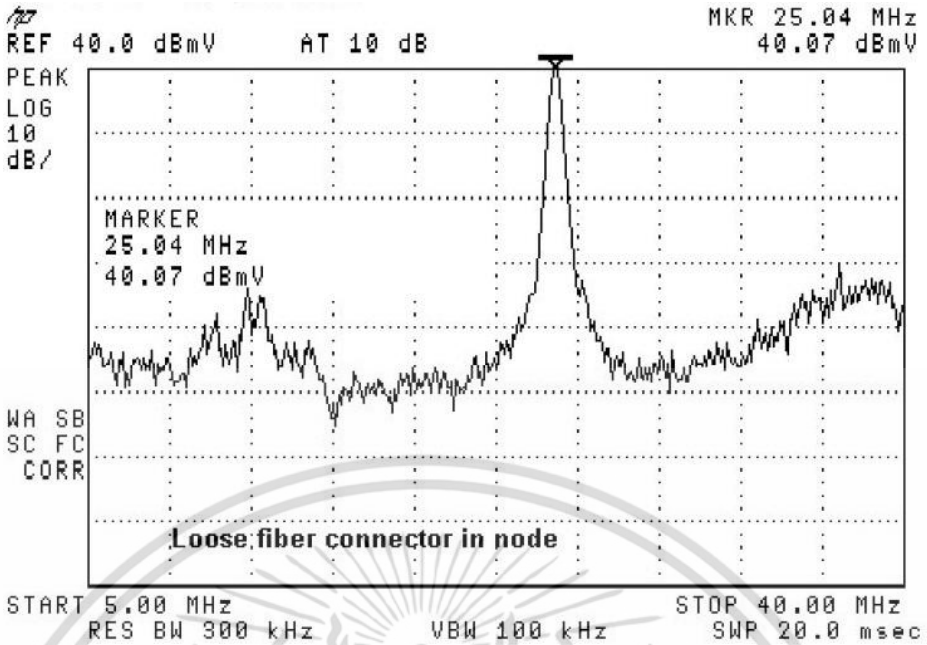
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.28 สัญญาณรบกวนกระเพื่อมที่เกิดจากสายโคแอคเชียล

ซึ่งปัญหาของสัญญาณรบกวนที่รุนแรงคือ การเกิดสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการเชื่อมต่อสายใยแก้วนำแสงที่หลวมในบริเวณอุปกรณ์โหนดทางแสงปัญหา ทำให้เกิดสัญญาณรบกวนที่มีความแรงของสัญญาณค่อนข้างสูง ซึ่งสาเหตุอาจจะเป็นที่ตัวเชื่อมต่อ หรือเป็นที่สายใยแก้วทำแสงที่มีปัญหาชำรุด แก้ไขได้ด้วยการทำการเชื่อมต่อใหม่ หรือทำการเข้าหัวสายใยแก้วนำแสงใหม่ ซึ่งสัญญาณรบกวนที่พบนี้จะมีปัญหาต่อระบบค่อนข้างมาก เพราะเป็นสัญญาณรบกวนที่อยู่ที่อุปกรณ์แปลงสัญญาณ และเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อเพื่อสร้างระบบเครือข่ายในเครือข่ายนั้น หากมีสัญญาณรบกวนเข้ามาในอุปกรณ์โหนดทางแสงแล้วเกิดการขยายที่อุปกรณ์ขยายสัญญาณ สัญญาณรบกวนจะถูกขยายให้มีกำลังมากขึ้นทำให้ระบบเครือข่ายไม่สามารถทำงานได้ โดยสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการเชื่อมต่อที่หลวมในตัวเชื่อมต่อของอุปกรณ์โหนดทางแสงแสดงได้ดังรูปที่ 2.29 ซึ่งแสดงถึงสัญญาณที่มีความแรงมากเกินไป ทำให้เกิดการรบกวนสัญญาณในการส่งข้อมูล อุปกรณ์ทำงานหนักเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีการรับค่าสัญญาณสูงเกินไป อาจนำไปสู่ความเสียหายของอุปกรณ์นั้นในเวลาต่อมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.29 การเชื่อมต่อที่หลวมในตัวเชื่อมต่อของอุปกรณ์โหนดทางแสง

2.8 โปรแกรมพุตตี้ (Putty)

โปรแกรมพุตตี้เป็นโปรแกรมที่นิยมสำหรับบรรดาผู้ดูแลระบบ (System Administrator) ที่เอาไว้ใช้ในการเชื่อมต่อหรือรีโมท จากเครื่องคอมพิวเตอร์เข้าไปยังเครื่องเซิร์ฟเวอร์ ที่ส่วนมากแล้วจะใช้ระบบปฏิบัติการลีนุกซ์ (Linux) ที่ต้องการจะเชื่อมต่อ โปรแกรมนี้ที่ถือกำเนิดตั้งแต่ปี ค.ศ. 1997 จนถึงปัจจุบัน เป็นโปรแกรมที่มีหน้าที่เอาไว้ ใช้ในการรีโมทหรือเชื่อมต่อไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์อีกเครื่องหนึ่ง โดยวิธีการเทลเน็ต (Telnet) หรือ ซีเคียวเชล (Secure Shell (SSH)) จากเครื่องลูก (Client) เข้าไปจัดการพิมพ์คำสั่ง หรือส่งคำสั่ง ไปยังเครื่องแม่ (Server) ด้วยระบบคอมมานด์ไลท์อินเตอร์เฟซ (Command-line Interface) โดยไม่จำเป็นต้องเดินทางไปยังเครื่องแม่โดยตรง โปรแกรมตัวนี้มีขนาดเล็กกระทัดรัดไม่ถึงครึ่ง MB และทำการเชื่อมต่อเข้าไปยังเครื่องแม่ เพียงแค่พิมพ์ชื่อโฮสต์ (Hostname) ซึ่งในที่นี้จะใช้ชื่อโฮสต์คือ “10.50.15.12” และพิมพ์พอร์ตที่ต้องการเชื่อมต่อ (Port) ซึ่งโดยส่วนใหญ่ค่าปกติคือ 23 ซึ่งก็จะใส่รอเอาไว้ให้แล้ว และทำการเลือกการเชื่อมต่อเป็นแบบเทลเน็ต ซึ่งจะกล่าวถึงลักษณะการทำงานของตัวโปรแกรมโดยละเอียดดังต่อไปนี้

2.8.1 การทำงานของโปรแกรมพุตตี้

โปรแกรมพุตตี้เป็นโปรแกรมลูกข่ายที่ใช้เชื่อมต่อไปยังเครื่องผู้ให้บริการผ่านโปรโตคอลเพื่อให้ผู้ใช้สามารถลอคอินเพื่อใช้ทรัพยากรต่างๆ ของเครื่องผู้ให้บริการจากระยะไกลได้ กระบวนการการเข้าใช้ทรัพยากรระยะไกลทำได้ด้วยกัน 3 ทาง ได้แก่

2.8.1.1 ซีเคียวเชล (SSH (Secure Shell, RFC 4250-4256))

เป็นโปรโตคอลการเชื่อมต่อที่มีความปลอดภัยมากกว่าอาร์ล็อคอิน (Rlogin) หรือเทลเน็ต การยืนยันตัวตน (Authentication) มีความปลอดภัยมากขึ้นเนื่องจากมีการเข้ารหัสที่เรียกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

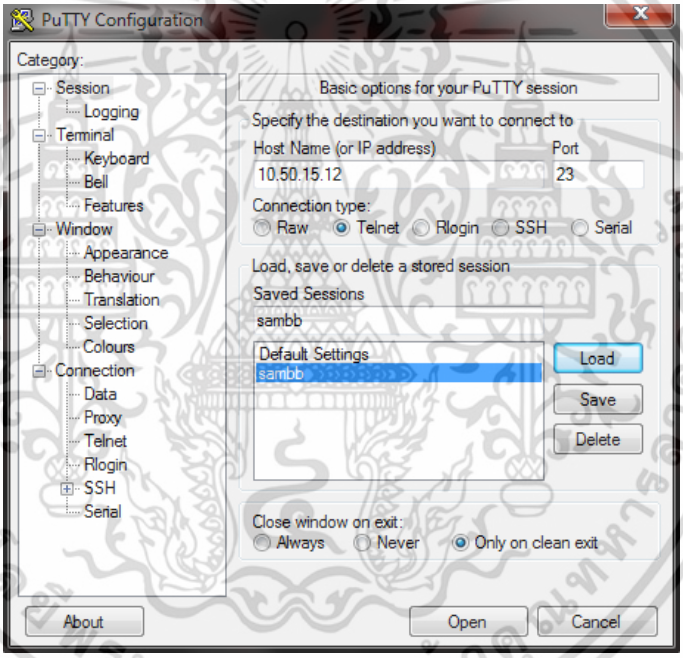
“การเข้ารหัสคีย์สาธารณะ (Public key cryptography)” พร้อมทั้งยังสนับสนุนการทำงานอื่นๆ เช่น Tunneling, TCP port forwarding และ X11 Connection และสามารถโอนย้ายแฟ้มต่างๆ โดยใช้งานร่วมกับโปรโตคอล SFTP และ SCP ได้

2.8.1.2 อาร์ล็อคอิน (Rlogin (RFC 1282))

เป็นโปรโตคอลเชื่อมต่อที่ไม่มีการเข้ารหัสข้อมูล โดยใช้งานผ่านพอร์ต 513 และสามารถทำการล็อคอินโดยไม่ต้องใส่รหัสผ่านได้

2.8.1.3 เทลเน็ต (Telnet (RFC 854))

ไม่มีการเข้ารหัสข้อมูลเช่นเดียวกันกับอาร์ล็อคอิน แต่ใช้งานบนพอร์ต 23 แต่การล็อคอินต้องมีการใส่ชื่อผู้ใช้และรหัสผ่าน



รูปที่ 2.30 หน้าจอของโปรแกรมพุตตี้

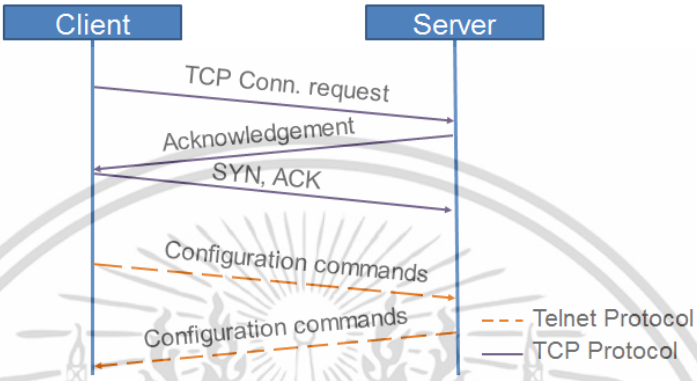
จากรูปที่ 2.30 แสดงให้เห็นถึงการหน้าจอของโปรแกรมก่อนที่จะทำการเชื่อมต่อเข้าไปยังเครื่องแม่ โดยมีชื่อโฮสต์คือ “10.50.15.12” ใช้ชนิดการเชื่อมต่อเป็นแบบเทลเน็ต พร้อมทั้งมีการเลือกใช้เซสชั่น (Sessions) ดังรูปซึ่งตัวเซสชั่นที่ทำการบันทึกไว้ที่จะทำหน้าที่ในการดึงค่าตามคำสั่งที่ถูกป้อนลงไป โดยมีรายละเอียดในการทำงานในบทต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.2 การส่งผ่านข้อมูลผ่านโปรโตคอลเทลเน็ต (Telnet protocol)

2.8.2.1 การเริ่มต้นการเชื่อมต่อ (Connection Initialization)

ก่อนที่โปรแกรมพุตตี้จะทำการเชื่อมต่อกับเครื่องปลายทาง จะต้องทำทีเวย์แฮนด์เช็ค (3-Way handshaking) เพื่อเปิดการเชื่อมต่อแบบที่มีความน่าเชื่อถือ (Reliable connection) โดยตัวโปรแกรมพุตตี้จะทำการส่งข้อมูลการตั้งค่าการเชื่อมต่อกับเครื่องปลายทาง



รูปที่ 2.31 แผนภาพการส่งข้อมูลในขั้นตอนทีเวย์แฮนด์เช็ค (3-way handshaking) และการส่งค่าองค์ประกอบของการเชื่อมต่อ

จากรูปที่ 2.31 แสดงให้เห็นถึงแผนภาพการส่งข้อมูลในขั้นตอนทีเวย์แฮนด์เช็ค ซึ่งการส่งข้อมูลในขั้นตอนทีเวย์แฮนด์เช็ค เป็นวิธีในการสร้างช่องทางการสื่อสารสำหรับการรับส่งข้อมูลด้วยโพรโทคอล TCP สาเหตุที่เรียกว่าทีเวย์แฮนด์เช็ค เนื่องจากกระบวนการทำงานนั้นจะใช้ 3 ขั้นตอนในการทำงานคือ เริ่มต้นเครื่อง Client ส่งแพ็คเกต SYN (Synchronize) เพื่อขอเชื่อมต่อไปยังเครื่อง Server เมื่อพิจารณาจากรูปจะพบการส่งดังกล่าวก่อนการส่ง ACK (Acknowledgment) หลังจากนั้นเครื่อง Server ส่งแพ็คเกต SYN/ACK ตอบกลับเครื่อง Client โดยจากรูปจะเป็นในส่วนของการส่ง ACK และขั้นตอนสุดท้ายเครื่อง Client ตอบกลับเครื่อง Server ด้วยแพ็คเกต ACK หลังจากที่เครื่อง Server ได้รับแพ็คเกต ACK แสดงว่าการเชื่อมต่อเสร็จสมบูรณ์ จากนั้นเครื่อง Server ก็จะเริ่มรับส่งข้อมูลกับเครื่อง Client ได้

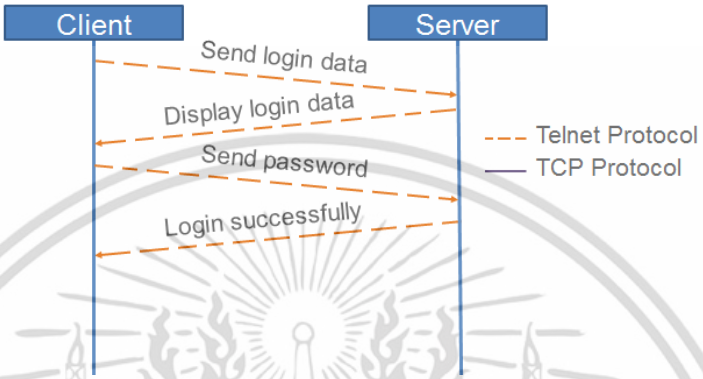
2.8.2.2 การไหลของข้อมูลบนโปรโตคอลเทลเน็ต (Data flow on Telnet protocol)

เครื่องลูกข่ายจะทำการส่งข้อมูลชื่อผู้ใช้ และรหัสผ่านไปยังเครื่องผู้ให้บริการ การส่งข้อมูลจะส่งไปทีละอักขระหลังจากมีการกดแป้นคีย์บอร์ด หลังจากที่กดแป้นพิมพ์เทลเน็ตจะทำการส่งอักขระดังกล่าวไปยังเครื่องผู้ให้บริการ โดยเครื่องผู้ให้บริการ ก็จะส่งอักขระดังกล่าวกลับมาแสดงผลที่หน้าจอของโปรแกรมพุตตี้ การส่งข้อมูลไป-กลับระหว่างสองเครื่องนี้จะมีการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลโดยใช้ ลำดับหมายเลข (Sequence Number) และ การรับทราบของข้อความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

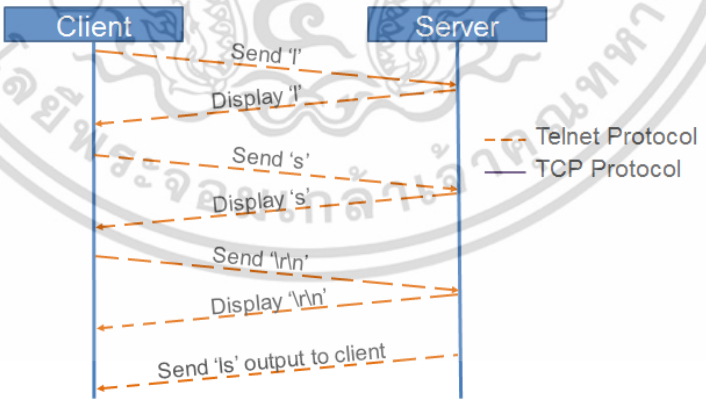
(Acknowledgement) ยกเว้นการส่งข้อมูลรหัสผ่าน ที่จะไม่มีการส่งข้อมูลกลับมาจากเครื่องผู้ให้บริการ

การพิมพ์คำสั่งต่างๆ และการแสดงผลทางหน้าจอจะไม่มีการเข้ารหัสข้อมูลใดๆทั้งสิ้น ข้อมูลจะอยู่ในรูปข้อความธรรมดา (plain-text) สามารถใช้เครื่องมือที่ตรวจจับแพคเก็ตเพื่อดูข้อมูลต่างๆ ได้



รูปที่ 2.32 การส่งข้อมูลในขั้นตอนการล็อคอินเข้าสู่ระบบ

จากรูปที่ 2.32 จะแสดงถึงการส่งข้อมูลในขั้นตอนการล็อคอินเข้าสู่ระบบ โดยเครื่อง Client จะส่งข้อมูลในการล็อกอินไปยังเครื่อง Server หลังจากนั้นจะส่งผลแสดงการเข้าล็อคอินของระบบเพื่อให้ผู้ใช้บริการที่เครื่อง Client ส่งข้อมูลรหัสผ่านของผู้ใช้งบริการไปยังเครื่อง Server เมื่อรหัสผ่านของผู้ใช้งานถูกต้องตามข้อมูลที่ระบุไว้ในระบบ ระบบจะทำการเชื่อมต่อเพื่อใช้งานระบบระหว่างเครื่อง Client กับเครื่อง Server



รูปที่ 2.33 การส่งข้อมูลการส่งคำสั่ง 'ls' ไปยังเครื่องผู้ให้บริการ

จากรูปที่ 2.33 แสดงการส่งคำสั่ง ‘ls’ โดยผู้ใช้บริการเครื่อง Client จะทำการสั่งพิมพ์คำสั่ง ‘ls’ ซึ่งในการทำงานของระบบจะทำการส่งต่ออักษร ‘l’ จากเครื่อง Client ไปยังเครื่อง Server แล้วเครื่อง Server ทำการแสดงผลที่หน้าจอเป็นอักษร ‘l’ ที่เครื่อง Client เมื่อทำการส่งตัวอักษร ‘s’ จากเครื่อง Client ไปยังเครื่อง Server แล้วเครื่อง Server ทำการแสดงผลที่หน้าจอเป็นอักษร ‘s’

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบเดียวกัน เมื่อปรากฏอักษร ‘ls’ บนหน้าจอแล้วทำการกดตกลง (Enter) จะมีการส่งการค้นหาจากการกดตกลงจากเครื่อง Server ไปยังเครื่อง Client พร้อมกับการส่งค่าการทำงานของคำสั่ง ‘ls’ จากเครื่อง Server ไปยังเครื่อง Client ทันที

2.9 ภาษาเอสคิวแอล (SQL Language)

SQL ย่อมาจาก Structured Query Language คือภาษาที่ใช้เขียนโปรแกรม เพื่อจัดการกับฐานข้อมูลโดยเฉพาะ เป็นภาษามาตรฐานบนระบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์และเป็นระบบเปิด (Open System) หมายถึงสามารถใช้คำสั่ง SQL กับฐานข้อมูลชนิดใดก็ได้ และคำสั่งงานเดียวกันเมื่อสั่งงานผ่านระบบฐานข้อมูลที่แตกต่างกันจะได้ผลลัพธ์เหมือนกัน ทำให้เลือกใช้ฐานข้อมูลชนิดใดก็ได้ โดยไม่ยึดติดกับฐานข้อมูลใดข้อมูลหนึ่ง นอกจากนี้แล้ว SQL ยังเป็นภาษาที่ใช้เขียนโปรแกรมฐานข้อมูล ซึ่งมีโครงสร้างทางภาษาที่เข้าใจง่าย ไม่ซับซ้อน มีประสิทธิภาพในการทำงานสูง สามารถทำงานที่ซับซ้อนได้โดยใช้คำสั่งเพียงไม่กี่คำสั่ง จึงเหมาะที่จะใช้กับระบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ และได้มีการแบ่งการทำงานได้เป็น 4 ประเภท ดังนี้

1. Select Query ใช้สำหรับดึงข้อมูลที่ต้องการ
2. Update Query ใช้สำหรับแก้ไขข้อมูล
3. Insert Query ใช้สำหรับการเพิ่มข้อมูล
4. Delete Query ใช้สำหรับลบข้อมูลออกไป

ปัจจุบันมีซอฟแวร์ระบบจัดการฐานข้อมูล (DBMS) ที่สนับสนุนการใช้คำสั่ง SQL เช่น Oracle, DB2, MS-SQL, MS-Access นอกจากนี้ภาษา SQL ถูกนำมาใช้เขียนร่วมกับโปรแกรมภาษาต่างๆ เช่น ภาษา C/C++, Visual Basic และ Java โดยประโยชน์ของภาษา SQL นั้นคือสามารถสร้างตารางและฐานข้อมูลได้ สนับสนุนการจัดการฐานข้อมูล ซึ่งประกอบด้วย การเพิ่ม การปรับปรุง การลบข้อมูล และสนุบสนุนการเรียกใช้หรือค้นหาข้อมูล

ประเภทของคำสั่งภาษา SQL มีดังนี้

1. ภาษานิยามข้อมูล (Data Definition Language: DDL)

เป็นคำสั่งที่ใช้ในการสร้างฐานข้อมูล กำหนดโครงสร้างข้อมูลว่ามี Attribute ใดเป็นชนิดของข้อมูล รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงตาราง และการสร้างดัชนี โดยใช้คำสั่ง CREATE, DROP, ALTER

2. ภาษาจัดการข้อมูล (Data Manipulation Language: DML)

เป็นคำสั่งที่ใช้ในการเรียกใช้ เพิ่ม ลบ และเปลี่ยนแปลงข้อมูลในตาราง โดยใช้คำสั่ง SELECT, INSERT, UPDATE, DELETE

3. ภาษาควบคุมข้อมูล (Data Control Language: DCL)

เป็นคำสั่งที่ใช้ในการกำหนดสิทธิการอนุญาต หรือ ยกเลิก การเข้าถึงฐานข้อมูล เพื่อป้องกันความปลอดภัยของฐานข้อมูล โดยใช้คำสั่ง GRANT, REVOKE

โดยในการทำการเก็บข้อมูลของค่าพารามิเตอร์นั้น ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะทำการใช้โปรแกรม Oracle ที่สนับสนุนในการใช้คำสั่งของภาษา SQL จัดทำเป็นฐานข้อมูลเพื่อตรวจสอบข้อมูลและเก็บ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

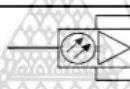
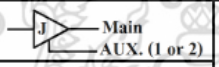
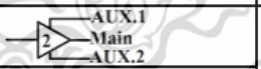
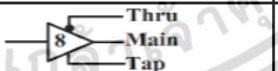
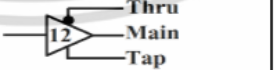
ผลค่าของพารามิเตอร์ ซึ่งค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดจะถูกเก็บไว้ในรูปแบบของค่าเปอร์เซ็นต์โดยจะมีการกล่าวถึงในบทต่อไป

2.10 การคำนวณที่เกี่ยวข้องและการพิจารณารหัสชื่อโหนด

ในการที่จะพิจารณาพลังงานที่จะส่งเข้าไปในตัวอุปกรณ์นั้น อุปกรณ์ที่เป็นอุปกรณ์ขยายจะมีค่ากำลังสัญญาณที่มีค่าคงที่และขยายกำลังออกมามีค่าคงที่เช่นกัน ซึ่งค่าเอาท์พุตที่ออกมาจะมีค่าตามความถี่ที่ใช้งานด้วย โดยจะมีการพิจารณาดังต่อไปนี้

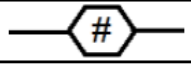
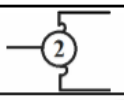
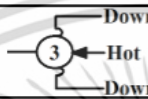
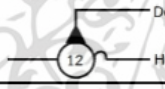
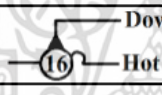
2.10.1 การพิจารณาองค์ประกอบสัญญาณกับอุปกรณ์

ในการส่งสัญญาณผ่านตัวอุปกรณ์นั้นมีตั้งแต่ความถี่ 5MHz จนถึง 1000MHz ซึ่งเป็นย่านที่รวมตั้งแต่สตรีมขาขึ้น ช่องว่างระหว่างสัญญาณของการส่ง และสตรีมขาลง ซึ่งในการพิจารณาความถี่จะทำการพิจารณาในย่านความถี่สูง เนื่องจากการส่งสัญญาณในย่านความถี่สูงนั้น จะทำการส่งข้อมูลสตรีมขาลง ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีความสำคัญในการดาวน์โหลดข้อมูลของผู้ใช้บริการ ซึ่งอุปกรณ์แต่ละตัวจะมีค่ากำลังที่ใช้ในการทำงานดังรูปที่ 2.34

INPUT				SYMBOL	OUTPUT at Frequency (MHz)			
					119.25	543.25	855.25	999.25
0 TO 1 dBm 0.8 TO 1.2 VOLT				 AM-NODE (JUMPER BUILD IN)	42.0 42.0 42.0 42.0	47.0 47.0 47.0 47.0	52.0 52.0 52.0 52.0	54.0 54.0 54.0 54.0
INPUT at Frequency (MHz)								
119	550	862	1002					
9 11	9 11	9 11	9 11	 MINI-BRIDGER (THERMAL JUMPER)	37 36.9	42 41.6	47 46.6	49 48.3
9 11	9 11	9 11	9 11	 MINI-BRIDGER (THERMAL Splitter 2 way)	33.6 37.0 33.0	38.2 42.0 38.2	42.9 47.0 42.9	44.8 49.0 44.8
9 11	9 11	9 11	9 11	 MINI-BRIDGER (THERMAL DC-8)	35.2 37 28.7	39.9 42 33.8	44.8 47 39	46.7 49 41
9 11	9 11	9 11	9 11	 MINI-BRIDGER (THERMAL DC-12)	35.9 37 24.6	40.8 42 30.2	45.6 47 35.3	47.5 49 37.2
INPUT at Frequency (MHz)					OUTPUT at Frequency (MHz)			
119.25	543.25	855.25	999.25		119.25	543.25	855.25	999.25
17	17	17	17	 LINE EXTENDER (THERMAL)	37	42	47	49

รูปที่ 2.34 กำลังส่งที่อุปกรณ์ขยายสัญญาณมีการใช้งานในเครือข่าย HFC ในหน่วย dBmV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INPUT	SYMBOL	OUTPUT at Frequency (MHz)			
		119.25	543.25	855.25	999.25
	2 WAY TAP (NORMAL LEVEL TAP)	11.0	15.0	17.0	18.5
	4 WAY TAP (NORMAL LEVEL TAP)	11.0	15.0	17.0	18.5
	 8 WAY TAP (NORMAL LEVEL TAP)	11.0	15.0	17.0	18.5
	 SPLITTER 2 WAY	4.2 4.2	4.5 4.5	5.7 5.7	5.8 5.8
	 SPLITTER 3 WAY	7.9 4.2 7.9	8.3 4.2 8.3	8.5 5.7 8.5	11 5.8 11
	DIRECTIONAL COUPLER (DC-8)	7.5 1.8	7.8 2.4	8.5 3	9 3.3
	 DIRECTIONAL COUPLER (DC-12)	12.8 1.9	13.2 2.2	13.7 2.4	14.1 3
	 DIRECTIONAL COUPLER (DC-16)	16.5 1.2	16.5 1.6	16.9 2.2	17.3 2.4

รูปที่ 2.35 กำลังส่งที่อุปกรณ์แยกสัญญาณมีการใช้งานในเครือข่าย HFC ในหน่วย dBmV

Number	2 Way					Number	4 Way				
	85 MHz	550 MHz	750 MHz	860 MHz	1002 MHz		85 MHz	550 MHz	750 MHz	860 MHz	1002 MHz
4	T	T	T	T	T	4	-	-	-	-	-
8	3	3.7	4.1	4.1	4.5	8	T	T	T	T	T
11	1.7	2.2	2.6	2.8	3.1	11	3.0	3.7	4.1	4.3	4.9
14	1.1	1.6	2.0	2.4	2.9	14	1.9	2.2	3.3	3.7	3.9
17	1.0	1.1	1.7	1.9	2.2	17	1.3	1.5	2.0	2.4	2.8
20	0.8	1.1	1.5	1.9	2.1	20	1.2	1.2	1.8	2.1	2.4
23	0.6	1.0	1.4	1.7	2.0	23	0.8	1.1	1.6	1.6	2.2

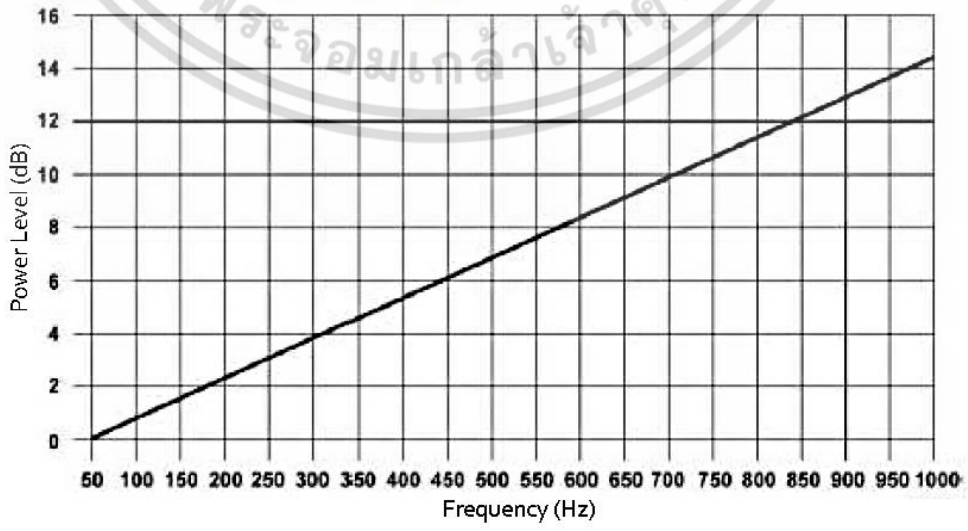
Number	3 Way				
	85 MHz	550 MHz	750 MHz	860 MHz	1002 MHz
4	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-
11	T	T	T	T	T
14	3.7	3.7	5.0	5.3	5.6
17	1.8	2.2	3.1	3.5	3.9
20	1.0	1.5	2.2	2.7	3.2
23	1.2	1.2	1.5	2.3	2.6

รูปที่ 2.36 การสูญเสียการแทรก และแทปการสูญเสียของอุปกรณ์แทปทั้งสามชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.34 จะสังเกตได้ว่าอุปกรณ์ที่ใช้ในการขยายสัญญาณนั้นส่วนใหญ่จะกำหนดให้มีค่าอินพุตที่ส่งก่อนการขยาย มีค่าอยู่ที่ 9dBmV ถึง 11dBmV (ค่าในช่วงดังกล่าวจะเกิดก่อนการขยายสัญญาณภายในอุปกรณ์) ยกเว้นอุปกรณ์ไลแอ็คเทนเดอร์ที่มีค่าอินพุตที่ส่งก่อนการขยาย มีค่าอยู่ที่ 17dBmV เมื่ออุปกรณ์ทำการขยายเสร็จสิ้น ค่ากำลังงานที่ถูกส่งออกมาจะมีค่าตามค่ากำลังสัญญาณตามความถี่ที่ใช้งาน ส่วนอุปกรณ์ที่ใช้แยกสัญญาณหรืออุปกรณ์แทป จะมีค่าการสูญเสียการแทรก (Insertion Loss) และค่าแทปการสูญเสีย (Tap Loss) โดยค่าที่แสดงในรูปที่ 2.36 อุปกรณ์แยกสัญญาณจะเป็นค่าแทปการสูญเสีย โดยค่าแทปการสูญเสียนี้จะมีการใช้งานรวมกับการต่อเข้ากับเคเบิลโมเด็ม โดยจะมีการลดทอนขึ้นอยู่กับตัวเลขที่ปรากฏบนตัวอุปกรณ์แทป กล่าวคือเป็นกำลังงานที่เคเบิลโมเด็มสามารถรับและทำการใช้งานในการรับส่งข้อมูลได้ ส่วนค่าการสูญเสียการแทรกนั้นจะเป็นค่าการลดทอนในตัวอุปกรณ์เมื่อทำการใช้งาน อุปกรณ์จะรับค่าสัญญาณเข้ามาและมีการลดทอนค่ากำลังที่เข้ามานั้น สามารถกล่าวได้ว่าค่าการสูญเสียการแทรก คือ การลดทอนสัญญาณสายหลักและค่าแทปการสูญเสียคือค่าที่เข้าไปในเคเบิลโมเด็ม ซึ่งค่าของการสูญเสียการแทรกของอุปกรณ์แทปจะแสดงได้ดังรูปข้างต้นเช่นกัน ส่วนอุปกรณ์สปริทเตอร์และอุปกรณ์ไดเร็คชั่นเนลคอปเปอร์จะใช้เพียงค่าการสูญเสียการแทรก ซึ่งค่าการลดทอนนั้นจะขึ้นอยู่กับความถี่ของสัญญาณและรูปแบบขาที่ใช้งาน ปรากฏดังในรูปที่ 2.35

สัญญาณที่ทำการส่งนั้นจะมีการพิจารณาการใช้สัญญาณตั้งแต่ 50MHz จนถึง 1000MHz ดังรูปที่ 2.37 เพื่อใช้ในการกำหนดระดับการทำงานที่ความถี่เฉพาะในการทำงานแบบความเอียงเชิงเส้นของสัญญาณ (Linear Tilt) ในทางปฏิบัติ ซึ่งค่าระดับของความเอียงเชิงเส้นของสัญญาณนั้นจะบ่งบอกถึงการทำงานของระบบด้วย โดยผลต่างของความเอียงเชิงเส้นของสัญญาณนั้นจะบ่งบอกถึงส่วนต่างของระดับพลังงานต่อความถี่ที่ใช้ในการส่งสัญญาณผ่านสายโคแอคเชียล เมื่อทำการส่งสัญญาณผ่านสายโคแอคเชียลลักษณะการลดลงของความเอียงเชิงเส้นของสัญญาณนั้น โดยจะมีลักษณะการลดลงทั้งในด้านความถี่ต่ำและความถี่สูง ซึ่งหากลดลงมากถึงระดับหนึ่งจำเป็นจะต้องมีการขยายสัญญาณให้ความเอียงนั้นกลับมาดีเช่นเดิมซึ่งจะกล่าวต่อไป



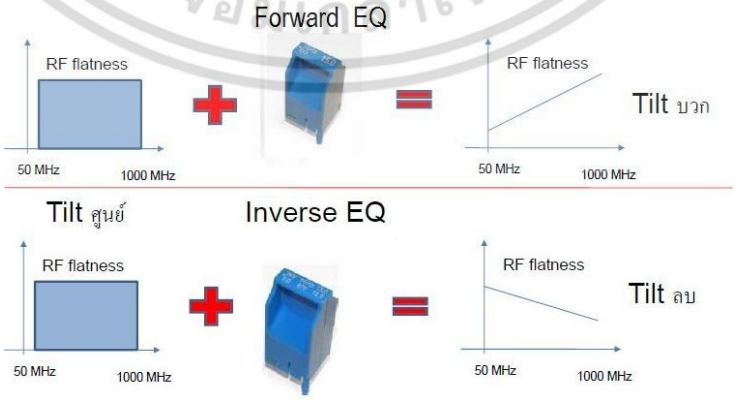
รูปที่ 2.37 ระดับการทำงานที่ความถี่เฉพาะในการทำงานแบบความเอียงเชิงเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.2 ความเอียงเชิงเส้นของสัญญาณกับการพิจารณาการปรับสัญญาณ

ความเอียงเชิงเส้นของสัญญาณ หมายถึง ค่าความชันของกราฟที่เกิดจากการพิจารณาความถี่ของสัญญาณอย่างน้อยสองค่าความถี่ โดยแต่ละค่าคามถี่นั้นจะมีระดับพลังงานที่ใช้ในการทำงาน ซึ่งจะพิจารณาลักษณะความแตกต่างของสัญญาณสองความถี่นั้นแล้วลากเส้นจากสองสัญญาณนั้นเข้าหากันเพื่อให้เกิดความเอียงที่เป็นเชิงเส้นของสัญญาณ สาเหตุที่ต้องทำการพิจารณาความเอียงเชิงเส้นของสัญญาณ เพราะในการทำงานของอุปกรณ์ในเครือข่ายนั้นจะมีระดับพลังงานที่ใช้ในการรับ-ส่งข้อมูล โดยความเอียงเชิงเส้นของสัญญาณนั้นจะมีความชันเป็นบวกจึงจะสามารถทำการส่งในระบบเครือข่าย เมื่อส่งสัญญาณไปตามสายโคแอคเชียล ค่าความเอียงเชิงเส้นของสัญญาณจะมีค่าลดลง เนื่องจากเกิดค่าการลดทอนภายในสายหรือสัญญาณรบกวน แต่อย่างไรก็ตามหากมีการส่งสัญญาณผ่านเข้าไปในอุปกรณ์ขยายสัญญาณ จะต้องมีการปรับสัญญาณให้มีค่าระดับพลังงานตามค่าที่อุปกรณ์ขยายสัญญาณจะรับได้ โดยจะมีการปรับค่าความเอียงเชิงเส้นของสัญญาณลดลงจนเป็น 0 เพื่อให้อุปกรณ์ขยายสัญญาณสามารถที่จะทำการขยายสัญญาณได้ ในกรณีที่ความเอียงเชิงเส้นมีความเอียงเป็นลบนั้นจะเกิดจากสาเหตุที่สัญญาณในส่วนของความถี่ต่ำเกิดมีค่าระดับพลังงานมากกว่าในฝั่งของความถี่สูง อันเกิดเนื่องมาจากการใช้อุปกรณ์ที่ผิดรูปแบบ หรือการปรับสัญญาณที่ไม่มีประสิทธิภาพ

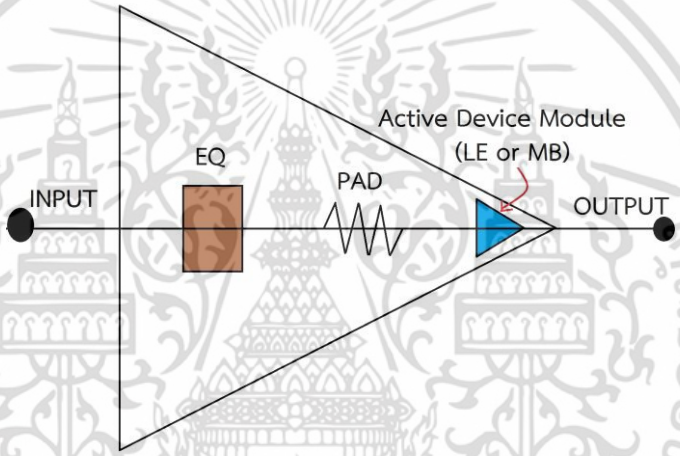
การปรับความเอียงเชิงเส้นของสัญญาณนั้นจะเกิดจาการที่ระดับพลังงานในการส่งนั้นไม่มีความสมดุล หรือมีการทำงานของระบบเครือข่ายที่ผิดพลาดซึ่งทำให้ประสิทธิภาพของระบบนั้นไม่มีประสิทธิภาพการทำงานที่ดีเท่าที่ควร การปรับค่าสมดุลของสัญญาณดังกล่าวนั้นจะเกิดขึ้นภายในอุปกรณ์ขยายสัญญาณ ซึ่งอุปกรณ์ที่มีผลในการปรับสัญญาณนั้น คือ อุปกรณ์อีควอไลเซอร์ (Equalizer) และอุปกรณ์แพด (PAD) โดยอุปกรณ์ทั้งสองตัวมีหน้าที่ในการปรับสัญญาณและลดทอนสัญญาณเพื่อทำให้เกิดความเอียงเชิงเส้นของสัญญาณมีค่าเป็น 0 และมีค่ากำลังงานค่าตามที่อุปกรณ์ขยายสัญญาณต้องการก่อนการขยายสัญญาณ เพื่อให้ระดับพลังงานที่ออกมาเป็นไปตามค่าพลังงานที่อุปกรณ์สามารถสร้างออกมาได้ โดยในรูปที่ 2.38 แสดงถึงอุปกรณ์อีควอไลเซอร์และการทำให้เกิดความเอียงเชิงเส้น ซึ่ง Cable EQ นั้นปัจจุบันไม่ค่อยมีการใช้งาน



รูปที่ 2.38 อุปกรณ์อีควอไลเซอร์และการทำให้เกิดความเอียงเชิงเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อสัญญาณที่ผ่านสายโคแอคเชียลมีกำลังสัญญาณที่ต่ำ เมื่อทำการพิจารณาจะต้องมีการขยายสัญญาณ โดยสัญญาณที่เข้ามาภายในอุปกรณ์ขยายสัญญาณจะมีการผ่านตัวอุปกรณ์อีควอไลเซอร์ก่อน เพื่อทำการปรับความเอียงเชิงเส้นของสัญญาณให้มีค่าความเอียงลดลงในระดับหนึ่ง แล้วจึงใช้อุปกรณ์แพดในการลดทอนสัญญาณ เพื่อทำให้เกิดความเอียงเชิงเส้นของสัญญาณมีค่าเป็น 0 หรือมีระดับค่าพลังงานในฝั่งของความถี่สูงและความถี่ต่ำที่มีค่าประมาณใกล้เคียงกัน โดยจะมีค่าระดับพลังงานตามที่อุปกรณ์ขยายสัญญาณต้องการก่อนการขยายสัญญาณ ยกตัวอย่างเช่น อุปกรณ์มินิบริดเจอร์ที่ต้องการกำลังของสัญญาณก่อนการขยายที่มีค่าอยู่ที่ช่วง 9dBmV ถึง 11dBmV ถึงจะสามารถขยายสัญญาณออกมาเป็นค่ากำลังงานตามความถี่ดังรูปที่ 2.34 ได้ ซึ่งการทำงานภายในของวงจรขยายสัญญาณนั้นจะมีพอร์ตที่ใช้ในการต่อสัญญาณอินพุตและสัญญาณเอาพุตในแต่ละส่วน โดยสามาถพิจารณาได้ตามรูปที่ 2.39



รูปที่ 2.39 การทำงานภายในของวงจรขยายสัญญาณ

อุปกรณ์อีควอไลเซอร์ที่ใช้ในการลดหรือเพิ่มความเอียงเชิงเส้นจะแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ อุปกรณ์อีควอไลเซอร์แบบไปข้างหน้า (Forward Equalizer) และอุปกรณ์อีควอไลเซอร์แบบผกผัน (Inverse Equalizer) โดยอุปกรณ์อีควอไลเซอร์แบบไปข้างหน้านั้นจะมีการลดทอนที่ความถี่สูงมากกว่าความถี่ต่ำ และในทำนองเดียวกันอุปกรณ์อีควอไลเซอร์แบบผกผันก็จะมีการลดทอนที่ความถี่ต่ำมากกว่าความถี่สูง จึงสามารถกล่าวได้ว่าอุปกรณ์อีควอไลเซอร์เป็นอุปกรณ์ที่มีไว้เพื่อปรับสมดุลของความเอียงเชิงเส้นของสัญญาณให้เป็น 0 เพื่อให้อุปกรณ์ขยายสัญญาณนั้นทำงานได้ โดยมีข้อมูลการลดทอนของอุปกรณ์อีควอไลเซอร์แบบไปข้างหน้า และอุปกรณ์อีควอไลเซอร์แบบผกผันดังรูปที่ 2.40 และ 2.41 ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการลดทอนกำลังสัญญาณเพื่อให้สัญญาณที่จะทำการขยายนั้นอยู่ในช่วง 9dBmV ถึง 11dBmV จึงจะสามารถทำการใช้งานได้ โดยอุปกรณ์ที่ทำการลดทอนสัญญาณภายในตัวอุปกรณ์ที่ทำการขยายสัญญาณนั้นก็คือ อุปกรณ์แพด (PAD) โดยมีข้อมูลการลดทอนของอุปกรณ์แพด ดังรูปที่ 2.42 ซึ่งอุปกรณ์ทั้งสองตัวนี้จะมีความเกี่ยวเนื่องในการทำการลดสัญญาณรบกวน เพื่อให้สัญญาณนั้นกลับมาทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Forward Cable Equalizers - 1002 MHz (blue cover)

EQ Value (dB)	Part Number	Typical insertion Loss (dB) at Various Frequencies (MHz)								
		52	70	86	550	600	650	750	870	1002
0	4007228	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.5	4007229	2.2	2.2	2.1	1.4	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0
3.0	4007230	3.4	3.3	3.2	1.9	1.8	1.7	1.5	1.2	1.0
4.5	4007231	4.6	4.4	4.3	2.3	2.1	2.0	1.7	1.4	1.0
6.0	4007232	5.8	5.6	5.4	2.7	2.5	2.3	1.9	1.5	1.0
7.5	4007233	7.0	6.7	5.5	3.2	2.9	2.6	2.1	1.6	1.0
9.0	4007234	8.2	7.9	7.7	3.6	3.3	3.0	2.4	1.7	1.0
10.5	4007235	9.4	9.0	8.8	4.0	3.7	3.3	2.5	1.8	1.0
12.0	4007236	10.6	10.2	9.9	4.5	4.0	3.6	2.8	1.9	1.0
13.5	4007237	11.8	11.3	11.0	4.9	4.4	3.9	3.1	2.0	1.0
15.0	4007238	13.0	12.5	12.1	5.3	4.8	4.3	3.3	2.2	1.0
16.5	4007239	14.2	13.6	13.2	5.8	5.2	4.6	3.5	2.3	1.0
18.0	4007240	15.4	14.8	14.3	6.2	5.5	4.9	3.7	2.4	1.0
19.5	4007241	16.6	15.9	15.4	6.6	5.9	5.3	4.0	2.5	1.0
21.0	4007242	17.8	17.1	16.5	7.1	6.3	5.6	4.2	2.6	1.0
22.5	4007243	19.5	18.7	18.1	8.0	7.2	6.4	4.9	3.2	1.5
24.0	4007244	20.7	19.9	19.2	8.4	7.6	6.7	5.2	3.4	1.5
25.5	4007245	21.9	21.0	20.3	8.8	7.9	7.1	5.4	3.5	1.5
27.0	4007246	23.1	22.2	21.5	9.3	8.4	7.4	5.6	3.6	1.5
28.5	4007247	24.3	23.3	22.6	9.7	8.7	7.7	5.8	3.7	1.5
30.0	4007248	25.5	24.5	23.7	10.1	9.1	8.0	6.1	3.8	1.5

รูปที่ 2.40 ข้อมูลการลดทอนของอุปกรณ์อีควอไลเซอร์แบบไปข้างหน้า

Inverse Equalizers - 1002 MHz (blue cover)

EQ Value (dB)	Part Number	Typical insertion Loss (dB) at Various Frequencies (MHz)								
		52	70	86	550	600	650	750	870	1002
1.6	4007486	1.0	1.1	1.1	1.8	1.9	1.9	2.1	2.2	2.3
3.3	4007487	1.0	1.1	1.2	2.7	2.8	2.9	3.1	3.3	3.6
4.9	4007488	1.0	1.2	1.3	3.5	3.7	3.8	4.2	4.5	4.9
6.5	4007489	1.0	1.2	1.4	4.3	4.6	4.8	5.2	5.7	6.2
8.1	4007490	1.0	1.3	1.5	5.2	5.4	5.7	6.3	6.9	7.5
9.8	4007491	1.0	1.3	1.6	6.0	6.3	6.7	7.3	8.0	8.8
11.4	4007492	1.0	1.4	1.7	6.8	7.2	7.6	8.4	9.2	10.1
13.0	4007493	1.0	1.4	1.8	7.6	8.1	8.6	9.4	10.4	11.4
14.6	4007494	1.0	1.5	1.9	8.5	9.0	9.5	10.5	11.6	12.7
16.2	4007495	1.0	1.5	2.0	9.3	9.9	10.4	11.5	12.7	14.0

Inverse Equalizers 750 & 870 MHz (yellow cover)

Inverse EQ Value (dB) 870	Inverse EQ Value (dB) 750	Part Number	Typical insertion Loss (dB) at Various Frequencies (MHz)							
			52	70	86	550	600	650	750	870
1.5	1.4	589325	1.0	1.1	1.1	1.8	1.9	1.9	2.1	2.2
3.0	2.9	589326	1.0	1.1	1.2	2.7	2.8	2.9	3.1	3.3
4.5	4.2	589327	1.0	1.2	1.3	3.5	3.7	3.8	4.2	4.5
6.0	5.5	589328	1.0	1.2	1.4	4.3	4.6	4.8	5.2	6.7
7.5	6.9	589329	1.0	1.3	1.5	5.2	5.4	5.7	6.3	6.9
9.0	8.4	589330	1.0	1.3	1.6	6.0	6.3	6.7	7.3	8.0
10.5	9.8	589331	1.0	1.4	1.7	6.8	7.2	7.6	8.4	9.2
12.0	11.1	589332	1.0	1.4	1.8	7.6	8.1	8.6	9.4	10.4
13.5	12.6	589333	1.0	1.5	1.9	8.5	9.0	9.5	10.5	11.6
15.0	13.6	589334	1.0	1.5	2.0	9.3	9.9	10.4	11.5	12.7

รูปที่ 2.41 ข้อมูลการลดทอนของอุปกรณ์อีควอไลเซอร์แบบผกผัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

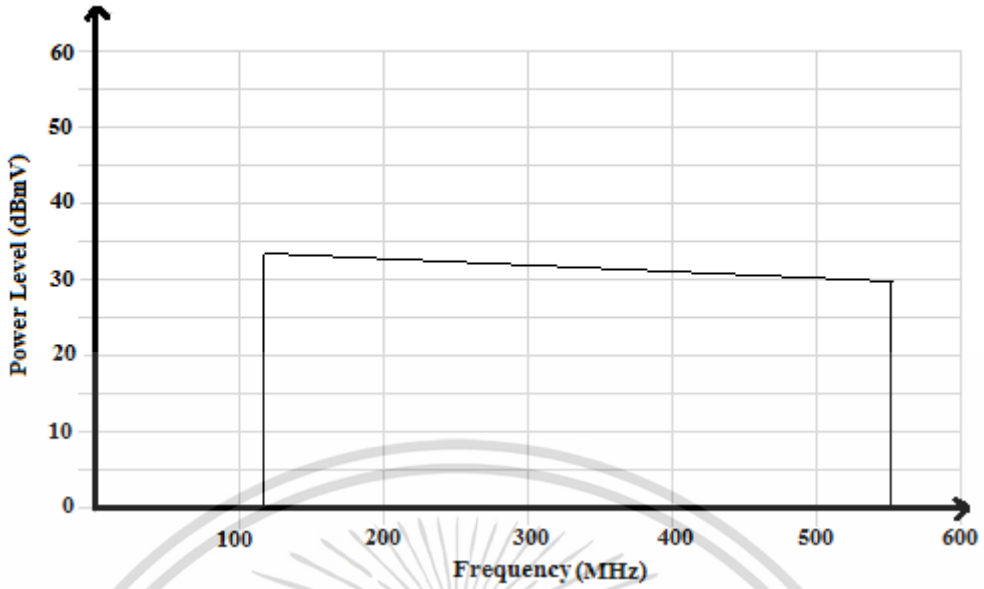
Pads (attenuators)

Pad Value (dB)	Part Number	Pad Value (dB)	Part Number
0	589693	11	589715
1	589695	12	589717
2	589697	13	589719
3	589699	14	589721
4	589701	15	589723
5	589703	16	589725
6	589705	17	589727
7	589707	18	589729
8	589709	19	589731
9	589711	20	589733
10	589713		

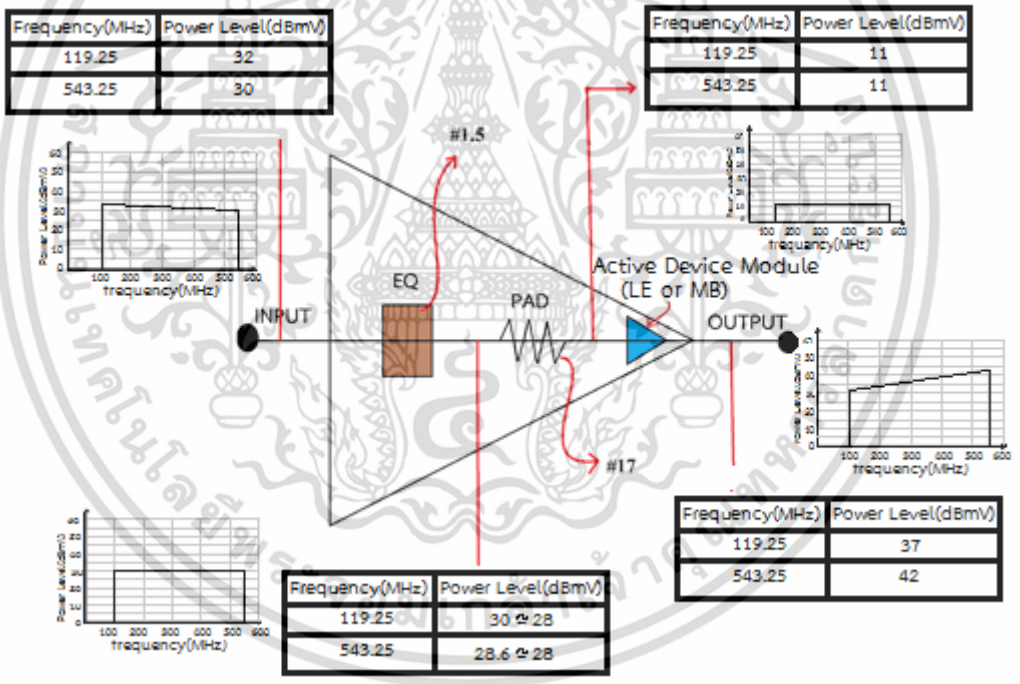
รูปที่ 2.42 ข้อมูลการลดทอนของอุปกรณ์แพด

ตัวอย่างการพิจารณาความเอียงเชิงเส้นของสัญญาณและการขยายสัญญาณภายในอุปกรณ์ขยายสัญญาณมินิบริดเจอร์ เมื่อกำหนดให้สัญญาณอินพุตที่เข้ามาในอุปกรณ์ขยายมีค่าความถี่และค่ากำลังงาน[15][16] เป็นดังต่อไปนี้ 32dBmV ที่ความถี่ 119.25MHz และ 30dBmV ที่ความถี่ 543.25MHz เมื่อนำมาเขียนความเอียงเชิงเส้นของสัญญาณจะได้ดังรูปที่ 2.43 จะเห็นได้ว่าระดับความเอียงเชิงเส้นนั้นแตกต่างกันอยู่ 2dB (32dBmV-30dBmV) ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลที่ทำให้ทราบว่าควรให้อุปรณ์อีควอไลเซอร์ที่มีค่าการลดทอนที่มีค่าไม่เกิน 2dB เนื่องจากหากใช้ค่าการลดทอนที่อุปกรณ์อีควอไลเซอร์มากเกินไปเมื่อทำการลดสัญญาณก่อนเข้าตัวขยาย สัญญาณดังกล่าวจะมีค่าน้อยเกินไป ซึ่งจะทำให้ระบบมีปัญหาเพราะอุปกรณ์ขยายสัญญาณไม่ทำงาน หลังจากที่ทราบว่าควรใช้ค่าการลดทอนของอีควอไลเซอร์แล้ว และทราบความเอียงเชิงเส้นของสัญญาณที่เกิด โดยรูปความเอียงเชิงเส้นของสัญญาณนั้นเป็นลบ จึงจำเป็นต้องใช้อีควอไลเซอร์แบบไปข้างหน้าจากรูปที่ 2.40 จะเห็นว่าค่าในรูปมีเพียงการลดทอนที่ 1.5dB และมีค่าความถี่ที่ใกล้เคียงกับความถี่ที่ใช้ในตัวอย่างคือ 86MHz และ550MHz ซึ่งมีการลดทอนคือ 2.1dB และ 1.4dB ตามลำดับ เมื่อทำการลดทอนที่อุปกรณ์อีควอไลเซอร์แล้วจะเห็นว่าความเอียงเชิงเส้นของสัญญาณมีค่าเท่ากับ 28dBmV โดยประมาณทั้งสองความถี่ ดังนั้นหากจะให้อุปกรณ์ขยายทำงานก็ต้องลดค่ากำลังให้อยู่ในช่วง 9dBmV ถึง 11dBmV จึงจะสามารถทำการใช้งานได้จึงเป็นเหตุผลที่ทำให้ต้องให้แพดที่มีค่าลดทอน 17dB จึงทำให้ค่าก่อนการขยายเป็น 11dBmV จึงทำให้อุปกรณ์ขยายทำงาน ดังนั้นอุปกรณ์ขยายสัญญาณมินิบริดเจอร์จะขยายสัญญาณออกมาเป็นดังต่อไปนี้ 37dBmV ที่ความถี่ 119.25MHz และ 42dBmV ที่ความถี่ 543.25MHz ซึ่งเป็นพอร์ตหลักในการส่งสัญญาณดังรูปที่ 2.45 และจากรูปที่ 2.44 แสดงการวิเคราะห์สัญญาณภายในอุปกรณ์ขยายสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

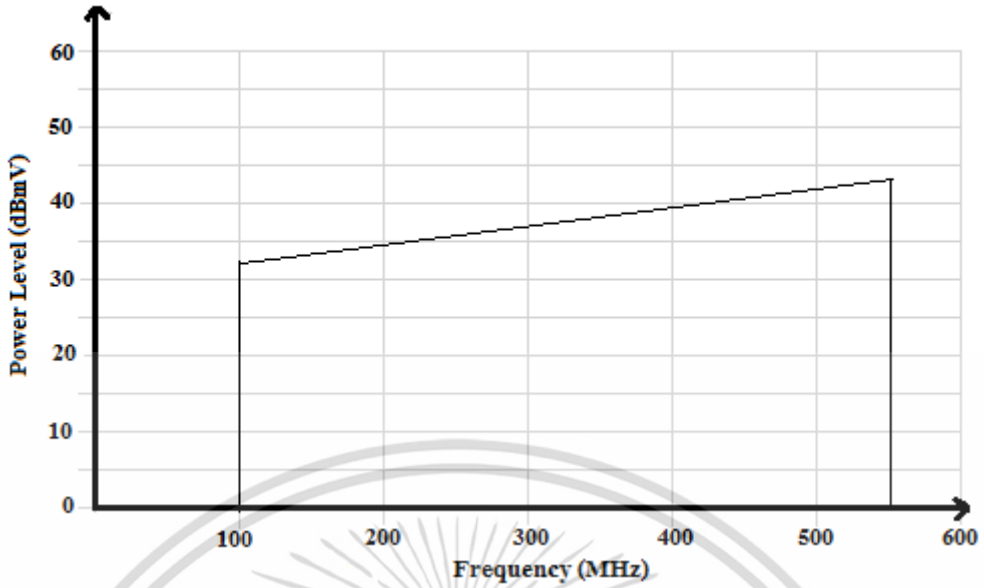


รูปที่ 2.43 ความเอียงเชิงเส้นของสัญญาณอินพุตตัวอย่าง



รูปที่ 2.44 การวิเคราะห์สัญญาณภายในอุปกรณ์ขยายสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.45 ความเอียงเชิงเส้นของสัญญาณเอาท์พุต

2.10.3 การคำนวณกำลังงานทางไฟฟ้าที่เกี่ยวข้อง

จากที่กล่าวมาจะมีการใช้งานของค่ากำลังงานและพลังงานของสัญญาณที่ใช้ในการส่งข้อมูล ซึ่งค่าที่การพิจารณานั้นจะถูกแบ่งเป็นในหน่วยเดซิเบล (dB) กับเดซิเบลมิลลิโวลต์ (dBmV) ซึ่งในหน่วยดังกล่าวจะพิจารณาค่ากำลังสัญญาณ, ค่าการลดทอน และค่า SNR เป็นในหน่วยเดซิเบล เนื่องจากจะคิดเป็นเสมือนการขยายหรือการลดทอนในระบบเครือข่ายเพราะค่าในหน่วยเดซิเบลทำการเทียบจากอัตราส่วนของพลังงานเอาท์พุตส่วนอินพุต ซึ่งในการคำนวณทางไฟฟ้าและการใช้งานระบบเครือข่าย จะมีการใช้งานแรงดันไฟฟ้าที่มีหน่วยเป็น มิลลิโวลต์ (mV) จึงต้องใช้วิธีการคำนวณในเชิงแรงดันไฟ

ในการคำนวณในหน่วย dBmV คือการคำนวณค่าเพื่อใช้สำหรับแรงดันไฟฟ้าของสัญญาณในสายโคแอคเชียล ซึ่งมีมาตรฐานระดับอ้างอิงเท่ากับ 1mV และมีค่าอิมพีแดนซ์ของสายโคแอคเชียลเท่ากับ 75ohm และมีสูตรการคำนวณคือ dBmV = 20log(V/1mV) โดยที่ V มีหน่วยเป็น mV เช่นเดียวกัน ซึ่งในการวัดค่าของสัญญาณนั้นมีค่าเป็นหน่วย dBmV อยู่แล้วในการวัดค่าของสัญญาณในการใช้งานระบบเครือข่าย ดังนั้นเมื่อเกิดการส่งข้อมูลผ่านสายโคแอคเชียลแล้วเกิดการลดทอน ค่าการลดทอนนั้นจึงสามารถหักลบกันได้ทันที เพราะเมื่อค่าของสัญญาณอยู่ในหน่วยของกำลังสัญญาณที่เป็น dBmV เกิดความไม่เท่ากันระหว่างขาเข้าและขาออก ความต่างที่ทำการคำนวณนั้นจะเป็นค่าการลดทอนของอุปกรณ์หรือชิ้นส่วนของระบบนั้นไป จึงทำให้เกิดการอ่านค่าที่สะดวกและง่ายในการอ่านค่า เพราะว่าไม่ต้องมาทำการใช้ล็อกการิธึม (Logarithms) เพียงแค่ใช้การบวกหรือลบกันธรรมดาก็สามารถหาค่าพลังงานที่เหมาะสม หรือการเสริมค่าพลังงานสัญญาณ หรือการลดทอนค่าพลังงานของสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.4 การพิจารณารหัสชื่อโหนด

การพิจารณารหัสชื่อของอุปกรณ์โหนดทางแสงนั้นจะต้องพิจารณาจากการทำงานของอุปกรณ์ CMTS ซึ่งอุปกรณ์ CMTS จะมีการส่งข้อมูลผ่านการ์ดหรือพอร์ตขาที่ใช้ในการส่ง-รับค่าข้อมูลเข้ามาในตัวอุปกรณ์เอง ซึ่งในการส่งข้อมูลนั้นจะมีการใช้อุปกรณ์คอมไบเนอร์ (Combiner) ที่มีหน้าที่ในการรวมสัญญาณที่เข้ามาในขาอินพุตและส่งเรียงกันไปในขาเอาท์พุต (อุปกรณ์ CMTS จะส่งข้อมูลผ่านพอร์ตการ์ดขาส่ง หรือสตรีมขาลง) จากนั้นจะมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการส่งแสงและแยกแสงเรียกว่า สปริตเตอร์ทางแสง (Optical Splitter) แยกสัญญาณตามความยาวคลื่นของแสงที่จะส่งไปจนถึงอุปกรณ์โหนดทางแสงโดยจะมีการระบุเป็นอักษรตัว “L” แล้วตามด้วยเลขที่ออกจากการแยกสัญญาณ เช่น DNM014N01L5 แสดงว่ามีการใช้ค่าความยาวคลื่นที่ออกจากการแยกสัญญาณที่ตำแหน่งความยาวคลื่นอันดับที่ 5 เหตุที่เป็นเช่นนั้นเพราะเมื่อสัญญาณรับค่ากลับคืนจากอุปกรณ์โหนดทางแสง ฝั่งการรับสัญญาณนั้นจะมีการมัลติแพล็กซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น (Wavelength division multiplexing: WDM) และการมัลติแพล็กซ์แบบการแบ่งความหนาแน่นของความยาวคลื่น (Dense Wavelength Division Multiplexing: DWDM) ซึ่งอุปกรณ์ที่มีวิธีการแบบ WDM จะทำให้เกิดการรวมสัญญาณที่มีความยาวคลื่นที่แตกต่างกันแล้วทำการส่งมายังอุปกรณ์ที่มีวิธีการ DWMD เพื่อใช้ในการแยกสัญญาณที่มีจำนวนมาก และไม่ทำให้เกิดปัญหาคอขวดของการส่งสัญญาณข้อมูล ซึ่งอุปกรณ์นี้จะถูกทำงานรวมกับอุปกรณ์รับสัญญาณแสงก่อนที่จะถูกแยกสัญญาณเข้าผ่านพอร์ตการ์ดขารับในตัวอุปกรณ์ CMTS (อุปกรณ์ CMTS จะรับข้อมูลผ่านพอร์ตการ์ดขารับ หรือสตรีมขาขึ้น)

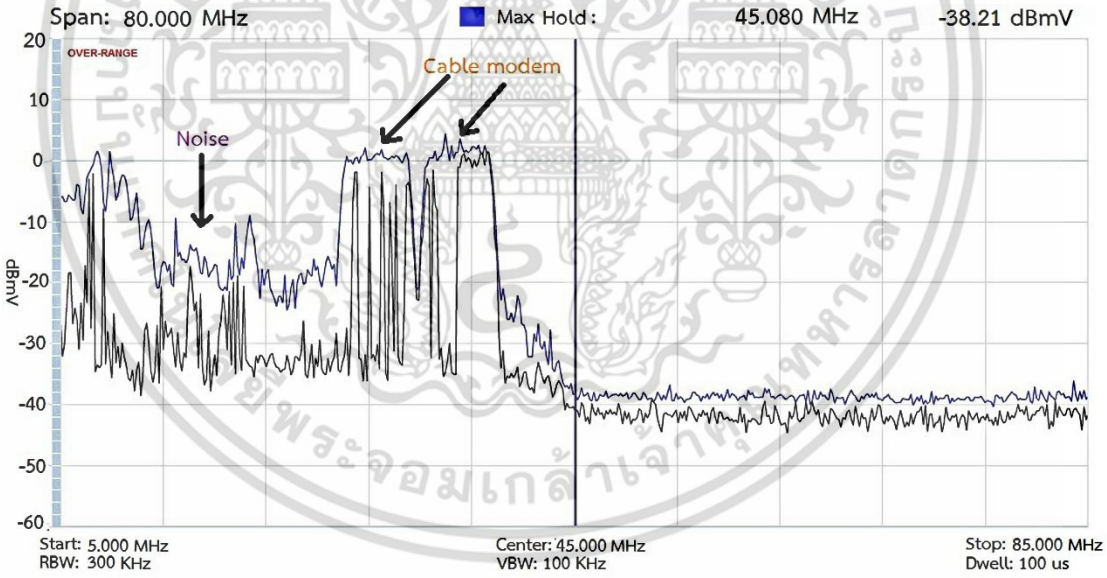
ในการใช้บริการในแต่ละพื้นที่นั้นจะมีความหลากหลายในการใช้ชื่อเป็นอักษรย่อ เพื่อให้สะดวกต่อการอ่าน หรือเมื่อมีการดูข้อมูลจากพื้นที่ที่เกิดปัญหา ก่อนที่จะทำการแก้ไขก็ต้องทราบก่อนว่าพื้นที่ที่จะทำการแก้ไขหรือเป็นที่ต้องการนั้นอยู่ที่ใด โดยพื้นที่ที่ทำการให้บริการนั้นจะมีชื่อในการตั้งเป็นอักษรตัวหน้าทั้งหมด 3 ตัว เช่น BGC หรืออื่นๆเป็นต้น ซึ่งถัดต่อมาจะเป็นชุดเลขอีก 3 ตัว ที่บ่งบอกการใช้งานว่าเป็นชุมสายย่อย (Remote Concentrator Unit: RCU) ที่ตำแหน่งใด ส่วนตัวเลขหลังอักษรตัว “N” เช่น N01 คือ โหนดทางแสงที่ทำงานภายในพื้นที่นั้นเป็นการเรียงลำดับการวางโหนดทางแสงตัวแรก เพราะฉะนั้นการพิจารณาชื่อโหนดทางแสงสามารถอ่านรวมกันได้ดังนี้

ตัวอย่างการอ่านชื่อโหนดทางแสง เช่น BCG005N07L7 หมายความว่า โหนดทางแสงนี้มีการทำงานในเขตพื้นที่ BCG (เขตบางซัน) ที่มีชุมสายย่อยอยู่ที่ BCG005 เป็นโหนดทางแสงตัวที่ 7 จากที่มีในเขตชุมสายย่อยนี้และมีการใช้งานความยาวคลื่นที่มีลำดับการเรียงสัญญาณอยู่ลำดับที่ 7 (ซึ่งค่าความยาวคลื่นที่ทำการเรียงนั้นจะมีการเรียงจาก L1 ถึง L8 เนื่องจากการส่งสัญญาณออกจากตัวพอร์ตการ์ดของสตรีมขาลงมีการใช้ความถี่ 4 ช่วงความถี่ในการใช้งาน แต่มีพอร์ตอินพุตที่เข้าตัวคอมไบเนอร์ 2 ขา ทำให้มีการเรียงความถี่ 8 ค่า และเมื่อมีการส่งมายังตัวส่งทางแสงที่มีการรวมข้อมูลกับสัญญาณโทรทัศน์จึงทำให้เกิดการแบ่งย่านความถี่ออกเป็นค่าความยาวคลื่นในการส่ง เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาในการมัลติแพล็กซ์แบบแบ่งความยาวคลื่นในสตรีมขาขึ้น)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11 การลดสัญญาณรบกวน

การที่จะแสดงให้เห็นถึงการทำงานของระบบที่ดีคือการพิจารณาค่ากำลังของสัญญาณในระบบเครือข่าย โดยการปรับปรุงให้สัญญาณมีคุณภาพที่ดีขึ้นนั้นจะมีการทำงานในการแก้ไขสัญญาณอยู่ 2 วิธี คือ การลดสัญญาณรบกวน และการปรับสัญญาณ เพื่อให้สัญญาณนั้นกลับมามีคุณภาพที่ดี โดยใช้โปรแกรมวัดค่าสัญญาณ JDSU ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้พิจารณาสัญญาณของระบบเครือข่าย ซึ่งอยู่ในรูปของสเปกตรัมสัญญาณ โดยที่ไม่ต้องพกเครื่องมือในการวัดสัญญาณไปด้วย แต่ถึงกระนั้นพนักงานของทางผู้ให้บริการก็ยังจะต้องพกเครื่องมือการวัดสัญญาณนั้นไปด้วยเพื่อเช็คความถูกต้องหรือในกรณีที่เข้าไปแก้ไขในที่ที่เข้าถึงยาก พนักงานของทางผู้ให้บริการจะใช้โปรแกรม JDSU ในการตรวจสภาพกำลังงานของสัญญาณรบกวนที่อาจจะมีผลกระทบกับสัญญาณในการรับ-ส่งข้อมูล ซึ่งรูปแบบที่โปรแกรมวัดค่าสัญญาณ JDSU ตรวจสอบได้จะเป็นค่าวัดจากสัญญาณรบกวนที่เกิดในระบบโครงข่ายหรือเครือข่ายของโหนดนั้นๆ กับสัญญาณของเคเบิลโมเด็มที่เกิดขึ้นในระบบเครือข่าย สัญญาณที่มีคุณภาพที่ดีจะต้องมีสัญญาณรบกวนที่ต่ำ โดยปกติจะถูกตั้งค่าสัญญาณรบกวนที่ต่ำที่สุดหรือระดับพื้นฐาน (สัญญาณรบกวนพื้นฐาน = Ground Noise) อยู่ที่ -40dBmV แต่ถ้าหากเกิดความผิดปกติก็ทำให้สัญญาณรบกวนเพิ่มมากขึ้นจนสังเกตได้จากโปรแกรม ซึ่งโหนดตัวอย่าง LKS010N01L1 มีสัญญาณสเปกตรัมก่อนการแก้ไขเป็นดังรูปที่ 2.46



รูปที่ 2.46 ค่ากำลังสัญญาณที่เกิดจากมีสัญญาณรบกวนมากในเครือข่ายก่อนการแก้ไข โดยการพิจารณาค่าสัญญาณที่โปรแกรม JDSU

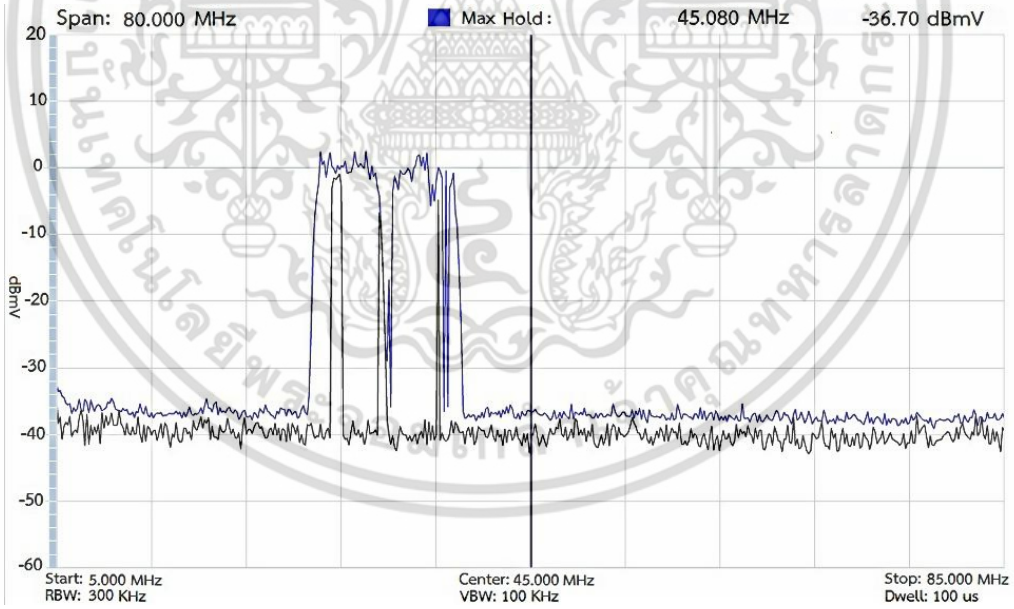
จะเห็นว่ามีสัญญาณรบกวนแรงมากทำให้ สัญญาณของเคเบิลโมเด็มยกตัวและทำงานผิดปกติ จึงเป็นสาเหตุให้ต้องปรับแก้สัญญาณเพื่อให้สัญญาณทั้งหมดกลับสู่สภาวะปกติ และมีคุณภาพการทำงานที่ดี โดยจะทำการแก้ปัญหาสัญญาณรบกวน และการทำสมดุลสัญญาณไปพร้อมกันเพื่อให้การแก้ไขนั้นสามารถทำได้รวดเร็ว ซึ่งในการทำการแก้ไขสัญญาณรบกวนนั้น คือการปลดสายที่ต่อเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับตัวอุปกรณ์ขยายสัญญาณเพื่อดูว่าสัญญาณรบกวนนั้นเข้ามา แล้วทำการตรวจสอบอุปกรณ์ตั้งแต่ตัวอุปกรณ์โหนดทางแสงไป และทำการแก้ที่ละจุด เพื่อให้สัญญาณมีสัญญาณรบกวนที่ต่ำ

ส่วนการปรับสัญญาณนั้นจะเกิดขึ้นเมื่อความแรงของอุปกรณ์ตัวขยายสัญญาณมีกำลังในการส่งสัญญาณสูงเกินไป ก็จะทำให้ระบบมีปัญหาเพราะเมื่อมีความแรงของการขยายมาก สัญญาณที่เข้าไปจะเกิดการขยายรวมไปถึงการขยายสัญญาณรบกวนร่วมด้วย โดยค่ากำลังสัญญาณที่เกิดจากการพิจารณาที่โปรแกรมวัดค่าสัญญาณ JDSU ค่าสเปคตรัมที่เกิดจากการพิจารณาแบบเวลาจริง (Real Time) และค่ากำลังสัญญาณที่ดูนั้นจะเป็นค่าในฝั่งของสตรีมขาขึ้น เนื่องจากในฝั่งของสตรีมขาขึ้นจะถูกสัญญาณรบกวนได้ง่ายกว่าเพราะมีความถี่ที่ทำการใช้งานอยู่ในช่วงความถี่ต่ำ ซึ่งภายใต้การปรับสัญญาณนั้นจะต้องทำการปรับทั้งอุปกรณ์แพดและอุปกรณ์อีควอไลเซอร์ภายในอุปกรณ์ที่มีการทำการขยายสัญญาณ เพื่อให้ค่าความเอียงเชิงเส้นของสัญญาณที่ได้มีค่าความเอียงเป็นบวกหลังจากการขยายของอุปกรณ์ขยายสัญญาณ ในการส่งข้อมูลภายใต้ความถี่ที่ทำการใช้งาน

เมื่อทำการแก้ไขโดยวิธีการทำสมดุลสัญญาณและการแก้ไขสัญญาณรบกวนแล้ว สัญญาณที่มีสัญญาณรบกวนในรูปที่ 2.46 จะถูกกำจัด ซึ่งเมื่อสัญญาณรบกวนถูกกำจัดค่าของพารามิเตอร์ที่เกิดขึ้นใหม่จะปรากฏได้ดังรูปที่ 2.47 เมื่อเสร็จสิ้นการปรับสัญญาณและการลดสัญญาณรบกวนแล้ว ทำให้เกิดสัญญาณของระบบที่กลับมามีความสมดุล และมีประสิทธิภาพในการทำงานที่มีคุณภาพการทำงานที่ดีเหมือนเดิม



รูปที่ 2.47 ค่ากำลังสัญญาณที่เกิดในเครือข่ายหลังการแก้ไข การพิจารณาที่โปรแกรมวัดค่าสัญญาณ JDSU

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการศึกษาแบบจำลองที่นำเสนอ

3.1 กล่าวนำ

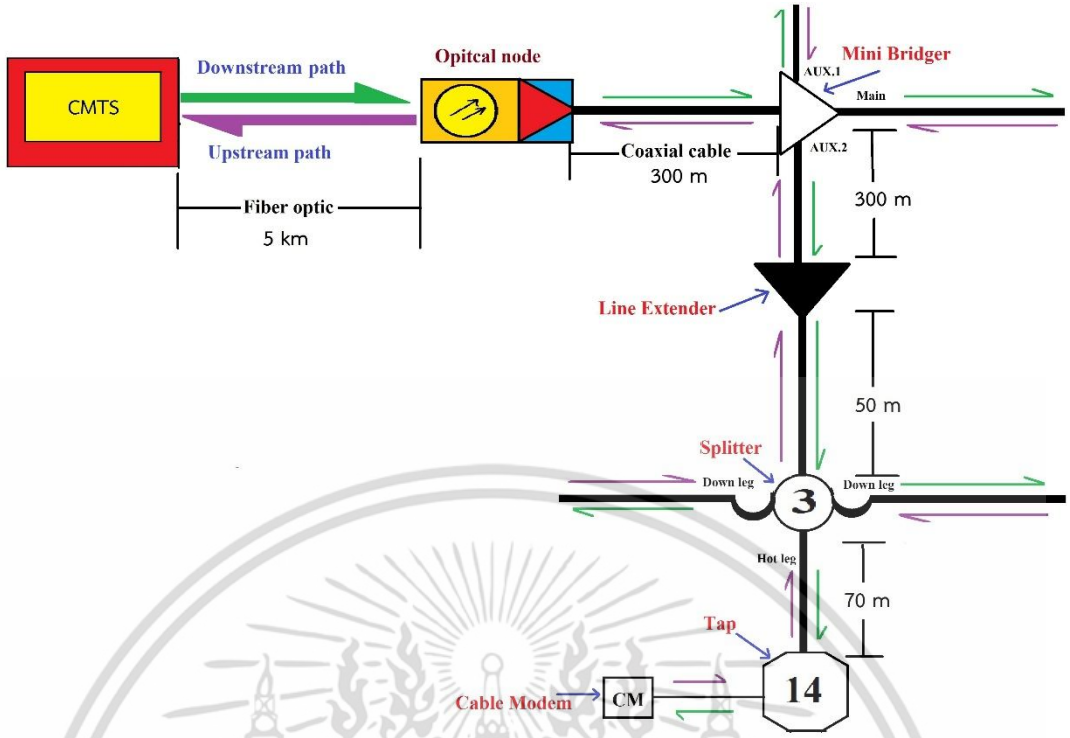
ในบทนี้กล่าวถึงวิธีการศึกษา การเก็บผลข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์คุณภาพบริการของ DOCSIS โดยใช้โปรแกรมพุตตี้ ซึ่งเป็นการเรียกใช้ซอฟแวร์เพื่อดึงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ นำมาพิจารณาและทำการจัดเก็บในรูปแบบของโปรแกรมเอ็คเซลล์ (Excel) ผ่านโปรแกรม Oracle ที่สนับสนุนในการใช้คำสั่งของภาษา SQL เพื่อการเก็บข้อมูลที่เป็นระเบียบและแสดงรูปกราฟที่ช่วยในการวิเคราะห์การทำงานในช่วงเวลาที่ผ่านมา พร้อมทั้งการแก้ไขและปรับปรุงระบบเครือข่ายให้มีประสิทธิภาพในการบริการที่ดีขึ้น

3.2 การจัดการระบบเครือข่ายจำลองเพื่อหาค่าแบ่งช่วงเริ่มต้น

ในบทที่ 2 ได้กล่าวถึงการใช้งานหรือการพิจารณาค่าพารามิเตอร์ที่จะนำมาใช้ในการทำดัชนีเครือข่ายแล้วจัดทำเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ใช้ในการชี้วัดคุณภาพของเครือข่าย ในการวัดค่าต่างๆโดยการใช้โปรแกรมแสดงค่าออกมา ในเบื้องต้นเป็นค่าที่อุปกรณ์นั้นมีลักษณะการทำงานที่ค่าพลังงานหรือค่าความแรงของสัญญาณ การแบ่งช่วงการทำงานโดยจำลองระบบเพื่อใช้หาค่าที่ใช้ในการทำงาน ระบบที่จำลองมีการเชื่อมต่อสายใยแก้วนำแสง จากอุปกรณ์ CMTS เชื่อมไปยังอุปกรณ์โหนดทางแสง เนื่องจากความยาวของสายใยแก้วนำแสงจะมีค่าการลดทอนที่เกิดจากความยาวสายใยแก้วนำแสง, ค่าการลดทอนจากการเข้าหัวสายใยแก้วนำแสง (0.5 dB/connector), ค่าการลดทอนหากสายใยแก้วนำแสงมีการเชื่อมสายหรือการ Splice (0.5 dB/splice) ซึ่งค่าการลดทอนทั้งหมดจะเกิดขึ้นในการส่งสัญญาณแสง ซึ่งจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะทางของสายใยแก้วนำแสง (0.5dB/Km)

สายโคแอคเชียลที่ต่อระหว่างอุปกรณ์มีความยาวมาก จะทำให้สัญญาณที่ใช้ในการส่งข้อมูลมีค่าการลดทอนภายในสายโคแอคเชียลที่มากเพิ่มขึ้น และหากสัญญาณที่ใช้มีความถี่ของสัญญาณที่สูงขึ้น ค่าการลดทอนของสัญญาณก็จะสูงตามไปด้วยซึ่งได้นำเสนอไปในบทที่ 2 โดยแบบจำลองเครือข่าย HFC ที่ใช้ในการศึกษามีรายละเอียดตามรูปที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 ระบบเครือข่าย HFC ที่ใช้ในการศึกษา

แบบจำลองทำการศึกษาที่ความถี่ 550 MHz ถึงความถี่ 1000 MHz ซึ่งเป็นความถี่ที่อยู่ในช่วงความถี่สูง และเกิดการลดทอนภายในสายส่งสูงตามค่าความถี่ที่ใช้งาน สาเหตุที่ใช้ความถี่ 550 MHz ถึงความถี่ 1000 MHz เนื่องจากในการส่งสัญญาณต้องมีการพิจารณาความเอียงเชิงเส้นของสัญญาณดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 เพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณาค่าที่ใช้ในการปรับสัญญาณ การปรับสัญญาณนั้นจะเป็นการปรับค่าของอุปกรณ์อีควอไลเซอร์ (Equalizer) และแพด (PAD) ให้มีความสมดุลในการทำงาน ส่วนใหญ่ที่มีการปรับสัญญาณจะเกิดปัญหาที่แพดที่เปลี่ยน เนื่องจากการใช้อุปกรณ์แพดมีค่าการลดทอนสัญญาณสูงมากเกินไป เมื่อมีการส่งสัญญาณจากอุปกรณ์ CMTS ในย่านความถี่ดังกล่าวไปที่อุปกรณ์โหนดทางแสง อุปกรณ์โหนดทางแสงจะแปลงสัญญาณจากสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า ส่งกำลังออกมาในย่านดังกล่าวคือ 47dBmV และส่งสัญญาณไฟฟ้านั้นผ่านสายโคแอคเชียลที่มีความยาว 300 เมตร (สายโคแอคเชียลมีการลดทอนภายในสายขึ้นอยู่กับความถี่สัญญาณที่ส่ง ต่อความยาว 100 เมตร) แล้วจากนั้นสัญญาณที่นำมาจะถูกนำมาเข้าที่ตัวอุปกรณ์มินิบริดเจอร์ แต่สัญญาณที่เข้ามายังขาอินพุตก่อนการขยายที่เกิดภายในตัวอุปกรณ์นั้นจะต้องมีค่าพลังงาน อยู่ในช่วงตั้งแต่ 9dBmv ถึง 11dBmV ซึ่งค่าก่อนการปรับอุปกรณ์อีควอไลเซอร์และแพดนั้นมีค่าอยู่ที่ 29.09dBmV ที่ความถี่ 550MHz และ 27.84dBmV ที่ความถี่ 1000MHz จะเห็นได้ว่าเมื่อพิจารณาความเอียงของสัญญาณมีค่าระดับความเอียงระหว่างสองความถี่นี้อยู่ที่ 1.25dB ซึ่งความเอียงที่พบนั้นมีค่าความเอียงเป็นลบ จึงต้องทำการปรับสัญญาณให้มีค่าอยู่ในระดับที่เท่ากันเพื่อที่จะทำการขยายภายในตัวอุปกรณ์มินิบริดเจอร์ โดยจะทำการใช้อุปกรณ์อีควอไลเซอร์ที่มีค่า 1.5dB (เลขอุปกรณ์อีควอไลเซอร์ 4007229) ซึ่งจะมีค่าการลดทอนในย่านความถี่สูงและความถี่ต่ำคือ -1.4dB ที่ความถี่ 550MHz และ -1.0dB ที่ความถี่ 1000MHz และใช้อุปกรณ์แพด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่มีการลดทอน 17dB เพื่อปรับสัญญาณ (ค่าภายในจะเกิดการประมาณในการใช้อุปกรณ์แพด ซึ่งตรงจุดนี้หากใช้ค่าแพดที่ผิดเบอร์ หรือผิดค่าการลดทอน ระบบจะทำงานอย่างไม่มีประสิทธิ์ภาพเท่าที่ควร) หลังจากปรับสัญญาณแล้วอุปกรณ์มินิบริดเจอร์จะทำการขยายสัญญาณซึ่งค่าที่ออกจากอุปกรณ์มินิบริดเจอร์จะมีค่าอยู่ที่ 38.2dBmV ที่ความถี่ 550MHz และ 44.8dBmV ที่ความถี่ 1000MHz จากการใช้งานขา AUX.2 ที่แสดงในรูปดังกล่าว (อุปกรณ์มินิบริดเจอร์จะมีค่า ขา AUX.1 และขา AUX.2 ที่มีค่าเท่ากัน แต่ขา Main จะมีค่าพลังงานที่สูงกว่าขา AUX.1 และAUX.2) ในการนำสัญญาณความถี่วิทยุผ่านสายโคแอคเชียลที่มีระยะทาง 300 เมตร มายังอุปกรณ์ไลแอ็คเทนเดอร์ โดยค่าสัญญาณที่รับได้โดยอุปกรณ์ไลแอ็คเทนเดอร์ก่อนทำการขยายนั้นจะมีค่าอยู่ที่ 20.29dBmV ที่ความถี่ 550MHz และ 18.64dBmV ที่ความถี่ 1000MHz ซึ่งก่อนที่อุปกรณ์จะทำการขยายจะต้องทำการปรับสัญญาณภายในอุปกรณ์ไลแอ็คเทนเดอร์ก่อนเช่นเดียวกับอุปกรณ์มินิบริดเจอร์ แต่สมดุลสัญญาณที่อุปกรณ์ไลแอ็คเทนเดอร์จะทำการขยายนั้นจะต้องมีค่าสมดุลอยู่ที่ 17dBmV โดยทำใช้อุปกรณ์อีควอไลเซอร์ที่มีค่า 1.5dB (เลขอุปกรณ์อีควอไลเซอร์ 4007229) ซึ่งจะมีค่าการลดทอนในย่านความถี่สูงและความถี่ต่ำคือ -1.4dB ที่ความถี่ 550MHz และ -1.0dB ที่ความถี่ 1000MHz และใช้แพดที่มีการลดทอน 2dB หลังจากปรับสัญญาณแล้วอุปกรณ์ไลแอ็คเทนเดอร์จะทำการขยายสัญญาณ ซึ่งค่าที่ออกจากอุปกรณ์ไลแอ็คเทนเดอร์จะมีค่าอยู่ที่ 42dBmV ที่ความถี่ 550MHz และ 49dBmV ที่ความถี่ 1000MHz เมื่ออุปกรณ์ทำการขยายเสร็จสิ้นก็จะส่งสัญญาณไปตาม สายโคแอคเชียลอีก 50 เมตร ก่อนเข้าอุปกรณ์สปริทเตอร์ 3 ขา เพื่อแยกสัญญาณซึ่งค่าก่อนที่จะเข้าอุปกรณ์สปริทเตอร์มีค่าอยู่ที่ 39.015dBmV ที่ความถี่ 550MHz และ 44.64dBmV ที่ความถี่ 1000MHz โดยอุปกรณ์สปริทเตอร์จะมีค่าการแยกสัญญาณตามขาและความถี่ที่ใช้งาน อุปกรณ์สปริทเตอร์ 3 ขา จะประกอบด้วยขาดาวน์เลก (Down Leg) 2 ขา และขาฮอตเลก (Hot Leg) 1 ขา ซึ่งขาของอุปกรณ์สปริทเตอร์ที่ใช้งานในรูปจะมีการเชื่อมต่อจากขาฮอตเลกโดยค่าที่เกิดจากการแยกสัญญาณนั้นจะมีค่าอยู่ที่ 34.815dBmV ที่ความถี่ 550MHz และ 38.84dBmV ที่ความถี่ 1000MHz จากนั้นเชื่อมต่อจากขาฮอตเลกไปอีก 70 เมตร เพื่อเข้าไปยังแทปที่มีการลดทอน 14dB ซึ่งตัวเคเบิลโมเด็มที่ต่อจากแทปนี้จะทำงานได้ที่ค่าพลังงานที่ดีในช่วง -12dBmVถึง 15dBmV ซึ่งเป็นค่าที่เคเบิลโมเด็มทำงานได้มีประสิทธิภาพที่ดี โดยในการคำนวณค่าในการวางแผนงานจะให้ความสนใจในการปรับสัญญาณ เนื่องจากหากมีการทำการปรับสัญญาณที่ไม่ดีพอ การพิจารณาความเอียงเชิงเส้นของสัญญาณก็จะผิดเพี้ยน สามารถพิจารณาได้จากค่าความเอียงเชิงเส้นของสัญญาณที่เข้าเคเบิลโมเด็มจะมีความเอียงเป็นลบ

ในการระบุความยาวของระบบเครือข่าย HFC ที่ใช้ในการศึกษา ตัวอย่างเช่นการพิจารณาการใช้ค่าความยาวในตอนแรกคือ 300 เมตร ซึ่งเป็นค่าความยาวของสายโคแอคเชียลจากอุปกรณ์โหนดทางแสงถึงอุปกรณ์มินิบริดเจอร์ซึ่งค่าการลดทอนของสายโคแอคเชียลนั้นจะขึ้นอยู่กับความถี่ที่ใช้ในการส่งยิ่งมีความถี่สูงมากค่าการสูญเสียในสายโคแอคเชียลต่อความยาว 100 เมตร จะยิ่งมีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยค่ากำลังงานที่ส่งจากอุปกรณ์โหนดทางแสงนั้นจะมีค่าคงที่ดังที่กล่าวไปในข้างต้น เมื่อเกิดการสูญเสียในการส่งกำลังงานเกิดขึ้นในสายโคแอคเชียล ค่าที่ต่ำที่สุดในการพิจารณานั้นจะอยู่ที่ตำแหน่งอุปกรณ์มินิบริดเจอร์เนื่องจากค่ากำลังงานของสัญญาณที่จะเข้ามาในอุปกรณ์ขยายนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะต้องผ่านอุปกรณ์ภายในคืออุปกรณ์อีควอไลเซอร์กับอุปกรณ์แพด เพื่อปรับความเอียงเชิงเส้นของสัญญาณก่อนการขยาย โดยอุปกรณ์มินิบริดเจอร์นั้นจะมีค่าความเอียงเชิงเส้นของสัญญาณก่อนการขยายโดยค่าจะคงที่อยู่ระหว่าง 9dBmV ถึง 11dBmV ซึ่งเกินจากค่าในช่วงนี้ไม่ได้ เพราะอุปกรณ์จะไม่ทำงานในการขยายสัญญาณ ดังนั้นในการพิจารณานั้นจึงมีการรวมปัจจัยในการใช้งานของอุปกรณ์อีควอไลเซอร์และอุปกรณ์แพดเข้าไปด้วย ซึ่งลักษณะการทำงานของอุปกรณ์อีควอไลเซอร์และอุปกรณ์แพดนั้นจะมีหน้าที่ในการลดทอนสัญญาณ แต่ต่างกันตรงที่อุปกรณ์อีควอไลเซอร์นั้นจะลดความถี่เพื่อทำให้เกิดความเอียงเชิงเส้นของสัญญาณเป็นศูนย์ และอุปกรณ์แพดจะทำหน้าที่ในการลดทอนสัญญาณเพื่อให้สัญญาญมีค่าอยู่ระหว่าง 9dBmV ถึง 11dBmV เพื่อใช้ในการขยายสัญญาณให้มีค่าออกมาตามการทำงานของอุปกรณ์ ซึ่งอุปกรณ์ไลแอ็คเทนเดอร์ก็จะคำนึงถึงผลของการทำงานในรูปแบบนี้เช่นกัน หากความยาวของสายโคแอคเชียลที่ใช้งานนั้นมีความยาวที่มากจนต้องใช้อุปกรณ์อีควอไลเซอร์ที่มีค่า 1.5dB และมีการใช้อุปกรณ์แพดที่มีค่า 0dB หรือมีค่าการสูญเสียจนอุปกรณ์ขยายไม่สามารถทำการขยายสัญญาณได้ การที่มีการใช้สายโคแอคเชียลในการวางสายยาวมากกว่า 500 เมตร ต่อการเดินสายหนึ่งครั้งหรือหนึ่งจุดการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์กับอุปกรณ์ หรืออุปกรณ์โหนดทางแสงกับอุปกรณ์ขายสัญญาณ การส่งสัญญาณจะเกิดการลดทอนในสายค่อนข้างสูงตามค่าความถี่ที่ถูกใช้งาน

ในการพิจารณาความยาวสายโคแอคเชียลที่ใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ขยายสัญญาณหรืออุปกรณ์อื่นใดกับอุปกรณ์ที่ใช้ในการแยกสัญญาณนั้น จะไม่ได้คำนึงถึงค่ากำลังของสัญญาณที่เข้ามาในอุปกรณ์แต่จะพิจารณาจากการใช้งานในการเชื่อมต่อและการแยกสัญญาณ ซึ่งจะโยงไปถึงการใช้งานของอุปกรณ์อื่นที่นำมาเชื่อมต่อให้ได้เครือข่ายตามแบบแผนที่วางไว้ ซึ่งโดยส่วนใหญ่ในการวางแผนเครือข่ายหรือโครงข่ายนั้นจะมีความยาวไม่ควรเกิน 500 เมตร ในการเชื่อมต่อในจุดหนึ่งจากอุปกรณ์ตัวหนึ่งไปยังอุปกรณ์อีกตัว ตัวอุปกรณ์ที่ใช้ในการแยกสัญญาณโดยส่วนใหญ่จะมีการเชื่อมต่ออยู่ไม่ไกลจากอุปกรณ์ขยายสัญญาณมากนักเพื่อให้สัญญาณที่ทำการแยกสัญญาณนั้นมีระดับกำลังงานที่มีค่าที่สูงในระดับหนึ่ง เพื่อให้มีพลังงานเพียงพอที่จะส่งผ่านสายโคแอคเชียล และทำให้อุปกรณ์ที่เชื่อมต่อภายหลังสามารถทำงานได้ ตามประสิทธิภาพของอุปกรณ์ตัวนั้นจะสามารถทำได้ ไม่ว่าจะเป็นอุปกรณ์มินิบริดเจอร์, อุปรณ์ไลแอ็คเทนเดอร์, อุปกรณ์สปริตรเตอร์ และอุปกรณ์แทป

3.3 การเก็บข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์คุณภาพของเครือข่าย

ในการเก็บข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์คุณภาพของเครือข่าย ตามค่าพารามิเตอร์ทั้ง 9 ที่ได้กล่าวไปโดยจะทำการพิจารณาค่าดังกล่าวจากโปรแกรมพุตตี้ (Putty) โดยส่งคำสั่งไปยังระบบโปรแกรมซึ่งเป็นซอฟแวร์ในอุปกรณ์ CMTS เพื่อให้อุปกรณ์ CMTS ดึงค่าต่างๆตามที่ใส่โปรแกรมลงไปเรียกโปรแกรมดังกล่าวนี้ว่า “แซมบีบี (sambb)” ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่ดึงมานั้นจะถูกดึงมาจากอุปกรณ์ CMTS แบบเวลาจริงหรือในช่วงการทำงานขณะนั้น (Real Time) โดยตัวโปรแกรมพุตตี้ที่ใช้การจะมีโฮสเนม(Host Name) หรือ ไอพีแอดเดรส (IP Address) เป็น 10.50.15.12 ใช้ชนิดการเชื่อมต่อ (Connect type) เป็นแบบเทลเน็ต (Telnet) พอร์ต 23 หลังจากการทำการเชื่อมตัวเสร็จสิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวโปรแกรมจะให้ใส่ชื่ออุปกรณ์ CMTS และยืนยันรหัส หลังจากนั้นก็จะเข้าสู่การดึงค่าแบบเวลาจริงได้ทันที ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่ทำการดึงค่านั้นจะมีค่าดังต่อไปนี้

3.3.1 การวัดค่ากำลังรับสตรีมขาลง (DS PWR Rx) และค่ากำลังส่งขาขึ้น (US PWR Tx)

ค่าที่เหมาะสมคือค่ากำลังรับสตรีมขาลงควรมีค่าอยู่ระหว่าง -12dBmV ถึง +15dBmV (ค่าความเหมาะสม = 0dBmV) และ ค่ากำลังรับสตรีมขาขึ้นควรมีค่าอยู่ระว่าง +35dBmV ถึง +51dBmV เป็นค่าที่ดึงมาจากเคเบิลโมเด็ม ดังรูปที่ 3.2 จะแสดงถึงตัวอย่างเคเบิลโมเด็มที่มี Mac แอดเดรส คือ 80c6.ab78.be32 โดยใช้คำสั่งในโปรแกรมพุตตี้ คือ scm + Mac Address +phy แล้วหน้าจอจะแสดงค่ากำลังรับสตรีมขาลงและค่ากำลังรับสตรีมขาขึ้นตามรูปดังกล่าว

```
PSPPSP07CM0>scm 80c6.ab78.be32 phy
MAC Address     I/F             Sid    USPwr   USMER  Timing  DSPwr   DSMER   Mode     DOCSIS
                                       (dBmV)  (SNR)  Offset  (dBmV)  (SNR)            Prov
                                               (dB)                    (dB)
80c6.ab78.be32  C8/1/2/U0       15     32.00   36.12  1369     16.80   41.40   atdma*   1.1
80c6.ab78.be32  C8/1/2/U0       15     32.50   33.22  1369     16.80   41.40   atdma*   1.1
```

รูปที่ 3.2 ตัวอย่างค่าของเคเบิลโมเด็มที่มี Mac แอดเดรส คือ 80c6.ab78.be32 ซึ่งกรอบที่ระบุคือค่ากำลังรับสตรีมขาลงและค่ากำลังรับสตรีมขาขึ้น

3.3.2 การวัดค่ากำลังรับขาขึ้น (US PWR Rx)

ค่าที่เหมาะสมคือค่ากำลังรับขาขึ้น ควรมีค่าอยู่ระหว่าง -2dBmV ถึง +2dBmV (ค่าความเหมาะสม = 0dBmV) เป็นค่าที่ดึงมาจาก CMTS ดังรูปที่ 3.3 จะแสดงถึงตัวอย่างเคเบิลโมเด็มทั้งหมดที่อยู่ในการควบคุมของอุปกรณ์ CMTS ตัวนั้น โดยใช้คำสั่งในโปรแกรมพุตตี้ คือ scm หรือ show cable modem แล้วหน้าจอจะแสดงค่าตามรูปดังกล่าว

```
PSPPSP07CM1>show cable modem

MAC Address     IP Address      I/F            MAC                Prim  RxPwr   Timing  Num  D
                                               State              Sid   (dBmV)  Offset  CPE  P
a4a2.4a53.e5ad  10.23.39.74     C5/0/0/UB      w-online (pt)      4875   1.00   1451    1    N
a4a2.4a53.d928  10.23.35.111    C5/0/0/UB      w-online (pt)      7597   0.00   1775    1    N
a4a2.4a57.51cf  10.23.33.242    C5/0/0/UB      w-online (pt)      1608  -1.00   1811    1    N
88f7.c715.bd0c  10.23.42.52      C5/0/0/UB      w-online (pt)      2958   0.00   1892    1    N
88f7.c787.2ae3  10.69.147.140   C5/0/0/UB      w-online (pt)      2484  -0.50   1891    1    N
4432.c842.feb2  10.23.42.108     C5/0/0/UB      w-online (pt)      1359  -0.50   1497    2    N
a4a2.4a54.4331  10.23.38.84      C5/0/0/UB      w-online (pt)      5546   0.50   1848    1    N
c427.95b3.2b8f  10.69.149.6      C5/0/0/UB      w-online (pt)      3308   0.00   1809    1    N
80c6.ab78.e556  10.69.146.92     C5/0/0/UB      w-online (pt)      865   -0.50   1447    1    N
a4a2.4a5a.1be4  10.69.145.243   C5/0/0/UB      w-online (pt)      7031   0.00   1458    1    N
```

รูปที่ 3.3 ตัวอย่างเคเบิลโมเด็มทั้งหมดที่อยู่ในการควบคุมของอุปกรณ์ CMTS ซึ่งกรอบที่ระบุแสดงค่ากำลังรับขาขึ้น

3.3.3 การวัดค่า SNR สตรีมขาลง (DS SNR) และค่า SNR สตรีมขาขึ้น (US SNR)

ค่าที่เหมาะสมของค่า SNR สตรีมขาลง ควรมีค่ามากกว่า +35dB และ ค่า SNR สตรีมขาขึ้นควรมีค่ามากกว่า +31dB เป็นค่าที่ดึงมาจากทั้งเคเบิลโมเด็ม และอุปกรณ์ CMTS ดังรูปที่ 3.4 แสดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถึงตัวอย่างเคเบิลโมเด็มที่มี Mac Address คือ a4a2.4a53.c271 โดยใช้คำสั่งในโปรแกรมพุตตี้ คือ scm + Mac Address +phy แล้วหน้าจอจะแสดงค่าตามรูปดังกล่าว

```
BNAABK12CM0>scm a4a2.4a53.c271 phy
MAC Address      I/F            Sid     USPwr   USMER   Timing  DSPwr   DSMER   Mode     DOCSIS
                                        (dBmV)  (SNR)   Offset  (dBmV)  (SNR)            Prov
                                                (dB)                    (dB)
a4a2.4a53.c271   C7/0/0/U2      7586    40.50   33.22   1212    2.20    39.00   atdma*   1.1
a4a2.4a53.c271   C7/0/0/U3      7586    39.75   33.97   1208    2.20    39.00   atdma*   1.1
```

รูปที่ 3.4 ตัวอย่างค่าของเคเบิลโมเด็มที่มี Mac แอดเดรส คือ a4a2.4a53.c271 ซึ่งกรอบที่ระบุคือ ค่า SNR สตรีมขาลง และค่า SNR สตรีมขาขึ้น

3.3.4 การวัดค่าอัตราความผิดพลาดโค้ดเวิร์ดสตรีมขาขึ้น (US CW Error Rate) และค่าอัตราความผิดพลาดโค้ดเวิร์ดสตรีมขาลง (DS CW Error Rate)

ค่าที่เหมาะสมคือค่าอัตราความผิดพลาดโค้ดเวิร์ดสตรีมขาขึ้น ควรมีค่าน้อยกว่า 0.000003% และค่าอัตราความผิดพลาดโค้ดเวิร์ดสตรีมขาลง ควรมีค่าน้อยกว่า 0.0000003% เป็นค่าที่ดึงมาจากเคเบิลโมเด็ม รูปที่ 3.5 แสดงถึงตัวอย่างรายละเอียดเคเบิลโมเด็มที่มีในอุปกรณ์ CMTS ทั้งหมด โดยมีรายละเอียดอันแสดงให้เห็นถึงค่าของโค้ดเวิร์ด แต่ยังไม่ได้ทำการหาเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดของโค้ดเวิร์ด โดยยกตัวอย่างที่แสดงในรูปคือค่าจากเคเบิลโมเด็มที่มี Mac แอดเดรส คือ a4a2.4a53.c271 โดยใช้คำสั่งในโปรแกรมพุตตี้ คือ scm + Mac Address +verbose แล้วหน้าจอจะแสดงค่าตามรูปดังกล่าว

```
PSPPSP07CM1>scm a4a2.4a5b.92e4 verbose
MAC Address                     : a4a2.4a5b.92e4
IP Address                      : 10.23.36.238
Extended Upstream Transmit Power : 0dB
Upstream Channel                : US6
Ranging Status                  : sta
Upstream SNR (dB)               : 36.12
Reported Transmit Power (dBmV)  : 43.75
Good Codewords rx               : 22878632
Corrected Codewords rx          : 456
Uncorrectable Codewords rx      : 74
Phy Operating Mode              : atdma*
```

รูปที่ 3.5 ตัวอย่างรายละเอียดเคเบิลโมเด็มและค่าโค้ดเวิร์ดสตรีมขาลง

$$\%\text{Codeword Uncorrectable (\%Codeword Error)} = \frac{\text{Uncorrectable} \times 100}{\text{Good CW+Correctable CW+Uncorrectable CW}} = \frac{74 \times 100}{22878632+456+74} = 3.23 \times 10^{-4}\ \%$$

รูปที่ 3.6 ตัวอย่างการคำนวณเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดโค้ดเวิร์ดสตรีมขาลง

ในการหาเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดของโค้ดเวิร์ดในส่วนของสตรีมขาขึ้น สามารถทำได้จากการดึงจากการ์ดอินเตอร์เฟสที่ส่งจากตัวเคเบิลโมเด็มมายังอุปกรณ์ CMTS โดยใช้คำสั่ง show interface upstream + slot/port + stat ดังแสดงในรูปที่ 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
BKK34AGNCC2>show interface upstream 10/1.0 stat
Interface upstream 10/1.0 statistics
Admin status: UP
  Logical-channel 0
        Received 5830 broadcasts, 348628 multicasts, 84931988 unicasts
        0 discards, 279685 errors, 0 unknown protocol
        242359958 Unerrroreds, 7607555 Correcteds, 36793 Uncorrectables
        Total Modems On This Upstream Channel : 39 ,35 active cm,28 secondary cm
        Req Mslots 1115082252, Used Req Msots 40244749
        Init Mtn Mslots 3849136685, Used Init Mtn Mslots 0
        Total Mslots 1494439864, Ucast Granted Mslots 598771903
        Avg upstream channel utilization: 4
        Channel utilization interval: 30
        Admin status: UP
        Last clearing of interface stat: never
```

รูปที่ 3.7 ตัวอย่างรายละเอียดของค่าโค้ดเวิร์ดสตรีมขาขึ้น

$$\%\text{Codeword Uncorrectable (\%Codeword Error)} = \frac{\text{Uncorrectable x 100}}{\text{Good CW+Correctable CW+Uncorrectable CW}} = \frac{36793 \text{ x } 100}{242359958+7607555+36793} = 0.01471695\%$$

รูปที่ 3.8 ตัวอย่างการคำนวณเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดโค้ดเวิร์ดขาขึ้น

3.3.5 การวัดค่า T3 ไทม์เอาท์ (T3 Timeout) และ T4 ไทม์เอาท์ (T4 Timeout)

ค่าของพารามิเตอร์ทั้งสองนี้จะถูกนับไปเรื่อยๆตั้งแต่เคเบิลโมเด็มออนไลท์จนออฟไลท์ เนื่องจากระบบทำการเก็บค่าของพารามิเตอร์และข้อมูลการทำงานทุก 1 ชั่วโมง เพราะฉะนั้นค่าที่ถูกนับเป็นจำนวนครั้งจากการหลุดการเชื่อมต่อนั้น จะได้จากการนำจำนวนครั้งการนับจากชั่วโมงก่อนหน้าหักลบไปด้วยจำนวนครั้งการนับของชั่วโมงต่อมา จะได้ค่า T3 ไทม์เอาท์ และ T4 ไทม์เอาท์ ณ ชั่วโมงนั้น ซึ่งค่าที่เหมาะสมคือ T3 ไทม์เอาท์ ควรมีค่าน้อยกว่า 4 ครั้ง และ T4 ไทม์เอาท์ ควรมีค่าเป็น 0 ซึ่งค่า T3 ไทม์เอาท์และ T4 ไทม์เอาท์เป็นค่าที่นับไปเรื่อยๆและดึงมาจากเคเบิลโมเด็มดังที่กล่าวไป

3.4 รูปแบบช่วงที่ใช้แบ่งการทำงาน

ค่าพารามิเตอร์แต่ละตัวจะบ่งบอกถึงคุณลักษณะต่างๆของการทำงานในการส่งสัญญาณข้อมูลหรือรับขอมูลจากตัวอุปกรณ์ CMTS ไปถึงตัวเคเบิลโมเด็ม ซึ่งเราจะทำการแบ่งช่วงเป็นสามช่วงเพื่อทำการให้ค่าน้ำหนักเพื่อให้ค่านั้นอ่านง่ายในการทำเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ โดยที่สามช่วงที่แบ่ง การทำงานนั้นจะแบ่งได้ดังนี้

สีเขียว คือ ค่าพารามิเตอร์ที่อยู่ในช่วงนี้นั้นได้ส่งผลให้ระบบเครือข่ายนั้นทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ หรืออัตราการส่งข้อมูลสูงสุด หรือไม่มีความผิดพลาดในการส่งและรับข้อมูล ระบบทำงานได้ดีเยี่ยม ไม่ต้องทำการแก้ไขเพราะถือว่าระบบเครือข่ายทำงานเป็นปกติ

สีเหลือง คือ ค่าพารามิเตอร์ที่อยู่ในช่วงนี้นั้นได้ส่งผลให้ระบบเครือข่ายมีการทำงานมีความสูญเสียในการส่ง-รับข้อมูลเล็กน้อย อาจจะเป็นสาเหตุมากจากปัจจัยทั้งภายในและภายนอกก็ได้ เช่น สายหลวมทำให้เกิดช่องว่างระหว่างสาย หรือการเกิดปรากฏการณ์ธรรมชาติ ที่มีพลังงานสามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแทรกตัวเข้าไปในระบบ ทำให้ระบบทำงานได้ไม่ดีเท่าที่ควร แต่ระบบเครือข่ายนั้นยังคงทำงานเป็นปกติ ในส่วนการแก้ไขนั้นช่วงสีเหลืองจะถือได้ว่า มีส่วนที่จะให้แก้ไข หรือปรับปรุงเล็กน้อย แต่ยังคงการทำงานนั้นอยู่ได้ เพราะถือว่าระบบเครือข่ายทำงานเป็นปกติ แต่จะทำงานไม่เต็มที่เท่าที่ควร หากใช้งานสักระยะอาจจะเกิดความเสียหายในการส่ง-รับข้อมูลมากขึ้นจนกลายเป็นระดับสีแดง

สีแดง คือ ค่าพารามิเตอร์ที่อยู่ในช่วงนี้นั้นได้ส่งผลให้ระบบเครือข่ายมีการทำงานมีความเสียหายในการส่ง-รับข้อมูล มีสาเหตุมากจากปัจจัยทั้งภายในและภายนอกก็ได้ เช่น สายหลวม การเชื่อมต่อตัวเชื่อมต่อที่ได้ดี อุปกรณ์ชำรุดหรือเสื่อมสภาพ สภาพของสายโคแอคเชียล มีความไม่สมบูรณ์ ทำให้เกิดสัญญาณรบกวนในระบบมาก ส่งผลให้การส่งข้อมูลไม่ดี ซึ่งในส่วน การแก้ไขนั้นช่วงสีแดงจะถือได้ว่า มีส่วนที่ต้องการการแก้ไขอย่างเร่งด่วน หรือควรแก่การปรับปรุง เพราะถือว่าระบบเครือข่ายทำงานไม่เป็นปกติ โดยที่มีเกณฑ์ของ DOCSIS NQI-9 เป็นไปตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 DOCSIS NQI-9 Criteria และสเกลน้ำหนัก

DOCSIS NQI-9 Criteria					Weight		
No	Parameter	Red	Yellow	Green	Red	Yellow	Green
1	DS power Rx (CM)	X<=-15 or x>=17	-15<x<-12 or 15<x	-12<=x<=15	0	4	8
2	DS SNR (CM)	X<=32	32<x<=35	x>35	0	6	12
3	US SNR (CMTS)	X<=25	25<x<=31	x>31	0	6	12
4	US power Tx (CM)	x<=30 or x>=52	30<x<=35 or 51<x<52	35<x<=51	0	3	6
5	US power Rx (CMTS)	X< -3 or x>3	-3<=x<-2 or 2<x<=3	-2<=x<=2	0	3	6
6	US CW Error Rate	0.0001<=x	0.000003<=x<0.0001	X<0.000003	0	8	16
7	DS CW Error Rate	0.0001<=x	0.0000003<=x<0.0001	X<0.0000003	0	6	12
8	T3 Time out	8<=x	4<=x<8	X<4	0	5	10
9	T4 Time out	2<=x	1	0	0	6	12

จากตารางที่ 3.1 เป็นการแบ่งช่วงสีลักษณะการทำงานและการให้ค่าน้ำหนัก เพื่อให้ข้อมูลที่ให้น้ำหนักนั้นนำมาสร้างเป็นค่าเปอร์เซ็นต์เพื่อความสะดวกในการอ่าน โดยค่าการทำงานที่มีผลทำให้การทำงานนั้นแย่นั้นจะปรากฏในช่วงสีแดง ซึ่งในการให้ค่าน้ำหนักมีหลักการให้น้ำหนักโดยแบ่งเป็นสามช่วงตามลักษณะการแบ่งช่วงการทำงาน เมื่อลักษณะการแบ่งช่วงการทำงานมีสามช่วงค่าที่ใช้ในการให้น้ำหนักจะต้องมีระยะของค่าที่ใช้ในการให้น้ำหนักที่เท่ากัน แต่ตัวเลขที่นำมาต้องสามารถนำไปหารสามแล้วลงตัว การพิจารณาเช่นนี้เกิดจากการความต้องการในการให้น้ำหนักในตารางที่มีค่าน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ซึ่งตัวเลขที่เป็นไปได้มีเลข 9, 12, 15, 18, 21, 24, 28 โดยเลขที่นำมาระบุการให้น้ำหนักจะแสดงถึงลำดับความสำคัญของพารามิเตอร์ตามไปด้วย จะทำการพิจารณาความสำคัญของพารามิเตอร์ตามลำดับความสำคัญโดยเรียงลำดับจากน้อยไปหามากจากเลข 9, 12, 15, 18, 24 สาเหตุที่ไม่นำเลข 21 และ 28 มาทำการพิจารณาเนื่องจากต้องการเว้นระยะของค่าเลขที่จะทำการให้น้ำหนักในพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญสูงสุด เมื่อนำเลขเหล่านี้มาหารสามตามจำนวนการแบ่งช่วงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำงาน ค่าตัวเลขที่ได้คือ 3, 4, 5, 6, 8 ซึ่งเป็นค่าที่ไม่มากจนเกินไปในการให้น้ำหนัก โดยจะให้ค่าตัวเลขดังกล่าวเป็นค่ากลางในการให้น้ำหนักค่าข้อมูล และค่าข้อมูลพารามิเตอร์ที่อยู่ในช่วงสีแดงจะพิจารณาให้น้ำหนักค่าข้อมูลเป็น 0 ดังนั้นด้วยความต้องการระยะของค่าที่ใช้ในการให้น้ำหนักที่เท่ากัน สามารถพิจารณาความห่างจากช่วงสีแดงและช่วงสีเหลือง (ระบุถึงค่ากลางในการให้น้ำหนักค่าข้อมูล) เพื่อพิจารณาหาช่วงสีเขียวได้ ตัวอย่างเช่น ช่วงสีแดงมีค่าตัวเลขเป็น 0 และช่วงสีเหลืองมีค่าตัวเลขเป็น 5 แสดงว่าค่าตัวเลขในช่วงสีเขียวมีค่าเท่ากับ 10 โดยทำการระบุความสำคัญของค่าพารามิเตอร์จากน้อยสุดไปสูงสุดได้ดังนี้

การให้น้ำหนักข้อมูลของพารามิเตอร์ US-Tx PWR และUS-Rx PWR มีค่าตัวเลขในช่วงสีเขียวมีค่าเท่ากับ 6, การให้น้ำหนักข้อมูลของพารามิเตอร์ DS-Rx PWR มีค่าตัวเลขในช่วงสีเขียวมีค่าเท่ากับ 8, การให้น้ำหนักข้อมูลของพารามิเตอร์ T3 timeout มีค่าตัวเลขในช่วงสีเขียวมีค่าเท่ากับ 10 , การให้น้ำหนักข้อมูลของพารามิเตอร์ US-SNR, DS-SNR, DS-CW Error และT4 timeout มีค่าตัวเลขในช่วงสีเขียวมีค่าเท่ากับ 12 และการให้น้ำหนักข้อมูลของพารามิเตอร์ US-CW Error มีค่าตัวเลขในช่วงสีเขียวมีค่าเท่ากับ 16 เนื่องจากในการส่งข้อมูลจากเคเบิลโมเด็มไปยังอุปกรณ์ CMTS นั้นเกิดสัญญาณรบกวนได้ง่ายเนื่องจากสตรีมขาขึ้นที่ใช้ในการส่งข้อมูลมีการใช้งานที่ความถี่ต่ำจึงเกิดสัญญาณรบกวนได้ง่าย ดังนั้นหากระบบเครือข่ายมีการส่งข้อมูลจากสตรีมขาขึ้นที่ดี อาจจะสามารถระบุได้ถึงการทำงานของระบบเครือข่ายที่มีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามยังมีการให้น้ำหนักข้อมูลของพารามิเตอร์ที่มีลำดับความสำคัญที่ไม่แตกต่างกันอยู่ ดังนั้นจึงไม่สามารถระบุได้ในทันทีว่าระบบเครือข่ายเป็นเช่นไร จนกว่าจะมีค่าเปอร์เซ็นต์ NQI ของแต่ละพารามิเตอร์ และค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบ เพื่อระบุประสิทธิภาพการทำงานของระบบเครือข่าย

ในการจัดเก็บข้อมูลนั้นจะสร้างฐานข้อมูล (Data Base) ที่ใช้ในการจัดเก็บข้อมูลที่ถูกดึงมาโดยใช้โปรแกรม Oracle ที่สนับสนุนในการใช้คำสั่งของภาษา SQL เพื่อให้สามารถบันทึกค่าได้โดยตรง โดยการเก็บค่าแล้วบันทึกนั้น ได้ทำการให้ตัวโปรแกรมทำการบันทึกค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดทุกๆ 2 ชั่วโมงในหนึ่งวัน เนื่องจากในอุปกรณ์ CMTS 1 ตัว มีอุปกรณ์โหนดทางแสงหลายตัว ดังนั้นข้อมูลที่เก็บในการรับส่งข้อมูลนั้น จะทำให้ค่าพารามิเตอร์นั้นมีข้อมูลจำนวนมากหากจะเก็บทุกๆนาที หรือ ทุกๆชั่วโมง เพื่อลดการเก็บข้อมูลที่มากเกินไป โปรแกรม Oracle จะทำการบันทึกค่า พร้อมทั้งสามารถคำนวณค่าพารามิเตอร์ภายในและสามารถแก้ไขข้อมูลได้ตลอด เพื่อประโยชน์ในการหาเวลาส่วนที่หายไป เนื่องจากอาจจะมีบางช่วงเวลาที่การอ่านค่านั้นผิดพลาดเนื่องจากการแก้ไขหรือปรับปรุงระบบทั้งหมด ทำให้อุปกรณ์ CMTS ไม่สามารถอ่านค่าพารามิเตอร์ได้ เนื่องจากอุปกรณ์โหนดทางแสงอาจยังไม่มีการใช้งาน หรือยังคงอยู่ในช่วงการแก้ไขระบบ ฐานข้อมูลในโปรแกรม Oracle นั้นจะมีระยะเวลาที่จะสามารถทำการแก้ไขก่อนการบันทึกเป็นไฟล์แอ็คเซลล์ เป็นระยะเวลา 1 เดือน หลังจากนั้นข้อมูลที่เป็นค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดที่ถูกเก็บในเดือนนั้นก็จะถูกลบไป เช่นการเก็บค่าช่วงเดือนมีนาคม เมื่อสิ้นเดือนเมษายน ข้อมูลค่าพารามิเตอร์ซึ่งเป็นข้อมูลดิบที่อยู่ในเดือนมีนาคมก็จะถูกลบไป และเก็บข้อมูลในเดือนมีนาคมเป็นลักษณะค่าเปอร์เซ็นต์ที่ได้ทำการให้น้ำหนัก เพื่อแบ่งช่วงการทำงานและทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ถูกจัดเก็บ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ภายใน 1 โหนดทางแสง ซึ่งมีจำนวน เคเบิลโมเด็มทั้งหมด 100 ตัว โดยจะใช้ค่าของพารามิเตอร์ทั้ง 9 เพื่อนำมาหาค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบเครือข่าย และค่าหาค่าเปอร์เซ็นต์ NQI ของพารามิเตอร์แต่ละตัว ในรูปที่ 3.9 แสดง ค่าเปอร์เซ็นต์ NQI ของพารามิเตอร์แต่ละตัว และรูปที่ 3.10 จะแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบเครือข่าย แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าน้ำหนักของตาราง DOCSIS NQI-9 Criteria เพื่อให้ค่าน้ำหนักหลังจากทำการให้น้ำหนักตามตาราง DOCSIS NQI-9 Criteria แล้ว ก็จะทำการหาค่าเปอร์เซ็นต์ NQI ของพารามิเตอร์แต่ละตัว และ ค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบเครือข่ายนี้ ซึ่งก็จะได้ค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบเครือข่ายก่อนการแก้ไข เท่ากับ 88.49%

Modem	DS-Pwr (dBmV)		DS-SNR (dB)		US-SNR (dB)		US-Tx-Pwr (dBmV)		US-Rx-Pwr (dBmV)	
	Level	Score	Level	Score	Level	Score	Level	Score	Level	Score
Modem #1	12.7	8	36.1	12	35.1	12	48.2	6	1.0	6
Modem #2	6.5	8	35.8	12	36.1	12	49.2	6	0.5	6
Modem #3	6.2	8	34.1	6	33.6	12	44.2	6	0.0	6
Modem #4	2.4	8	34.4	6	33.6	12	45.7	6	1.0	6
Modem #5	3.9	8	35	6	32.3	12	45.7	6	-2.0	6
Modem #6	18.2	0	36.1	12	32.3	12	57.2	0	-1.0	6
Modem #7	14.4	8	35.7	12	34.7	12	50.7	6	-0.5	6
Modem #8	10.3	8	35.1	12	35.1	12	50.2	6	0.0	6
Modem #9	8.2	8	36.1	12	33.9	12	49.2	6	-0.5	6
Modem #10	3.7	8	33.7	6	33.2	12	40.2	6	-0.5	6
Modem #98	8.7	8	34.7	6	33.9	12	40.7	6	0.5	6
Modem #99	15.1	4	36.3	12	33.9	12	50.7	6	0.0	6
Modem #100	-3.5	8	33.7	6	32.5	12	42.2	6	-0.5	6
	Total=	724	Total=	948	Total=	1194	Total=	486	Total=	576

Modem	US-CW Error rate (%)		DS-CW Error rate (%)		T3 Time out		T4 Time out	
	Level	Score	Level	Score	Level	Score	Level	Score
Modem #1	0.00000100	16	0.00000710	6	1	10	1	6
Modem #2	0.00003100	8	0.00000610	6	2	10	2	0
Modem #3	0.00023400	0	0.00001240	6	1	10	0	12
Modem #4	0.00004500	8	0.00000540	6	0	10	1	6
Modem #5	0.00001230	8	0.00000420	6	0	10	3	0
Modem #6	0.00034000	0	0.00000320	6	6	5	0	12
Modem #7	0.00045000	0	0.00000550	6	2	10	0	12
Modem #8	0.00000230	16	0.00000670	6	1	10	0	12
Modem #9	0.00000140	16	0.00000210	6	0	10	0	12
Modem #10	0.00006600	8	0.00000450	6	9	0	0	12
Modem #98	0.00067800	0	0.00056800	0	7	5	1	6
Modem #99	0.00008100	8	0.00000870	6	8	0	0	12
Modem #100	0.00078000	0	0.00000180	6	7	5	0	12
	Total=	1250	Total=	1100	Total=	950	Total=	1090

	% DS-Pwr	% DS-SNR	% US-SNR	% US-Tx-Pwr	% US-Rx-Pwr
%NQI (by parameter)	= 724 / 100 x 8	= 948 / 100 x 12	= 1194 / 100 x 12	= 486 / 100 x 6	= 576 / 100 x 6
%NQI (by parameter)	= 90.50 %	= 79.00 %	= 99.50 %	= 81.00 %	= 96.00 %

	% US-CW Error rate	% DS-CW Error rate	% T3 Time out	% T4 Time out
%NQI (by parameter)	= 1250 / 100 x 16	= 1100 / 100 x 12	= 950 / 100 x 10	= 1090 / 100 x 12
%NQI (by parameter)	= 78.12 %	= 91.67 %	= 95.00 %	= 90.83 %

รูปที่ 3.9 ค่าเปอร์เซ็นต์ NQI ของแต่ละพารามิเตอร์ตัวจากโหนด ซึ่งมีจำนวนเคเบิลโมเด็มทั้งหมด 100 ตัว ก่อนการแก้ไข

$$\%NQI\text{-}9\ (\text{by Node}) = \frac{724+948+1194+486+576+1250+1100+950+1090}{100 \times 94} = \frac{8318 \times 100\%}{9400} = 88.49\ \%$$

รูปที่ 3.10 ค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบเครือข่าย ซึ่งมีจำนวนเคเบิลโมเด็มทั้งหมด 100 ตัว ก่อนการแก้ไข

โดยรูปที่ 3.9 และรูปที่ 3.10 เป็นการยกตัวอย่างในการคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ภายใน 1 โหนดทางแสง ซึ่งจากผลดังกล่าวค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบเครือข่ายมีค่าน้อยเกินกว่าที่จะยอมรับได้ พร้อมทั้งยังมีค่าเปอร์เซ็นต์ NQI_DSSNR, ค่าเปอร์เซ็นต์ NQI_USPWR และ ค่าเปอร์เซ็นต์ NQI_DSPWR ที่มีค่าน้อย จึงต้องทำการปรับปรุงระบบให้สามารถทำงานด้วยประสิทธิภาพที่ดีขึ้น เมื่อทำการแก้ไขปัญหาค่าของพารามิเตอร์จะมีการเปลี่ยนแปลง จึงต้องทำการเปรียบเทียบค่าน้ำหนักของพารามิเตอร์ใหม่ แสดงดังรูปที่ 3.11 แล้วทำการหาค่าเปอร์เซ็นต์ NQI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของพารามิเตอร์แต่ละตัว และ ค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบเครือข่ายแสดงดังรูปที่ 3.12 ซึ่งก็จะได้ค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบเครือข่ายหลังการแก้ไข เท่ากับ 98.96%

Modem	DS-Pwr (dBmV)		DS-SNR (dB)		US-SNR (dB)		US-Tx-Pwr (dBmV)		US-Rx-Pwr (dBmV)	
	Level	Score	Level	Score	Level	Score	Level	Score	Level	Score
Modem #1	12.7	8	36.1	12	35.1	12	48.2	6	1.0	6
Modem #2	6.5	8	35.8	12	36.1	12	49.2	6	0.5	6
Modem #3	6.2	8	36.1	12	33.6	12	44.2	6	0.0	6
Modem #4	2.4	8	36.4	12	33.6	12	45.7	6	1.0	6
Modem #5	3.9	8	36.1	12	32.3	12	45.7	6	-2.0	6
Modem #6	10.2	8	36.1	12	32.3	12	57.2	0	-1.0	6
Modem #7	14.4	8	35.7	12	34.7	12	50.7	6	-0.5	6
Modem #8	10.3	8	35.1	12	35.1	12	50.2	6	0.0	6
Modem #9	8.2	8	36.1	12	33.9	12	49.2	6	-0.5	6
Modem #10	3.7	8	37.7	12	33.2	12	40.2	6	-0.5	6
.	.		.		.		.		.	
.	.		.		.		.		.	
.	.		.		.		.		.	
Modem #98	8.7	8	36.7	12	33.9	12	40.7	6	0.5	6
Modem #99	15.1	4	36.3	12	33.9	12	50.7	6	0.0	6
Modem #100	-3.5	8	36.7	12	32.5	12	42.2	6	-0.5	6
	Total=	796	Total=	1200	Total=	1194	Total=	594	Total=	600

Modem	US-CW Error rate (%)		DS-CW Error rate (%)		T3 Time out		T4 Time out	
	Level	Score	Level	Score	Level	Score	Level	Score
Modem #1	0.00000100	16	0.00000017	12	1	10	0	12
Modem #2	0.00000245	16	0.00000012	12	2	10	0	12
Modem #3	0.00000298	16	0.00000023	12	1	10	0	12
Modem #4	0.00000150	16	0.00000020	12	0	10	0	12
Modem #5	0.00000220	16	0.00000026	12	0	10	0	12
Modem #6	0.00000122	16	0.00000015	12	2	10	0	12
Modem #7	0.00000165	16	0.00000010	12	2	10	0	12
Modem #8	0.00000144	16	0.00000022	12	1	10	0	12
Modem #9	0.00000275	16	0.00000024	12	0	10	0	12
Modem #10	0.00000188	16	0.00000025	12	9	0	0	12
.	.		.		.		.	
.	.		.		.		.	
.	.		.		.		.	
Modem #98	0.00001230	8	0.00000030	6	8	0	1	6
Modem #99	0.00000240	16	0.00000018	12	1	10	0	12
Modem #100	0.00000134	16	0.00000017	12	2	10	0	12
	Total=	1560	Total=	1194	Total=	970	Total=	1194

	% DS-Pwr	% DS-SNR	% US-SNR	% US-Tx-Pwr	% US-Rx-Pwr
%NQI (by parameter)	= 796 / 100 x 8	= 1200 / 100 x 12	= 1194 / 100 x 12	= 594 / 100 x 6	= 600 / 100 x 6
%NQI (by parameter)	= 99.50 %	= 100.00 %	= 99.50 %	= 99.00 %	= 100.00 %

	% US-CW Error rate	% DS-CW Error rate	% T3 Time out	% T4 Time out
%NQI (by parameter)	= 1560 / 100 x 16	= 1194 / 100 x 12	= 970 / 100 x 10	= 1194 / 100 x 12
%NQI (by parameter)	= 97.50 %	= 99.50 %	= 97.00 %	= 99.50 %

รูปที่ 3.11 ค่าเปอร์เซ็นต์ NQI ของแต่ละพารามิเตอร์ตัวจากโหนด ซึ่งมีจำนวนเคเบิลโมเด็มทั้งหมด 100 ตัว หลังการแก้ไข

$$\%NQI\text{-}9\ (\text{by Node}) = \frac{796+1200+1194+594+600+1560+1194+970+1194}{100 \times 94} = \frac{9302 \times 100\%}{9400} = 98.96\ \%$$

รูปที่ 3.12 ค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบเครือข่าย ซึ่งมีจำนวนเคเบิลโมเด็มทั้งหมด 100 ตัว หลังการแก้ไข

ซึ่งค่าที่ดีที่สุดของเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบเครือข่ายและค่าเปอร์เซ็นต์ NQI ของพารามิเตอร์ต่างๆที่จะทำให้เครือข่ายมีประสิทธิภาพการใช้งานที่ดีและเหมาะสมที่สุดจะต้องมีค่าเปอร์เซ็นต์ตามตารางที่ 3.2 ซึ่งในบางกรณีค่าเปอร์เซ็นต์ NQI ของแต่ละพารามิเตอร์ก็อาจจะมีค่าอยู่ในช่วงอื่น แต่ถ้าหากค่าของเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบเครือข่ายยังคงค่ามากกว่า 96% ก็ถือว่าประสิทธิภาพของเครือข่ายยังคงมีประสิทธิภาพการทำงานที่ดี แต่การทำงานที่มีการใช้ค่าพารามิเตอร์บางตัวอาจจะมีปัญหา และซึ่งบางกรณีที่ค่าเปอร์เซ็นต์ NQI ของแต่ละพารามิเตอร์มีค่าการทำงานที่ดีแต่ไม่สามารถที่จะทำให้ค่าของเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบเครือข่ายมีค่ามากกว่า 96% ดังนั้นสามารถกล่าวได้ว่าระบบเครือข่ายที่มีค่าของเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบเครือข่ายมีค่ามากกว่า 96% แสดงถึงเครือข่ายที่มีการทำงานที่มีประสิทธิภาพสูง โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบเครือข่ายที่สามารถยอมรับได้ว่าการทำงานของเครือข่ายยังคงมีประสิทธิภาพการทำงานที่ดีจะมีค่าอยู่ระหว่าง 89%-96% ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในช่วงย่านการทำงานที่ยอมรับได้ แต่ก็ยังคงจะมีการแก้ไขอยู่เพื่อให้ระบบมีการทำงานที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ส่วนเครือข่ายที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบเครือต่ำกว่า 89%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถระบุได้ว่าระบบนั้นมีความเสียหายในระบบมาก การทำงานของเครือข่ายไม่มีประสิทธิภาพการทำงานที่ดี ต้องทำการแก้ไขอย่างเร่งด่วน

ตารางที่ 3.2 เกณฑ์การชี้วัดเครือข่ายด้วยค่าเปอร์เซ็นต์ NQI

No	Parameter	Red zone	Yellow zone	Green zone
1	US-SNR	< 92%	92% - 96%	≥ 96%
2	DS-SNR	< 88%	88% - 96%	≥ 96%
3	US-Tx PWR	< 80%	80% - 90%	≥ 90%
4	DS-Rx PWR	< 92%	92% - 98%	≥ 98%
5	US-Rx PWR	< 95%	95% - 98%	≥ 98%
6	US-CW Error	< 53%		≥ 53%
7	DS-CW Error	< 72%		≥ 72%
8	T3	< 74%		≥ 74%
9	T4	< 76%		≥ 76%

*The best quality network should have the value %NQI 9 ≥ 96%
*The worst quality network have the value %NQI9 < 89%

โดยระบบเครือข่ายที่เกิดขึ้นจริงนั้น มีความเป็นไปได้ยากที่จะเกิดค่าประสิทธิภาพของเครือข่ายหรือ ค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบมีค่าเท่ากับ 100% ในการระบุค่าประสิทธิภาพของเครือข่ายจึงต้องระบุด้วยค่าที่มีความเป็นไปได้ หลักการที่นำมาใช้ในการพิจารณาต้องพิจารณาการค่าของพารามิเตอร์ทั้งหมด 5 ตัว คือ US-SNR, DS-SNR, US-Tx PWR, DS-Rx PWR และ US-Rx PWR ก็เพียงพอต่อการระบุค่าประสิทธิภาพของเครือข่ายโดยรวมได้ เนื่องจากพารามิเตอร์อีก 4 ตัวต่อมาจะทำงานภายได้ดีจะขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ทั้ง 5 ตัวนั้น จากตารางเกณฑ์ชี้วัดเครือข่ายในช่วงสีเขียวที่ระบุถึงการทำงานที่ดีของแต่ละพารามิเตอร์ ทำการนำค่าเปอร์เซ็นต์ที่ตั้งมาหารจำนวนของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการพิจารณาจะได้ (96+96+90+98+98)/5 = 95.6 ได้ค่าประมาณ 96 ซึ่งเป็นที่ระบุได้ถึงประสิทธิภาพของเครือข่ายที่ดีที่สุดในการทำงานของเครือข่าย และจากตารางเกณฑ์ชี้วัดเครือข่ายในช่วงสีแดงที่ระบุถึงการทำงานที่แย่ของแต่ละพารามิเตอร์ และทำการพิจารณาในทำนองเดียวกันจะได้ (92+88+80+92+95)/5 = 89.4 ได้ค่าประมาณ 89 ซึ่งเป็นที่ระบุได้ถึงประสิทธิภาพของเครือข่ายที่แย่ที่สุดในการทำงานของเครือข่าย

3.5 ค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการทำงานของระบบเครือข่าย

3.5.1 ค่ากำลังรับขาลง

ค่ากำลังรับขาลงเป็นค่าที่เคเบิลโมเด็มทำการรับกำลังงานที่ส่งมาจากเครือข่าย ซึ่งค่าที่เคเบิลโมเด็มจะทำงานได้เต็มประสิทธิภาพในการรับค่ากำลังงานนั้นจะมีค่าอยู่ในช่วง -12dBmV จนถึง +15dBmV โดยค่าที่เคเบิลโมเด็มไม่สามารถทำงานได้คือ เคเบิลโมเด็มรับค่าจากการส่งที่มาจากเครือข่ายน้อยเกินไป (น้อยกว่า -17dBmV) หรือมากเกินไป (เกินกว่า 17dBmV) ซึ่งผลดังกล่าวจะทำให้การรับข้อมูลจากเครือข่ายมีความผิดปกติ เพราะเมื่อเคเบิลโมเด็มรับกำลังงานน้อยเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การรับข้อมูลที่เกิดขึ้นก็จะไม่ดีพอ แสดงให้เห็นถึงความเสียหายที่อาจจะมีในระบบเครือข่าย ส่วนหากมีค่ากำลังงานที่มากเกินไป เคเบิลโมเด็มจะรับภาระหนักในการรับกำลังงานที่ส่งเข้ามา อาจจะมีผลทำให้เคเบิลโมเด็มเกิดความเสียหายได้

3.5.2 ค่ากำลังส่งขาขึ้น

ค่ากำลังส่งขาขึ้นเป็นค่าที่โคเบิลโมเด็มทำการส่งกำลังงานจากเคเบิลโมเด็มไปยังเครือข่าย ซึ่งค่าที่เคเบิลโมเด็มทำการส่งจะทำงานได้เต็มประสิทธิภาพควรจะมีค่ามากกว่า 35dBmV ถึง 51dBmV โดยค่าที่เคเบิลโมเด็มทำการส่งสัญญาณนั้นจำเป็นจะต้องผ่านเครือข่าย HFC จนไปถึงอุปกรณ์ CMTS หากค่ากำลังงานที่เคเบิลโมเด็มทำการส่งนั้นมีค่าน้อยเกินไป (น้อยกว่า 27dBmV) หรือมากเกินไป (เกินกว่า 53dBmV) ผลดังกล่าวจะทำให้การส่งข้อมูลจากเครือข่ายมีความผิดปกติ เมื่อเคเบิลโมเด็มส่งกำลังงานน้อยเกินไปการส่งข้อมูลที่เกิดขึ้นก็จะไม่ดีพอหรือไม่สามารถส่งข้อมูลเข้าเครือข่ายได้ เนื่องจากเมื่อมีค่ากำลังต่ำค่าที่ส่งออกมาจากเคเบิลโมเด็มจะไม่สามารถส่งมาถึงตัวขยายสัญญาณเพื่อทำการขยายกำลังงานได้ ส่วนหากมีค่าพลังงานที่มากเกินไป เคเบิลโมเด็มจะรับภาระหนักในการส่งพลังงาน เนื่องจากกำลังงานที่ใช้ในการส่งข้อมูลมีค่าสูง อาจจะมีผลทำให้เคเบิลโมเด็มเกิดความเสียหายได้

3.5.3 ค่ากำลังรับขาขึ้น

ค่ากำลังรับขาขึ้นเป็นค่าที่อุปกรณ์ CMTS ทำการรับค่ากำลังงานที่ถูกส่งกลับมาจากอุปกรณ์โหนดทางแสง โดยค่าการทำงานที่มีประสิทธิภาพนั้นมีค่าอยู่ระหว่าง -2dBmV ถึง +2dBmV ซึ่งอุปกรณ์โหนดทางแสงนั้นหากมีการส่งค่ากำลังกลับมาที่ตัวอุปกรณ์ CMTS มีค่าที่ต่ำกว่า -4dBmV แสดงให้เห็นถึงการทำงานของโหนดทางแสงที่ผิดปกติที่ส่งกำลังงานกลับมา อาจจะเป็นที่สายใยแก้วนำแสงที่มีปัญหาหรืออาจจะเป็นที่อุปกรณ์ หากการส่งค่ากำลังกลับมาที่ตัวอุปกรณ์ CMTS มีค่าที่สูงกว่า 4dBmV แสดงให้เห็นถึงการส่งกำลังงานที่มากเกินปกติของตัวอุปกรณ์โหนดทางแสง การรับค่าจากเครือข่ายมาที่ตัวอุปกรณ์ออปติคอลโหนดมีการส่งค่ากำลังงานที่ผิดปกตินั้นมีความเกี่ยวเนื่องที่อาจจะทำให้การส่งกำลังงานกลับมาที่อุปกรณ์ CMTS นั้นมีค่าผิดปกติตามไปด้วย

3.5.4 SNR สตรีมขาลง

SNR สตรีมขาลงเป็นค่ากำลังของสัญญาณที่ของส่งในเครือข่าย HFC มายังเคเบิลโมเด็ม โดยค่า SNR สตรีมที่มีการส่งในเครือข่ายนั้นจะเป็นอัตราของสัญญาณของข้อมูลหรือข่าวสารต่อสัญญาณการรับกวน ซึ่งค่าดังกล่าวนั้นควรมีค่าที่เหมาะสมที่ใช้ในการทำงานคือต้องมีค่ามากกว่า 35dB โดยส่วนใหญ่ค่า SNR ที่พิจารณาในระบบนั้นจะมีค่าที่ลดลงเมื่อสายโคแอคเชียลยาวมากเกินระยะที่ยอมรับได้หรือมีการใช้อุปกรณ์ลดทอนสัญญาณสูงเกินไปค่า SNR ก็จะลดลง ส่วนค่า SNR ที่ทำให้ระบบมีปัญหาคือมีค่าสัญญาณต่ำกว่า 32dB โดยค่า SNR ที่มีค่าต่ำสามารถพิจารณาได้ว่าต่ำแหน่งหรือพื้นที่ที่มีการใช้งานเคเบิลโมเด็มตัวนั้นๆ มีสัญญาณรบกวนในระบบเครือข่ายเกิดขึ้นทำให้การรับสัญญาณมาที่ตัวเคเบิลโมเด็มมีค่าสัญญาณต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.5 SNR สตรีมขาขึ้น

SNR สตรีมขาขึ้นเป็นค่าที่ระบบเครือข่าย HFC ส่งค่ากำลังสัญญาณไปยังอุปกรณ์ CMTS หรือสามารถกล่าวได้ว่าเป็นค่าที่อุปกรณ์ CMTS ทำการรับค่าได้ โดยค่าที่เหมาะสมที่ใช้ในการทำงาน คือต้องมีค่ามากกว่า 31dB แสดงให้เห็นว่าค่าที่เหมาะสมที่อุปกรณ์ CMTS จะทำการรับค่านั้นเป็นอัตราสัญญาณที่ส่งผ่านระบบต่อสัญญาณรบกวน โดยค่ากำลังสัญญาณที่ต่ำกว่า 27dB แสดงให้เห็นถึงระบบที่ทำงานไม่เต็มประสิทธิภาพหรือมีการทำงานที่ผิดปกติอย่างมาก เนื่องจากค่าสัญญาณนั้นมีค่าต่ำ ซึ่งอาจจะเกิดจากการทำสมดุลระบบที่ไม่ดีพอหรือมีสัญญาณรบกวน

3.5.6 ค่าความผิดพลาดโค้ดเวิร์ดสตรีมขาขึ้น

ค่าความผิดพลาดโค้ดเวิร์ดสตรีมขาขึ้นเป็นค่าอัตราการส่งจำนวนข้อมูลที่เป็นโค้ดเวิร์ดผ่านไปในสายส่งในระบบเครือข่าย ซึ่งค่าความผิดพลาดดังกล่าวนั้นจะดูที่การส่งข้อมูลไปยังเป้าหมายแล้วเกิดความผิดพลาดเป็นอัตราการส่งจำนวนข้อมูลผิดพลาดและแก้ไขไม่ได้ต่อจำนวนข้อมูลทั้งหมด ซึ่งเหตุที่ดูที่ข้อมูลผิดพลาดและแก้ไขไม่ได้เพราะในการส่งข้อมูลนั้นหากมีอัตราส่วนของความผิดพลาดในการส่งข้อมูลมากเกินไป แสดงให้เห็นถึงระบบที่มีความผิดพลาดอาจจะเกิดจากตัวอุปกรณ์เองหรือสายส่งข้อมูล โดยค่าค่าความผิดพลาดโค้ดเวิร์ดสตรีมขาขึ้นที่ถือว่าระบบมีการทำงานที่ดีและเหมาะสม คือ 0.000003% เมื่อดูจากจำนวนจุดทศนิยมของค่าที่ระบุสามารถระบุได้ว่าในการส่งข้อมูลทั้งหมด 100,000,000 โค้ดเวิร์ด สามารถเกิดความผิดพลาดได้เพียง 3 โค้ดเวิร์ด ((3/100,000,000)*100 = 0.000003%) ซึ่งค่าความผิดพลาดโค้ดเวิร์ดสตรีมขาขึ้นที่ทำให้ระบบเสียหาย มีค่าความผิดพลาดของโค้ดเวิร์ดสตรีมขาขึ้นมากกว่า 0.0001%

3.5.7 ค่าความผิดพลาดโค้ดเวิร์ดสตรีมขาลง

ค่าความผิดพลาดโค้ดเวิร์ดสตรีมขาลงเป็นค่าอัตราการส่งจำนวนข้อมูลที่เป็นโค้ดเวิร์ดผ่านไปในสายส่งในระบบเครือข่ายโดยค่าค่าความผิดพลาดโค้ดเวิร์ดสตรีมขาลงที่ถือว่าระบบมีการทำงานที่ดีและเหมาะสมคือ 0.0000003% ซึ่งมีอัตราความผิดพลาดโค้ดเวิร์ดต่ำกว่าของสตรีมขาขึ้น เนื่องจากจะมีการให้ความสนใจในการส่งข้อมูลจากเครือข่ายไปยังตัวเคเบิลโมเด็ม โดยการส่งทางสตรีมขาลงหรือการดาวน์โหลดนั้นถือได้ว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญในการใช้งานในปัจจุบัน เพราะมีการใช้การดึงค่าข้อมูลจากระบบมากกว่าที่จะส่งข้อมูลไปที่ระบบหรือการอัพโหลดข้อมูล ซึ่งค่าความผิดพลาดของโค้ดเวิร์ดสตรีมขาลงที่ทำให้ระบบเสียหาย มีค่าความผิดพลาดโค้ดเวิร์ดสตรีมขาลงมากกว่า 0.0001%

จะสังเกตได้ว่าค่าความผิดพลาดโค้ดเวิร์ดที่ทำให้ระบบเสียหายนั้น จะมีค่ามีความผิดพลาดโค้ดเวิร์ดมากกว่า 0.0001% ทั้งในฝั่งของสตรีมขาขึ้นและสตรีมขาลง เนื่องจากเป็นค่าความผิดพลาดที่ถือว่าสูงมากหากเกิดขึ้นในระบบ และทำให้ข้อมูลที่รับได้นั้นมีความผิดพลาด

3.5.8 T3 ไทม์เอาท์

T3 ไทม์เอาท์เป็นค่าที่แสดงให้เห็นถึงการหลุดการเชื่อมต่อชั่วขณะของระบบเครือข่ายที่มีการรับส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ CMTS ไปยังเคเบิลโมเด็ม ซึ่งการหลุดการเชื่อมต่อชั่วขณะที่ยอมรับได้นั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะต้องเกิดการหลุดการเชื่อมต่อไม่เกิน 4 ครั้งถึงจะถือว่าเป็นการทำงานที่เหมาะสมในระบบเครือข่าย โดยหากเกิดสัญญาณรบกวนในระบบหรือการทำสมดุลสัญญาณที่ผิดพลาด ค่า T3 ไทม์เอาท์ที่แสดงถึงความผิดพลาดนั้นจะเกิดจากการหลุดการเชื่อมต่อมามีค่ามากกว่า 10 ครั้ง

3.5.9 T4 ไทม์เอาท์

T4 ไทม์เอาท์เป็นค่าที่แสดงให้เห็นถึงการหลุดการเชื่อมต่อของระบบเครือข่ายที่มีการรับส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ CMTS ไปยังตัวเคเบิลโมเด็ม ซึ่งค่าที่ยอมรับได้ให้การหลุดการเชื่อมต่อแบบ T4 ไทม์เอาท์ คือ 0 ครั้ง จะถือว่าระบบนั้นมีการเชื่อมต่อหรือมีการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ CMTS และเคเบิลโมเด็มได้เป็นอย่างดี ระบบไม่มีการออฟไลน์ (Offline) หรือมีการเชื่อมต่อกันอยู่ระหว่างอุปกรณ์ ส่วนค่าที่แสดงถึงปัญหาในระบบ หรือมีการออฟไลน์ของการทำงานของตัวเคเบิลโมเด็ม ซึ่งค่าการหลุดการเชื่อมต่อแบบ T4 ไทม์เอาท์ที่ ทำให้เกิดผลนั้นคือต้องมีค่ามากกว่า 3 ครั้ง T4 ไทม์เอาท์ คือการพิจารณาการร้องขอและการตอบกลับระหว่างอุปกรณ์ CMTS และเคเบิลโมเด็ม ซึ่งนั้นหมายถึงการทำงานของระบบในชุมสายย่อยหรือของพื้นที่ที่ให้บริการ ค่า T4 ไทม์เอาท์ยังสามารถระบุได้ถึงการไม่ทำงานของเคเบิลโมเด็มในระบบนั้นๆว่ายังทำงานอยู่หรือไม่ หรือเป็นที่การส่งข้อมูลในระบบ ซึ่งจะมีผลกับระบบเป็นอย่างมาก

3.6 ลำดับขั้นตอนในการทำงานและการแก้ไข

3.6.1 การตรวจสอบข้อมูลจากการแจ้งเตือนของระบบแจ้งเตือน

การทำงานของระบบเครือข่ายนั้นจะเป็นการยากที่จะตรวจสอบได้ว่าโหนดใดที่มีประสิทธิภาพที่แย่จึงได้มีการนำค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบเครือข่ายมาทำการจัดการระบบแจ้งเตือน โดยระบบการแจ้งเตือนนี้จะมีความสอดคล้องกับค่าที่ยอมรับได้ คือ มีค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบเครือข่ายต่ำกว่า 89% และค่าที่ถือว่าระบบนั้นถือว่ามีประสิทธิภาพในการทำงานที่ดีมาก คือมีค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบเครือข่ายมากกว่าหรือเท่ากับ 96% โดยมีการทำเป็นเว็บไซต์ออนไลท์ข้อมูลที่จะสามารถเข้าได้เพราะพนักงานของทางผู้ให้บริการเท่านั้น เพื่อที่จะป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดจากการถูกโจรกรรมข้อมูล ซึ่งเว็บไซต์ที่ออนไลท์ดังกล่าวได้มีการจัดทำระบบการแจ้งเตือนและการบันทึกข้อมูลจากฐานข้อมูล เพื่อที่จะสามารถเข้าใช้งานและดูการทำงานของระบบเครือข่ายรวมไปถึงการตรวจสอบข้อมูลเพื่อทำการแก้ไขปัญหาได้สะดวกดังนั้นหากระบบเครือข่ายใดมีค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบเครือข่ายต่ำกว่า 89% ระบบแจ้งเตือนจะทำการแจ้งเตือนบนหน้าจอหลัก ซึ่งเป็นหน้าจอเดียวกันกับการเข้าดูฐานข้อมูลที่ทำการเก็บข้อมูลในการใช้งานของระบบเครือข่าย HFC ทั้งหมดโดยจะเก็บตลอดการทำงานของระบบ โดยระบบการแจ้งเตือนนั้นจะรวมของทุกๆโหนดที่เกิดปัญหาแล้วแสดงออกมาเป็นตารางพร้อมทั้งมีการระบุภูมิภาคที่มีการใช้งาน ซึ่งทำให้มีข้อมูลเยอะมาก เพื่อให้ง่ายต่อการค้นหาจึงต้องมีการระบุภูมิภาค พร้อมทั้งเขตการรับผิดชอบลงไปก่อนเพื่อให้ข้อมูลกระชับลงจะทำให้เกิดความสะดวกมากขึ้น โดยหน้าจอที่แสดงนี้ยังรวมไปถึงข้อมูลของโหนดมีค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบเครือข่ายต่ำที่สุด เพื่อแสดงโหนดที่มีความเสียหายมากที่สุดและควรทำการแก้ไขหรือปรับปรุงเป็นอันดับแรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

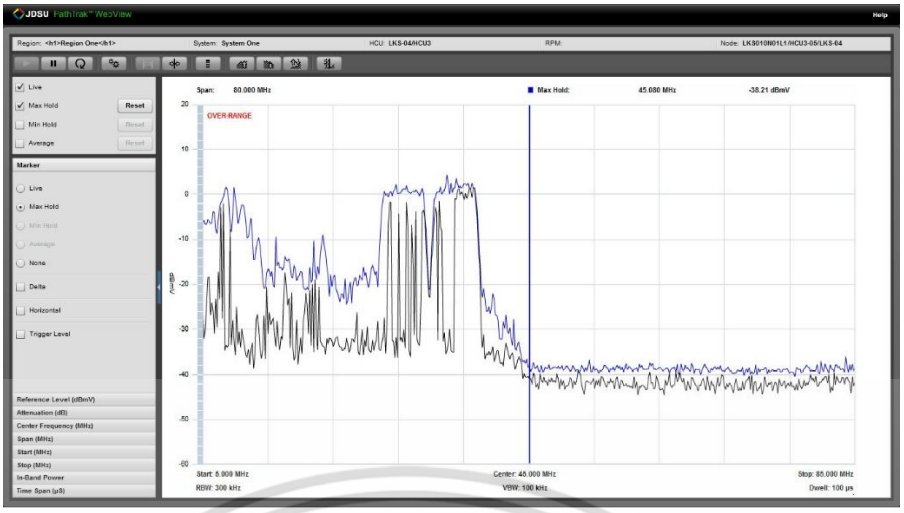
3.6.2 การตรวจสอบค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบเครือข่ายที่เกิดหลังจากระบบแจ้งเตือน

หลังจากที่ระบบทำการแจ้งเตือนแล้ว ทำการระบุภูมิภาคและเขตการรับผิดชอบลงไปในระบบ จากนั้นระบบจะทำการค้นหาและสรุปออกมาเป็นตารางที่สามาถเข้าไปตรวจสอบค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบเครือข่ายที่มีปัญหา พร้อมทั้งค่าเปอร์เซ็นต์ NQI ของพารามิเตอร์ต่างๆ รวมถึงข้อมูลภายในที่จำเป็นร่วมด้วย ขั้นต่อไปจะทำการเก็บข้อมูลในส่วนของค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบเครือข่ายที่แสดงนี้ไว้เพื่อที่จะทำการไปตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงในภายหลังเมื่อเสร็จสิ้นการทำงาน เนื่องจากหลังเสร็จสิ้นการทำงานในแต่โหนดนั้นจะต้องมีการรายงานผลการทำงาน จึงต้องทำการเก็บข้อมูลไว้ใช้ในการเปรียบเทียบก่อนและหลังการทำงาน ในส่วนนี้เป็นส่วนที่ทำให้ทราบถึงปัญหาในแต่ละกรณีที่เจอ เนื่องจากในแต่ละกรณีนั้นการเกิดเหตุการณ์ที่ใกล้เคียงกันอาจจะทำให้ค่าของพารามิเตอร์เปลี่ยน หรืออาจจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น จะเกิดเป็นข้อสรุปในการตรวจสอบข้อมูลเบื้องต้นเพื่อใช้ในการแก้ไข

3.6.3 การตรวจสอบสัญญาณจาก JDSU หลังจากตรวจสอบค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบเครือข่าย

เมื่อเสร็จสิ้นการบันทึกข้อมูลที่จะใช้ในการเปรียบเทียบค่าก่อนและหลังการทำงานของค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบแล้ว จะทำการตรวจสอบค่า JDSU จาก IP แอดเดรส 10.4.109.118 ในเว็บเบราว์เซอร์ ซึ่งการเชื่อมต่อนั้นจำเป็นจะต้องเข้าใช้ในเครือข่ายอินเตอร์เน็ตของผู้ให้บริการเท่านั้น ไม่สามารถเข้าจากการให้บริการอินเตอร์เน็ตอื่นได้ และจะมีการเข้าใช้ได้เมื่อมีรหัสผ่านซึ่งจะต้องเป็นพนักงานของทางผู้ให้บริการเท่านั้น เช่นเดียวกันกับจากเข้าตรวจสอบข้อมูลของค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 และระบบแจ้งเตือน เมื่อเข้าถึงการใช้งานของข้อมูลสัญญาณที่ได้จาก JDSU ทำการใส่ชื่อของออปติคอลโหนดที่มีปัญหาลงไป JDSU จะแสดงค่าของสัญญาณที่เกิดขึ้นในขณะนั้นออกมาโดยมีแกนแนวนอนเป็นค่าความถี่ของสัญญญาณ ซึ่งโดยปกติจะมีการเซ็ตระบบในการอ่านสัญญาณโดยเริ่มต้นการอ่านค่าสัญญาณจากความถี่ 5MHz และทำการหยุดการอ่านค่าสัญญาณที่ความถี่ 85MHz โดยมีค่าสัญญาณความถี่กลางที่ทำการเซ็ตไว้คือ 45MHz สาเหตุที่ทำการเซ็ตระบบการอ่านสัญญาณแบบนี้เนื่องจากสัญญาณที่ทำการอ่านค่านั้นจะอยู่ในด้านสตรีมขาขึ้น ซึ่งเป็นการส่งสัญญาณใดด้านความถี่ต่ำและสัญญาณนั้นจะถูกรบกวนจากสัญญาณรบกวนได้ง่าย ในส่วนของแกนแนวตั้งเป็นส่วนของค่าความแรงของสัญญาณ โดยปกติจะทำการเซ็ตค่าของสัญญาณรบกวนพื้นฐานของระบบอยู่ที่ -40dBmV และสัญญาณจะมีค่าไม่ 2dBmV หากสูงเกินจะแสดงให้เห็นถึงสัญญาณที่เกิดการโอเวอร์เรนจ์ (Over-Range) ทำให้ระบบเกิดการทำงานที่หนักและสัญญาณข้อมูลที่ได้มีความไม่ถูกต้อง ข้อมูลที่รับได้ผิดพลาด (ปกติสัญญาณจะมีความแรงไม่เกิน 0dBmV ตามมาตราฐานสัญญาณ ซึ่งระบบมีการทำช่วงในการแกว่งไว้ 2dBmV เพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้โดยไม่เกิดการโอเวอร์เรนจ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 การตรวจสอบค่าสัญญาณจาก JDSU จากตัวอย่างโหนด LKS010N01L1

จากรูปที่ 3.13 แสดงให้เห็นถึงค่าของสัญญาณที่ JDSU ตรวจสอบได้ในโหนดทางแสงตัวอย่าง คือ LKS010N01L1 หลังจากนั้นทำการบันทึกค่าสัญญาณก่อนการแก้ไข ด้วยเหตุผลเดียวกันกับที่ทำการเก็บข้อมูลจากค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบเครือข่าย เนื่องจากการทำรายงานเปรียบเทียบผลที่ได้จะทำให้ง่ายต่อการทำการแก้ไข และการพิจารณาข้อมูลต่อไป

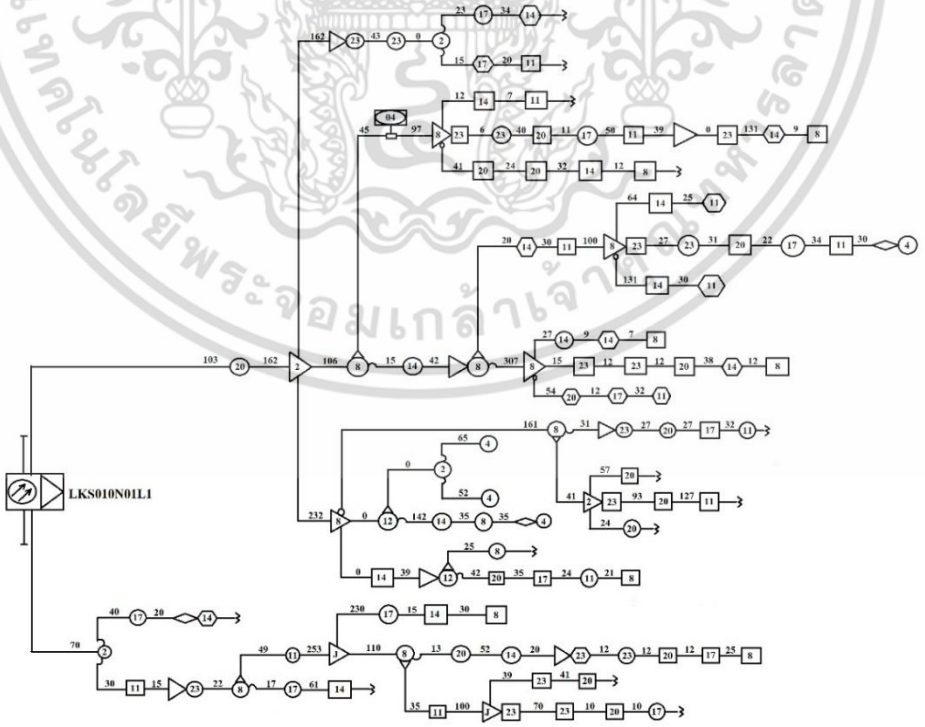
3.6.4 การตรวจสอบแบบแผนการวางเครือข่ายในโหนดที่มีปัญหา

หลังจากการตรวจสอบค่าสัญญาณที่ได้จาก JDSU และทำการบันทึกผลเสร็จสิ้น สิ่งที่จำเป็นในการแก้ไขระบบนั้นคือการทราบถึงการวางตำแหน่งของอุปกรณ์ต่างๆ และโครงสร้างในการวางอุปกรณ์ที่ถูกติดตั้งตามเสา หรือติดอยู่กับบ้านของผู้ใช้บริการ ซึ่งแบบแผนการวางเครือข่ายจะเป็นข้อมูลอีกแบบหนึ่งที่บุคคลที่ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องไม่สามารถเข้าถึงหรือเข้าไปทำการแก้ไขได้ จะมีเพียงแค่พนักงานของทางผู้ให้บริการที่สามารถเข้าถึงข้อมูลได้ โดยแบบแผนจะถูกออนไลท์ในระบบที่ต้องมีการกรอกรหัสผู้ใช้งานเช่นเดียวกับ การตรวจสอบค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบเครือข่าย และการตรวจสอบค่าสัญญาณจาก JDSU โดยทำการออนไลท์เส้นทางเอาไว้เพื่อให้เกิดความสะดวกในการค้นหาและสามารถเข้าถึงได้ง่ายไม่มีความซับซ้อน เนื่องจากก่อนหน้านี้ได้ทำการตรวจสอบทั้งค่า NQI9 และค่าสัญญาณจาก JDSU ทำให้ทราบถึงข้อมูลของโหนดที่ผิดพลาด ทำการระบุชื่อของโหนดทางแสงลงไปเพื่อค้นหาแผนการวางเครือข่าย และพร้อมเข้าทำการแก้ไขได้ทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.14 ตัวอย่างแบบแผนการวางเครือข่ายที่ปรากฏในระบบออนไลท์บางส่วน จากตัวอย่างโหนด LKS010N01L1

จากรูปที่ 3.14 แสดงให้เห็นถึงตัวอย่างแบบแผนการวางเครือข่ายที่ปรากฏในระบบออนไลท์อย่างคร่าวๆ เนื่องจากในแบบแผนของการวางเครือข่ายในหนึ่งโหนดนั้นมีขนาดใหญ่จำเป็นจะต้องพิจารณาในแต่ละเส้นทาง ในตัวอย่างในดังกล่าวเป็นเพียงส่วนหนึ่งในแบบแผนการวางเครือข่ายเท่านั้น ซึ่งแบบแผนการวางเครือข่ายทั้งหมดแสดงได้ในรูปที่ 3.15 ซึ่งแสดงแบบแผนการวางเครือข่ายที่ใช้ในการวางแผนและการคำนวณก่อนการติดตั้งระบบเครือข่าย



รูปที่ 3.15 แบบแผนการวางเครือข่ายที่ใช้ในการวางแผนและการคำนวณก่อนการติดตั้งระบบเครือข่าย จากตัวอย่างโหนด LKS010N01L1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.5 การลงพื้นที่เพื่อทำการแก้ไขระบบเครือข่ายในโหนดที่มีปัญหา

หลังจากทำการตรวจสอบค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบเครือข่าย, ตรวจสอบค่าสัญญาณจาก JDSU และพิจารณาแบบแผนการวางเครือข่ายเพื่อจะทราบถึงการตั้งอยู่ของอุปกรณ์โหนดทางแสง อุปกรณ์มินิบริดเจอร์ และอุปกรณ์ไลแอ็คเทนเดอร์ พร้อมทั้งระบุตำแหน่งในการเดินทางไปยังอุปกรณ์โหนดทางแสง โดยจะมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

3.6.5.1 การตรวจสอบการสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นที่อุปกรณ์โหนดทางแสง

ทำการเปิดตัวโปรแกรม JDSU ออนไลท์ทิ้งไว้ แล้วจากนั้นทำการปลดสายโคแอคเชียลของสัญญาณขาออกของอุปกรณ์โหนดทางแสงที่ละขา เพื่อตรวจสอบหาสัญญาณรบกวนที่ปรากฏ เมื่อทำการปลดสายโคแอคเชียลจะสังเกตได้ว่าสัญญาณเกิดการลดลง ซึ่งเป็นปกติของการปลดสายสัญญาณ หากสายโคแอคเชียลใดในช่องสัญญาณขาออกลดลงแสดงให้เห็นถึงสัญญาณรบกวนที่เข้ามารบกวนในระบบเครือข่ายเกิดจากสายโคแอคเชียลเส้นนั้น ทำการพิจารณาเส้นทาง ในแบบแผนการวางเครือข่าย เพื่อให้ทราบถึงเส้นทางของสายโคแอคเชียลที่มีสัญญาณรบกวนเข้ามาในระบบ หลังจากนั้นทำการตรวจสอบอุปกรณ์ขยายสัญญาณที่มีการติดตั้งถัดไปจากอุปกรณ์ โหนดทางแสง เพื่อให้ทราบตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์แล้วทำการเดินทางหาอุปกรณ์ดังกล่าว

3.6.5.2 การตรวจสอบอุปกรณ์ขยายสัญญาณ

เมื่อทำการตรจสอบและทราบถึงสัญญาณรบกวนที่เข้ามาในระบบแล้ว ขั้นต่อไปคือการตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ขยายสัญญาณ ได้แก่ อุปกรณ์มินิบริดเจอร์ และอุปกรณ์ไลแอ็คเทนเดอร์ โดยจะทำงานตรวจสอบสัญญาณก่อนเข้าและหลังเข้าตัวขยาย เพื่อพิจารณาค่าของอุปกรณ์ภายในคือ อุปกรณ์อีควอไลเซอร์และอุปกรณ์แพด โดยอุปกรณ์ทั้งสองตัวมีหน้าที่ในการปรับสัญญาณและลดทอนสัญญาณ หากค่าในการลดทอนถูกต้องแล้วแสดงว่าสัญญาณรบกวนนั้นเกิดจากสาเหตุอื่น ทำการถอนสายแล้วตรวจสอบสายโอแอคเชียลที่ทำการถอดออกแล้วสัญญาณณบกวนในระบบลดลง ในแบบแผนการวางเครือข่ายนั้นโดยปกติจะมีการต่ออุปกรณ์มินิบริดเจอร์ก่อนที่จะเชื่อมต่อผ่านสายโคแอคเชียลเข้าอุปกรณ์ไลแอ็คเทนเดอร์ในลำดับต่อไป แต่หากมีจุดที่การเชื่อมต่อเข้าถึงยากก็จะทำการต่ออุปกรณ์ไลแอ็คเทนเดอร์ก่อนเพื่อขยายสัญญาณก่อน ซึ่งอุปกรณ์ทั้งสองนี้มีส่วนขยายสัญญาณซึ่งหากมีสัญญาณรบกวนเข้ามาในระบบเครือข่าย สัญญาณรบกวนนั้นก็จะถูกขยายรวมไปด้วย ดังนั้นเมื่อพิจารณาสัญญาณที่เข้ามาและปลดสาย เพื่อหาสายโคแอคเชียลที่มีสัญญาณรบกวนเข้ามาในระบบ และทำการตรวจสอบหาข้อผิดพลาดจากสายโคแอคเชียลเส้นดังกล่าว

3.6.5.3 การตรวจสอบอุปกรณ์แยกสัญญาณที่เชื่อมต่อไปยังผู้ใช้บริการ

การตรวจสอบอุปกรณ์แยกสัญญาณเป็นการทำการตรวจสอบขั้นสุดท้ายในการตรวจสอบหาสัญญาณรบกวนที่ปรากฏขึ้นในระบบ ซึ่งตัวอุปกรณ์แยกสัญญาณนั้นจะมีหน้าที่แยกสัญญาณไปยังผู้ใช้บริการ สัญญาณรบกวนที่เกิดมักจะเกิดจากจุดการเชื่อมต่อในส่วนนี้เนื่องจากมีหลายปัจจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการที่ทำให้เกิดสัญญาณรบกวน เช่น การเชื่อมต่อที่ไม่ดีของพนักงานของผู้ให้บริการที่ทำการซ่อมบำรุงหรือติดตั้ง, ผู้ใช้งานรายเก่าเลิกใช้บริการ แต่ยังคงสภาพการเชื่อมต่อเพียงแต่ปลด สายโคแอคเชียลที่ใช้งานออก ทำให้เกิดสัญญาณรบกวนเข้ามาในระบบ และปรากฏการณ์ จากธรรมชาติ เป็นต้น

ซึ่งหากทำการปลดสายโคแอคเชียลในส่วนนี้แล้วพบว่าสัญญาณรบกวนนั้นหาย ให้ทำการตรวจสอบสายโคแอคเชียลที่ทำการเชื่อมต่อว่ามีส่วนที่ชำรุด หรือสาเหตุอื่นใดที่จะต้องทำการแก้ไข เช่น การเข้าหัวสายไม่ถูกต้อง, การตัดสายที่ไม่ดีพอ, การให้ตัวเชื่อมต่อผิดรุ่น, ความยาวสายที่ทำการเชื่อมต่อมีความยาวสั้นเกินหรือยาวมากเกินไป เป็นต้น โดยเริ่มจากการแก้ไขภายนอกอาคารก่อนที่จะทำการขอทำการแก้ไขในอาคารหรือบ้านของผู้ใช้บริการ โดยหากทำการแก้ไขที่ภายนอกอาคารแล้วปรากฏว่าสัญญาณรบกวนในระบบหายไปแล้วก็หมายถึงการเสร็จสิ้นในการตรวจสอบและแก้ไขระบบเครือข่ายในโหนดทางแสงนั้น หากสัญญาณรบกวนในระบบยังไม่หายไปถึงจะทำการแก้ไขภายในอาคารต่อไป

เมื่อทำการแก้ไขเสร็จสิ้นตรวจสอบผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบเครือข่ายและค่าของสัญญาณหลังการแก้ไข พิจารณาว่าค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบเครือข่าย หลังจากการแก้ไขนั้นมีค่ามากกว่าค่าที่ยอมรับได้หรือไม่ เพื่อให้ระบบเครือข่ายสามารถทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ พร้อมทั้งรวบรวมสาเหตุที่ทำให้เกิดสัญญาณรบกวน ทำเป็นฐานข้อมูลเพื่อใช้ในการแก้ไขระบบเครือข่ายในครั้งต่อไป

3.6.5.4 กรณีที่เกิดความผิดพลาดในการตรวจสอบ

จากหัวข้อที่ 3.7.5.1 ถึง 3.7.5.3 นั้นเป็นขั้นตอนการแก้ปัญหาโดยปกติทั่วไปที่ใช้ในการแก้ไขระบบเครือข่าย หากแต่มีบางกรณีที่ต้องใช้ความซับซ้อนและความชำนาญในการทำการแก้ไข เนื่องจากการทำในขั้นตอนที่ผ่านมาดังกล่าวอาจจะไม่พบเจอสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการเชื่อมต่อสายโอแอคเชียลที่อาคารหรือบ้านของผู้ใช้งาน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- หากทำการเปลี่ยนตัวเชื่อมต่อของสายโคแอคเชียล หรือการเข้าหัวสายโคแอคเชียลใหม่ ปรากฏว่าสัญญาณรบกวนไม่ลดลงจากจุดเชื่อมต่อที่อาคารหรือบ้านของผู้ใช้งาน จำเป็นจะต้องทำการตรวจสอบใหม่จากอุปกรณ์แยกสัญญาณข้างเคียง หรืออุปกรณ์ขยายสัญญาณ ว่ามีส่วนใดที่ชำรุดเพิ่มเติมหรือหลุดหลวมซึ่งต้องกลับไปตรวจสอบ
- เมื่อทำการตรจสอบแล้วปรากฏว่ามีสัญญาณรบกวนเกิดจากอุปกรณ์ขยายสัญญาณ ให้ทำการเข้าหัวสายโคแอคเชียลใหม่ พร้อมทั้งทำปรับสัญญาณ และทำการลดสัญญาณรบกวนซึ่งกล่าวในบทที่ 2 โดยการเปลี่ยนอุปกรณ์อีควอไลเซอร์ และอุปกรณ์แพดภายใน ตรวจสอบค่าสัญญาณที่จุดตรวจสอบในอุปกรณ์เพื่อทำการปรับอุปกรณ์ภายใน หากค่าของสัญญาณอยู่ในระดับมาตรฐานที่จุดตรวจสอบของอุปกรณ์แล้วให้ทำการต่อสายโคแอคเชียลเข้าไป หากพิจารณาสัญญาณจาก JDSU แล้วสัญญาณรบกวนหายก็เป็นอันเสร็จสิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หากทำการตรวจสอบสัญญาณ พร้อมทั้งปรับสัญญาณ และลดสัญญาณรบกวนแล้ว สัญญาณรบกวนที่พิจารณาจาก JDSU ไม่มีการลดลงจำเป็นต้องกลับไปเช็คค่าความแรงของสัญญาณ เนื่องจากสัญญาณรบกวนที่เกิดอาจจะเป็นผลจากการส่งสัญญาณที่แรงเกินไปของอุปกรณ์โหนดทางแสง ต้องไปทำการแก้ไขที่สถานีฐานที่ตั้งรวมอยู่กับ อุปกรณ์ CMTS เพื่อตรวจสอบความแรงของสัญญาณที่ส่งออกมาจากอุปกรณ์อื่นๆ ซึ่งอาจจะทำให้ค่าความแรงที่ส่งไปยังอุปกรณ์โหนดทางแสงมีความแรงมากเกินไป

3.6.5.5 กรณีการใช้ค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ในการตรวจสอบความผิดพลาด

ในการใช้ตารางการชี้วัดเครือข่ายด้วยค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบเครือข่ายเพื่อใช้ในการตรวจสอบความผิดพลาดในระบบเครือข่ายที่ทำการพิจารณา ค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบเครือข่ายถูกสร้างขึ้นมาเพื่อทำการพิจารณาเครือข่ายว่าในเครือข่ายที่ให้ความสนใจหรือทำการตรวจสอบนั้นมีลักษณะการทำงานโดยรวมเป็นอย่างไร เพื่อที่จะได้หาแนวทางการปรับปรุงแก้ไขและทำการรวบรวมปัญหาที่เกิดขึ้น ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการทำงานโดยข้อมูลในส่วนนี้จะทำให้การแก้ไขระบบในครั้งต่อไป ให้มีความสะดวกมากและรวดเร็วมากขึ้น ซึ่งค่าของเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบ กับค่าเปอร์เซ็นต์ NQI ของแต่ละพารามิเตอร์นั้นจะต่างการ คือค่าของเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบ จะบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการทำงานโดยรวมของระบบเครือข่ายนั้นๆ ซึ่งเป็นค่าที่ใช้เพื่อบ่งบอกประสิทธิภาพการทำงานของเครือข่าย ซึ่งค่านี้จะต้องมีค่ามากกว่า 89% โดยค่าเปอร์เซ็นต์นี้แสดงถึงค่าเปอร์เซ็นต์ขั้นต่ำที่สามารถยอมรับได้ ระบบเครือข่ายสามารถทำงานได้ตามปกติ แต่อาจจะมีปัญหาเกิดขึ้นได้ในอนาคตหากระบบเครือข่ายมีค่าต่ำกว่า 89% สามารถบ่งบอกถึงระบบเครือข่ายที่มีความเสียหายมากในการทำงาน แต่หากระบบเครือข่ายมีค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบเครือข่ายมากกว่าหรือเท่ากับ 96% สามารถบ่งบอกถึงคุณภาพการทำงานของระบบเครือข่ายที่มีประสิทธิภาพการทำงานที่ดีมาก เกิดความเสียหายในการทำงานน้อย และระบบสามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพในระยะยาว

ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์ NQI ของแต่ละพารามิเตอร์นั้น จะบ่งบอกถึงการทำงานของเครือข่ายในเชิงลึก ซึ่งจะมีผลการทำงานสัมพันธ์โดยมีการแบ่งเป็น 4 ส่วนหลักๆ ดังที่กล่าวในบทที่ 2 คือ ค่าพารามิเตอร์ที่วัดในเชิงค่ากำลังงาน, ค่าพารามิเตอร์ที่วัดในเชิงค่ากำลังสัญญาณ, ค่าพารามิเตอร์ที่วัดในเชิงค่าอัตราการส่งข้อมูลผิดพลาดแบบโค้ดเวิร์ด และค่าพารามิเตอร์ที่วัดในเชิงค่าจำนวนครั้งในการหลุดการเชื่อมต่อระหว่าง CMTS กับ เคเบิลโมเด็มของผู้ใช้บริการ โดยค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของแต่ละพารามิเตอร์ สามารถตรวจสอบการทำงานในแต่ละพารามิเตอร์ซึ่งผลการเปลี่ยนแปลงนั้น จะขึ้นอยู่กับการทำงานของระบบเครือข่ายโดยรวมด้วย ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลที่ว่าหากค่าเปอร์เซ็นต์ NQI ของแต่ละพารามิเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางลบ จะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบเครือข่ายมีการทำงานไปในทิศทางลบ หรือมีประสิทธิภาพการทำงานที่ไม่เหมาะสม และในทางกลับกันหากค่าเปอร์เซ็นต์ NQI ของแต่ละพารามิเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางบวก จะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบเครือข่ายมีการทำงานไปในทิศทางบวกเช่นกัน หรือมีประสิทธิภาพการทำงานที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในตารางที่ 3.3-3.6 จะแสดงให้เห็นเปอร์เซ็นต์ NQI ของพารามิเตอร์ที่เสียหายจากปัญหาที่เกิดในระบบเครือข่าย ซึ่งจะระบุค่าเปอร์เซ็นต์ NQI ของพารามิเตอร์ที่ต่ำกว่าเกณฑ์ที่ใช้ในการชี้วัดเครือข่ายตามตารางที่ 3.2 ด้วยเครื่องหมายกากบาท และเครื่องหมายขีด แสดงถึงเปอร์เซ็นต์ NQI ของพารามิเตอร์ที่มีการเปลี่ยนแปลงแต่ไม่ต่ำกว่าเกณฑ์ที่ระบุไว้

ตารางที่ 3.3 เปอร์เซ็นต์ NQI ของพารามิเตอร์ที่เสียหายจากปัญหาพร้อมการแก้ไขเบื้องต้น

ปัญหา	เปอร์เซ็นต์ NQI ของพารามิเตอร์ที่ได้รับความเสียหาย ซึ่งระบุด้วย(X)									การแก้ไขเบื้องต้น
	US-SNR	DS-SNR	US-Tx PWR	DS-RX PWR	US-RX PWR	US-CW Error	DS-CW Error	T3	T4	
1. การทำสมดุลสัญญาณที่ไม่ดีพอ	X	-	X	X	X	X	X	-	-	- ทำสมดุลสัญญาณที่อุปกรณ์ขยายสัญญาณใหม่
2. การทำงานของเคเบิลโมเด็มที่มีปัญหา	X	X	X	X	-	X	X	-	-	- ตรวจสอบการทำงานในการส่งข้อมูลของเคเบิลโมเด็มกับอุปกรณ์ CMTS
3. การหลุดการเชื่อมต่อระหว่างเคเบิลโมเด็มกับอุปกรณ์ CMTS แบบที่ 1	-	-	-	-	-	X	X	X	-	- ตรวจสอบการทำงานของเคเบิลโมเด็ม
4. การหลุดการเชื่อมต่อระหว่างเคเบิลโมเด็มกับอุปกรณ์ CMTS แบบที่ 2	-	-	-	-	-	X	X	-	X	- ตรวจสอบการโคแอคเชียลที่ใช้ในการส่งสัญญาณในเส้นทางของเคเบิลโมเด็มนั้น
5. การหลุดการเชื่อมต่อระหว่างเคเบิลโมเด็มกับอุปกรณ์ CMTS แบบที่ 3	-	-	-	-	-	-	-	X	X	- ตรวจสอบอุปกรณ์ขยายสัญญาณ เนื่องจากอาจมีการใช้อุปกรณ์ขยายสัญญาณผิดรุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 เปอร์เซ็นต์ NQI ของพารามิเตอร์ที่เสียหายจากปัญหาพร้อมการแก้ไขเบื้องต้น (ต่อ)

ปัญหา	เปอร์เซ็นต์ NQI ของพารามิเตอร์ที่ได้รับความเสียหาย ซึ่งระบุด้วย(X)									การแก้ไขเบื้องต้น
	US-SNR	DS-SNR	US-Tx PWR	DS-RX PWR	US-RX PWR	US-CW Error	DS-CW Error	T3	T4	
6. อุปกรณ์ขยายสัญญาณของระบบเครือข่ายมีปัญหา	X	X	X	X	X	X	X	-	-	- เปลี่ยนอุปกรณ์ขยายใหม่และทำการปรับสัญญาณใหม่
7. การใส่ PAD หรือ อุปกรณ์อีควอไลเซอร์ผิดเบอร์	X	X	-	-	-	-	-	-	-	- ทำการเปลี่ยน PAD หรือ EQ ให้ถูกเบอร์ด้วยการคำนวณค่าสัญญาณใหม่และทำการปรับสัญญาณใหม่
8. การเชื่อมต่อของตัวเชื่อมต่อที่ผิดพลาด	X	-	X	-	-	X	X	-	-	- ทำการเชื่อมต่อของตัวเชื่อมต่อใหม่ระหว่างอุปกรณ์กับสายโคแอคเชียล
9. ปัญหาจากสายโคแอคเชียลขาด หรือชำรุดมาก	X	X	X	X	X	X	X	X	X	- ตรวจสอบสายโคแอคเชียลที่มีสัญญาณรบกวนเข้ามาในระบบและทำการเปลี่ยนสายโคแอคเชียลใหม่
10. อุปกรณ์ขยายสัญญาณที่ติดตั้งใกล้กันเกินไป	X	X	-	X	X	-	-	-	-	- ทำการติดตั้งอุปกรณ์ขยายให้มีระยะห่างที่เหมาะสมตามแบบแผนการวางเครือข่าย
11. การทำการเชื่อมต่อสายโค-แอคเชียลกับอุปกรณ์ที่ไม่สนิทเพียงพอ	X	X	-	X	X	X	-	X	-	- ทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์กับสายโคแอคเชียลให้สนิทเพียงพอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5 เปอร์เซ็นต์ NQI ของพารามิเตอร์ที่เสียหายจากปัญหาพร้อมการแก้ไขเบื้องต้น (ต่อ)

ปัญหา	เปอร์เซ็นต์ NQI ของพารามิเตอร์ที่ได้รับความเสียหาย ซึ่งระบุด้วย(X)									การแก้ไขเบื้องต้น
	US-SNR	DS-SNR	US-Tx PWR	DS-RX PWR	US-RX PWR	US-CW Error	DS-CW Error	T3	T4	
12. การรบกวนสัญญาณที่เกิดจากการเชื่อมอาร์ค	X	-	X	-	-	-	-	-	-	- ทำการตรวจสอบแหล่งกำเนิดสัญญาณทางไฟฟ้าและเปลี่ยนจุดการเชื่อมต่อนั้น เนื่องจากสัญญาณรบกวนเป็นอิมพัลจึงเกิดในช่วงเวลาอันสั้น
13. การรบกวนสัญญาณที่เกิดจากการปล่อยสายโคแอคเชียลหรือสายดรอป-วายลอยเปล่าโดยไม่มีการเชื่อมต่อ	X	-	X	X	-	X	X	-	-	- ทำการยกเลิกการติดตั้งสายโคแอคเชียลหรือสายดรอปวายที่ลอยเปล่า เพื่อไม่ให้มีสัญญาณเข้าไปรบกวนในระบบเครือข่าย
14. การเข้าหัวสายโคแอคเชียลผิดขนาด	X	X	X	-	-	X	X	-	-	- ตรวจสอบพอร์ตที่จะทำการเชื่อมต่อและเบอร์ของตัวเชื่อมต่อให้ตรงกันก่อนทำการเข้าหัวสายโคแอคเชียลใหม่
15. การใช้สายโคแอคเชียลที่มีความยาวไม่ถูกต้องตรงตามแบบแผนการวางเครือข่าย	X	X	X	X	X	-	-	-	-	- ทำการปรับความยาวของสายโคแอคเชียลให้เป็นไปตามแบบแผนการวางเครือข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6 เปอร์เซ็นต์ NQI ของพารามิเตอร์ที่เสียหายจากปัญหาพร้อมการแก้ไขเบื้องต้น (ต่อ)

ปัญหา	เปอร์เซ็นต์ NQI ของพารามิเตอร์ที่ได้รับความเสียหาย ซึ่งระบุด้วย(X)									การแก้ไขเบื้องต้น
	US-SNR	DS-SNR	US-Tx PWR	DS-RX PWR	US-RX PWR	US-CW Error	DS-CW Error	T3	T4	
16. สายดรอป-วายที่ใช้ในการแยกสัญญาณจากอุปกรณ์แทปชำรุด	X	-	-	-	-	X	-	-	-	- ตรวจสอบสายดรอปวายจากอุปกรณ์แทปนั้นเพื่อปรับปรุงแก้ไขและทำการเข้าหัวสายดรอปวายใหม่
17. การรบกวนสัญญาณที่เกิดจากสัญญาณรบกวนอินเกรส	X	-	-	X	-	X	-	-	-	- ทำการตรวจสอบแก้ไขสัญญาณรบกวนที่เข้ามาในเครือข่าย
18. สายใยแก้วนำแสงชำรุดหรือเชื่อมต่อไม่สนิทพอ	X	X	-	-	X	X	X	-	-	- ทำการเชื่อมสายใยแก้วนำแสงใหม่ หรือหากมีการเชื่มต่อไม่สนิทให้ทำการเชื่อมต่อใหม่
19. การเข้าหัวสายโคแอคเชียลที่มีความยาวสายมากหรือสั้นเกินไป	X	-	X	-	X	-	-	X	-	- ทำการเข้าหัวสายโคแอคเชียลใหม่ ให้มีความสมบูรณ์ไม่มีสายยาวออกมามากหรือสั้นเกินไป
20. อุปกรณ์ที่ใช้ในแยกสัญญาณมีปัญหา	X	-	X	-	-	-	-	-	-	- ทำการเปลี่ยนอุปกรณ์แยกสัญญาณที่มีปัญหานั้น โดยตรวจสอบจากสัญญาณที่เกิดจากอุปกรณ์แยกสัญญาณ
21.การตัดสายโคแอคเชียลเพื่อเข้าหัวแล้วทำให้เกิดรอยร้าวที่ปลายสาย	X	X	-	-	-	-	-	-	-	- ทำการตัดสายโคแอคเชียล เพื่อทำการเข้าหัวสายใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การปรับปรุงสมรรถนะของเครือข่าย DOCSIS โดยพิจารณาจากการวิเคราะห์ดัชนีคุณภาพ NQI9

4.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการศึกษาการวิเคราะห์ดัชนีคุณภาพ NQI9 ในระบบเครือข่าย HFC โดยทำการเก็บผลจากพื้นที่ตัวอย่างที่ทำการศึกษา ทำการทดสอบค่าเปอร์เซ็นต์ NQI ของแต่ละพารามิเตอร์และค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบเครือข่าย ซึ่งมีความเกี่ยวเนื่องกับปัญหาต่างๆและสัญญาณรบกวนที่เกิดภายในระบบ เพื่อทำการหาสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นและการกำจัดสัญญาณรบกวน พร้อมทั้งเก็บรวบรวมข้อมูลจากปัญหาและสาเหตุที่เกิดพร้อมทั้งการรวบรวมแนวทางและการแก้ไขปัญหา เพื่อความสะดวกต่อการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ และช่วยให้ระบบเครือข่ายกลับมาใช้งานระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4.2 การพิจารณาข้อมูล

ในการใช้งานข้อมูลของค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 นั้นสิ่งหนึ่งที่เราสามารถตรวจสอบได้ก่อนการไปลงพื้นที่คือข้อมูลของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ซึ่งในตารางเกณฑ์ชี้วัดเครือข่ายของพารามิเตอร์ จะเห็นได้ว่ามีช่วงค่าการดูค่าที่แตกต่างกันโดยที่ค่า NQI ของแต่ละพารามิเตอร์ แต่ค่าของ NQI9 ของระบบจะต้องมีค่ามากกว่า 96 เปอร์เซ็นต์ ดังที่กล่าวในบทที่ 3 คือระบบสามารถทำงานได้แม้ว่าจะมีบางพารามิเตอร์ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์พารามิเตอร์ที่ต่ำกว่าเกณฑ์ เนื่องจากในบางครั้งตัวพารามิเตอร์นั้นบอกสถานการณ์ทำงานที่ต่างออกไป เช่นหากมีการหลุดการเชื่อมต่อจากเคเบิลโมเด็มเรื่อยๆ คือมีค่าของทีสามไทม์เอาท์ต่ำ แต่ระบบกลับแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบเครือข่ายที่สูงแสดงได้ถึงระบบที่มีความเสถียรแต่อาจจะมีตัวเคเบิลโมเด็มในระบบบางตัวที่มีปัญหา หากจะทำการแก้ไขให้ทำการแก้ไขเพียงตัวเคเบิลโมเด็มตัวที่มีปัญหา ซึ่งไม่ได้แก้ไขระบบทั้งหมดนั้นเอง

การที่ทราบข้อมูลของค่าเปอร์เซ็นต์ NQI ของแต่ละตัวของพารามิเตอร์นั้น จะใช้เพื่อการตรวจสอบข้อมูลในเบื้องต้นว่ามีปัญหาจากระบบเครือข่าย HFC ในส่วนโหนดทาแสงใด จากนั้นจึงทำการลงพื้นที่ไปยังที่ตั้งของโหนดทางแสงที่เป็นตัวอุปกรณ์ต้นทางนั้น เพื่อทำการปรับปรุงแก้ไขการทำงาน และอุปกรณ์ที่อาจจะมีปัญหาของระบบในเครือข่าย ในการแก้ไขค่าพารามิเตอร์ต่างๆส่วนใหญ่จะทำการปรับปรุงที่ภายในตัวอุปกรณ์ขยายสัญญาณในกรณีที่เกิดการยกระดับของสัญญาณรบกวนพื้นฐาน เช่นการเปลี่ยนค่าการลดทอน หรือการเพิ่มค่าการลดทอน และการตรวจสอบการเชื่อมต่อของตัวเชื่อมต่อกับสายโคแอคเชียลพร้อมทั้งการเข้าหัวสายโคแอคเชียล ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวนั้นจะอยู่ระหว่างการส่งรับข้อมูลของเคเบิลโมเด็มและอุปกรณ์ CMTS หรือในเครือข่าย HFC ซึ่งได้กล่าวไปในบทที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

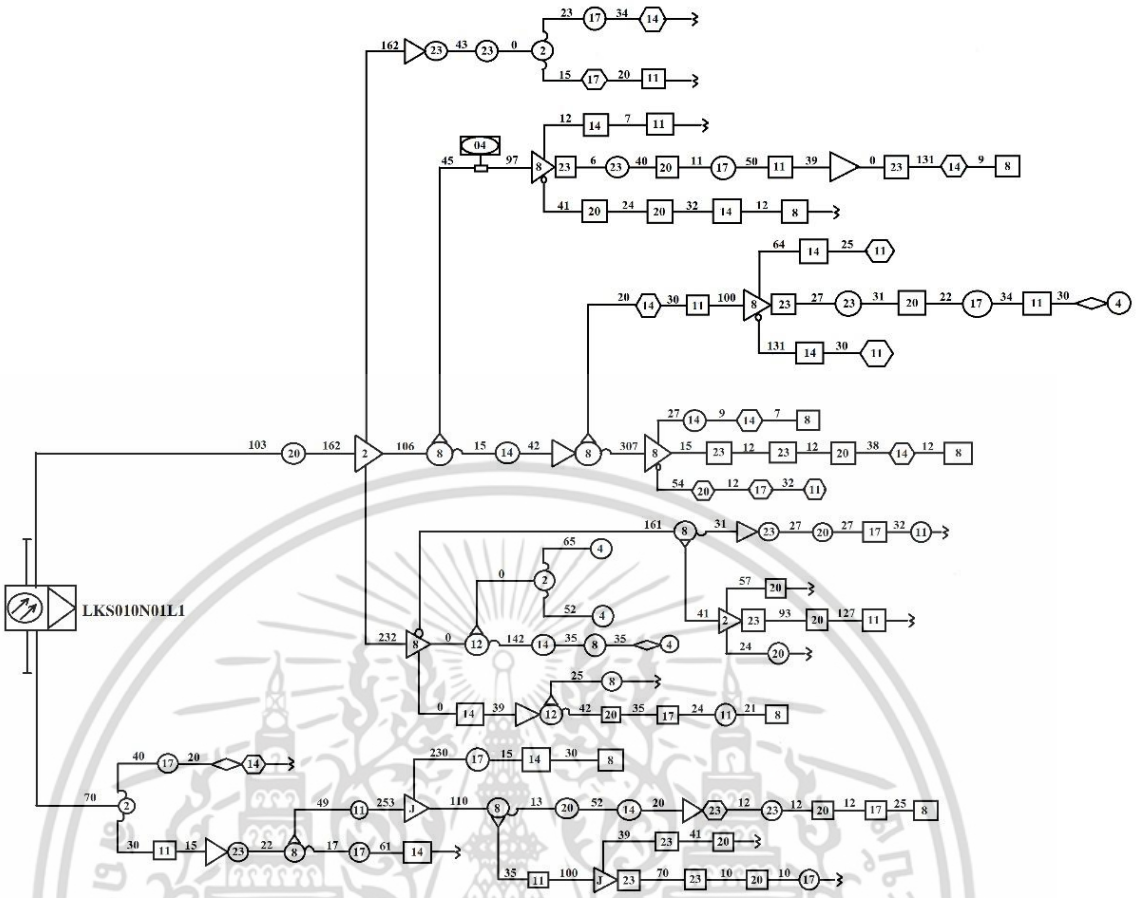
4.3 การใช้งานค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบเครือข่ายในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงาน

ในการใช้ค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบเครือข่าย เพื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูล ระบุปัญหาที่ปรากฏ พร้อมทั้งการแก้ไขสัญญาณของระบบให้กลับมามีประสิทธิภาพในการทำงานที่เหมาะสม โดยการนำเกณฑ์การชี้วัดเครือข่ายมาใช้งานกับพื้นที่ของเครือข่าย HFC ที่มีการวางแบบแผนการทำงานเพื่อระบุความสามารถในการใช้งานของเกณฑ์การชี้วัดเครือข่ายโดยใช้ค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบเครือข่ายพร้อมทั้งระบุค่าเปอร์เซ็นต์ NQI ของแต่ละพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบ พร้อมทั้งการตรวจสอบ ปรับปรุงแก้ไขสัญญาณและเครือข่าย

การวิเคราะห์ข้อมูลในการลงพื้นที่นั้นจำเป็นจะต้องเลือกพื้นที่โหนดที่ให้บริการที่จะทำการแก้ไขหรือวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงาน ซึ่งโหนดที่ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลและทำการลงพื้นเพื่อทำการแก้ไขในวันที่ 11 พฤษภาคม พ.ศ.2559 ซึ่งใช้ข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบเครือข่ายและข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์ NQI ของแต่ละพารามิเตอร์ ในวันที่ 10 พฤษภาคม พ.ศ. 2559 เพื่อดูแนวโน้มจากวันที่ 10 พฤษภาคม พ.ศ. 2559 ก่อนที่จะเข้าไปทำการแก้ไขระบบ

ซึ่งพื้นที่ที่เกิดค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ต่ำที่สุดในวันที่ทำการเก็บข้อมูลนั้นอยู่ในเขตพื้นที่ LKS เป็นพื้นที่การให้บริการในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร ซึ่งโหนดทางแสงที่ให้บริการที่มีปัญหานั้นมีรหัสหรือชื่อของโหนดนั้นคือ LKS010N01L1 เหตุที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบต่ำสุด เนื่องจากเมื่อทำการจัดลำดับข้อมูลแล้วปรากฏโหนด LKS010N01L1 ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบ คือ 88.49% โดยเครือข่าย HFC ของพื้นที่โหนด LKS010N01L1 แสดงได้ดังรูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 การวางโครงข่ายหรือเครือข่าย HFC ของพื้นที่ LKS ที่โหนด LKS010N01L1

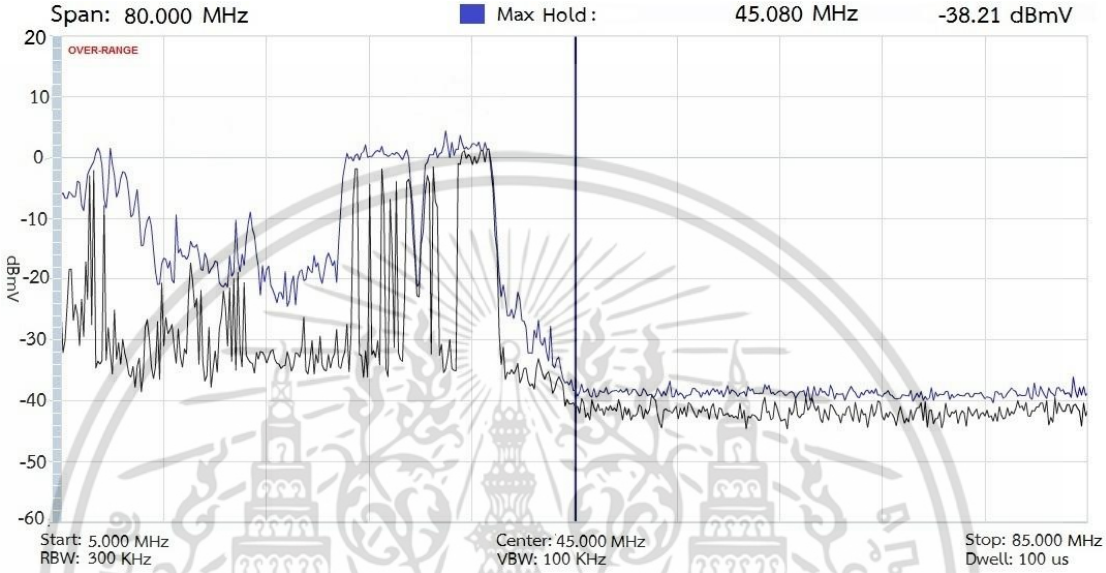
จากรูปที่ 4.1 เป็นรูปแบบในการวางเครือข่าย HFC ของพื้นที่โหนด LKS00N01L1 จะเห็นได้ว่าภายในโหนดทางแสงนี้ได้มีการแบ่งการใช้งานหรือการแยกสัญญาณเพื่อให้บริการออกเป็นสองสายจากตัวอุปกรณ์โหนดทางแสงไปด้านบนและด้านล่างของรูป จากนั้นในฝั่งของรูปด้านบนนั้น จะสังเกตได้ว่ามีการต่อตัวอุปกรณ์มินิบริดเจอร์ เพื่อแยกสัญญาณออกไปอีกสามทางและมีการขยายการให้บริการจากการที่แยกสัญญาณดังกล่าว เมื่อสัญญาณที่แยกนั้นมีความแรงสัญญาณที่อ่อนลงก็จะมีการต่ออุปกรณ์ขยายสัญญาณเพิ่ม ดังในภาพจะสังเกตว่ามีการต่ออุปกรณ์ขยายสัญญาณและมีการต่ออุปกรณ์แยกสัญญาณหรืออุปกรณ์แทปเข้าไปที่เคเบิลโมเด็มของผู้ให้บริการ โดยจะมีการเชื่อมต่อกับสายดรอปวายจากตัวอุปกรณ์แทป ซึ่งตัวอุปกรณ์แทปจะมีการใช้ทั้งแบบ 2 ทาง, 4 ทาง และ 8 ทาง ในการวางโครงข่ายหรือเครือข่าย HFC ของเขตพื้นที่ LKS ที่โหนด LKS010N01L1 นี้ ซึ่งเมื่อดูข้อมูลที่เกิดการแจ้งเตือนโหนดที่มีปัญหาปรากฏว่าที่โหนด LKS010N01L1 มีค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบเครือข่ายที่มีค่าต่ำกว่าค่าขั้นต่ำที่ยอมรับได้ คือต่ำกว่า 89% ซึ่งค่าของระบบที่ทำงานที่ดีที่สุดจะต้องมีค่าเปอร์เซนต์ NQI ของระบบเครือข่ายมากกว่า 96%

4.3.1 การเกิดสัญญาณรบกวนในกรณีแรก

พิจารณาสัญญาณรบกวนในเครือข่ายของพื้นที่โหนด LKS010N01L1 สัญญาณรบกวนมาจากขาเอาท์พุตอุปกรณ์มินิบริดเจอร์ที่มีการเชื่อมต่อสายโคแอคเชียลระยะทาง 162 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งสัญญาณรบกวนที่ปรากฏมีสาเหตุเกิดจากสายโคแอคเชียลที่เป็นสายดรอปวายที่ชำรุดจากอุปกรณ์แทป 8 ทาง เบอร์ 14 โดยสัญญาณรบกวนที่เกิดทำให้สัญญาณรบกวนพื้นฐานอยู่ที่ -40dBmV มีการยกระดับ ทำให้เคเบิลโมเด็มทำงานหนักขึ้น จะส่งผลให้เคเบิลโมเด็มเกิดความเสียหายหรือไม่ตอบสนองการทำงานในภายหลัง สามารถพิจารณารูปแบบของสัญญาณรบกวนด้วยโปรแกรม JDSU แสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 สัญญาณรบกวนที่สาเหตุเกิดจากสายดรอปวายชำรุดจากอุปกรณ์แทป 8 ทาง เบอร์ 14

ในการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณรบกวนที่เกิดจะทำการแก้ไขสายโคแอคเชียลที่เป็นสายดรอปวายที่ชำรุด โดยการพิจารณาความเสียหายของสายดรอปวายนั้น หากมีความชำรุดมากเกินกว่าที่จะนำกลับมาใช้งานใหม่ ให้ทำการเปลี่ยนสายดรอปวายนั้นและทำการเข้าหัวสายใหม่ และหากสายดรอปวายที่ใช้มีความชำรุดน้อยหรือการเข้าหัวสายที่ไม่ดี ให้ทำการเข้าหัวสายใหม่ ซึ่งในบางครั้งจำเป็นต้องทำการตรวจสอบการทำงานของเคเบิลโมเด็มและสายดรอปวายที่เชื่อมต่อกับเคเบิลโมเด็มร่วมด้วย เนื่องจากหากทำการตรวจสอบเพียงการเชื่อมต่อที่อุปกรณ์แทป อาจจะยังคงมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นอยู่ เมื่อพิจารณาสัญญาณหลังการแก้ไขสายดรอปวายที่อุปกรณ์แทป สัญญาณรบกวนนั้นลดลงแต่ยังคงมีการยกระดับของสัญญาณรบกวนพื้นฐาน ซึ่งจำเป็นจะต้องทำการปรับสัญญาณที่อุปกรณ์ขยายสัญญาณ ในรูปที่แสดงการวางเครือข่ายของพื้นที่โหนด LKS010N01L1 อุปกรณ์ขยายสัญญาณที่จะทำการปรับสัญญาณจะอยู่ติดกับอุปกรณ์แทป 2 ทาง เบอร์ 23 ทำการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ภายในอันได้แก่ อุปกรณ์อีควอไลเซอร์และอุปกรณ์แพด โดยเปลี่ยนอุปกรณ์อีควอไลเซอร์จากเลขอุปกรณ์อีควอไลเซอร์ 4007229 (มีค่า 1.5dB) เป็นเลขอุปกรณ์อีควอไลเซอร์ 4007230 (มีค่า 3.0dB) และทำการเปลี่ยนอุปกรณ์แพดดจากอุปกรณ์แพดที่มีค่าการลดทอน 3dB เป็นอุปกรณ์แพดที่มีค่าการลดทอน 0dB เมื่อพิจารณาสัญญาณหลังการแก้ไข สัญญาณรบกวนที่มีการยกระดับของสัญญาณรบกวนพื้นฐานนั้นได้หายไปและสัญญาณกลับมาเป็นปกติ เมื่อทำการพิจารณาที่ตำแหน่ง

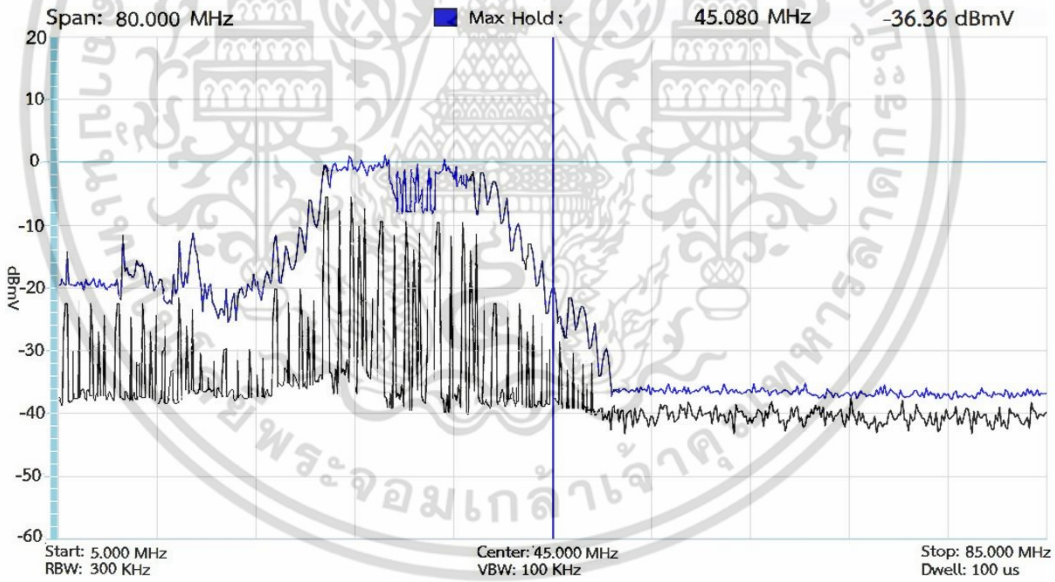
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของอุปกรณ์แทปที่ทำการแก้ไขในตอนแรก แสดงถึงการแก้ไขสัญญาณรบกวนที่เกิดจากสายดรอปวายที่อุปกรณ์แทปเสร็จสิ้นลง

สัญญาณรบกวนที่เกิดในระบบเครือข่ายนั้นอาจมีการเกิดได้หลายกรณี ขึ้นอยู่กับปัจจัยการเชื่อมต่ออุปกรณ์ในเครือข่าย,การปรับสัญญาณที่ไม่สมบูรณ์ และสภาพการทำงานของอุปกรณ์ เป็นต้น เนื่องจากปัจจัยดังกล่าวสามารถทำให้เกิดสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นในระบบ พร้อมทั้งในระบบเครือข่ายเดียวกัน อาจเกิดสัญญาณรบกวนขึ้นได้หลายจุดเช่นเดียวกันกับพื้นที่โหนด LKS00N01L1 ที่สามารถระบุสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์มินิบริดเจอร์ตัวเดิม

4.3.2 การเกิดสัญญาณรบกวนเพิ่มเติมในพื้นที่โหนด LKS00N01L1

สัญญาณรบกวนที่ปรากฏอีกสัญญาณนั้นมาจากขาเอาท์พุตของอุปกรณ์มินิบริดเจอร์ที่มีการเชื่อมต่อสายโคแอคเชียลระยะทาง 106 เมตร ซึ่งสัญญาณรบกวนที่ปรากฏมีสาเหตุเกิดจากผู้ใช้บริการรายเก่านั้นไม่ได้ทำการปลดสายหรือติดต่อเจ้าหน้าที่เพื่อทำการยกเลิกการติดตั้ง จึงทำให้มีสัญญาณรบกวนเข้ามากวนในระบบทางด้านปลายสาย เนื่องจากผู้ใช้บริการรายเก่าไม่ได้นำสายโคแอคเชียลที่เป็นสายดรอปวายนั้นต่อเข้าไปยังตัวเคเบิลโมเด็ม เพียงแต่ม้วนสายเก็บไว้ที่ผนังบ้านจึงเป็นที่มาของสัญญาณรบกวนดังกล่าว โดยสามารถพิจารณารูปแบบของสัญญาณรบกวน แสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 สัญญาณรบกวนที่สาเหตุเกิดจากการสายดรอปวายที่ไม่ได้มีการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์

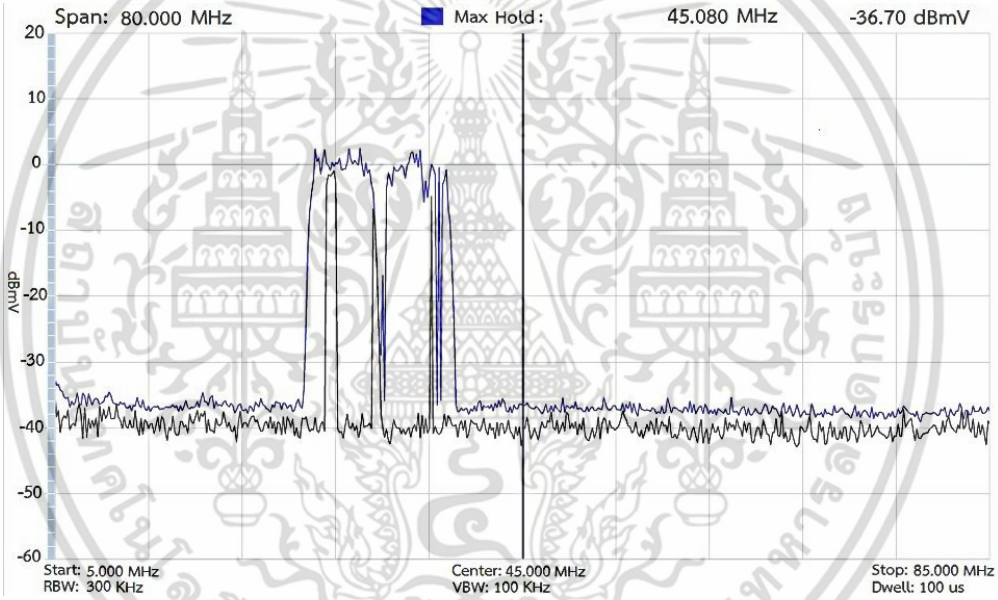
ในการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณรบกวนที่เกิดจะทำการแก้ไขโดยการพิจารณาการใช้งานของผู้ใช้บริการรายเก่า หากผู้ใช้บริการรายเก่าต้องการที่จะทำการใช้งานระบบต่อไป ให้ทำการเชื่อมต่อสายดรอปวายเข้าเคเบิลโมเด็มใหม่ พร้อมอธิบายปัญหาที่เกิดจากสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการปลดสายดรอปวายโดยไม่มีการเชื่อมต่ออุปกรณ์ เพื่อให้ผู้ใช้บริการได้ทราบสาเหตุของปัญหา อย่างไรก็ตามหากผู้ใช้บริการรายเก่าไม่มีความประสงค์ที่จะทำการใช้งานระบบต่อไป ให้ทำการยกเลิกการติดตั้งการให้บริการของระบบเครือข่าย เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนที่เกิดจากสาเหตุดังกล่าว โดยการแก้ไข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณดังกล่าวจะสังเกตว่า ไม่ได้มีการปรับสัญญาณที่อุปกรณ์ขยายสัญญาณ เนื่องจากสัญญาณรบกวนที่เกิดนั้นไม่ได้ทำให้เกิดการยกระดับของสัญญาณรบกวนพื้นฐาน ดังนั้นจึงไม่มีจำเป็นต้องทำการปรับสัญญาณที่อุปกรณ์ขยายสัญญาณ

4.3.3 ผลจากการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณรบกวนในพื้นที่โหนด LKS00N01L1

การปรับปรุงแก้ไขสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในระบบเครือข่ายจะมีลำดับขั้นตอนการทำงานและการแก้ไข ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 ซึ่งประเด็นหลักในการแก้ไขสัญญาณรบกวนในระบบเครือข่าย คือ การปรับสัญญาณและการตรวจสอบการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ในระบบเครือข่าย เพื่อกำจัดสัญญาณรบกนที่เกิดขึ้น เมื่อสัญญาณรบกวนถูกกำจัดจะส่งผลให้ระบบเครือข่ายหลังการแก้ไขมีประสิทธิภาพการทำงานที่ดีเพิ่มขึ้น หากพิจารณาจากสัญญาณของระบบเครือข่ายหลังการแก้ไขของพื้นที่โหนด LKS00N01L1 ทั้งหัวข้อ 4.3.1 และหัวข้อ 4.3.2 แสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 สัญญาณของระบบเครือข่ายหลังการแก้ไข

เมื่อทำการพิจารณาจากตารางเกณฑ์ชี้วัดเครือข่ายเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ต่างๆของระบบเครือข่ายก่อนการแก้ไขและหลังการแก้ไขเครือข่าย แสดงดังรูปที่ 4.5 สังเกตุได้ว่าระบบเครือข่ายก่อนการแก้ไขค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบมีค่า 88.49% ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่าที่ยอมรับได้ของระบบเครือข่ายคือ 89% โดยเป็นผลอันเนื่องมาจาก ค่าเปอร์เซ็นต์ NQI_DSSNR มีค่าน้อยว่า 88%, ค่าเปอร์เซ็นต์ NQI_DSPWR มีค่าน้อยกว่า 92% ซึ่งต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ในตารางเกณฑ์ชี้วัดเครือข่าย และค่าเปอร์เซ็นต์ NQI_USPWR มีค่าอยู่ระหว่าง 80% ถึง 90% (ซึ่งค่าเปอร์เซ็นต์ NQI_USPWR ที่อยู่ในช่วงนี้แสดงถึงระบบเครือข่ายที่สามาถทำงานได้ในระดับหนึ่ง) เมื่อทำการตรวจสอบและทำการแก้ไขระบบเครือข่ายค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบจะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 88.49% เป็น 98.96% ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าที่ระบบเครือข่ายถือว่าทำงานอย่างมีประสิทธิภาพคือ 96% ด้วยผลจากการแก้ไขสัญญาณรบกวน ทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ NQI_DSSNR มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 79.00% เป็น 100%, ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปอร์เซ็นต์ NQI_DSPWR มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 90.50% เป็น 99.50% และค่าเปอร์เซ็นต์ NQI_USPWR มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 81.00% เป็น 99.00% ซึ่งค่าของเปอร์เซ็นต์ NQI ของพารามิเตอร์ทั้งหมดอยู่ในลักษณะการทำงานที่มีประสิทธิภาพสูงหลังการแก้ไข ทำให้ระบบเครือข่ายที่แสดงด้วยค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบนั้นมีค่าที่สูงตามไปด้วย

Before

AM Node	LKS010N01L1
RCU	LKS010
CMTS Name	LKSSBK04CM1
CMTS<IP>	10.92.207.131
Line Connected (Total Modem)	74.88
Total AB	58.83
%NQI9	88.49
%A5	72.80
%B	8.64
%Online	85.58
%NQI_USSNR	99.50
%NQI_DSSNR	79.00
%NQI_USPWR	81.00
%NQI_DSPWR	90.50
%NQI_USRX	96.00
%NQI _USCW _Uncorrected	78.12
%NQI _DSCW _Uncorrected	91.67
%NQI_T3	95.00
%NQI_T4	90.83

After

AM Node	LKS010N01L1
RCU	LKS010
CMTS Name	LKSSBK04CM1
CMTS<IP>	10.92.207.131
Line Connected (Total Modem)	80.67
Total AB	64.46
%NQI9	98.96
%A5	84.49
%B	0.71
%Online	79.91
%NQI_USSNR	99.50
%NQI_DSSNR	100
%NQI_USPWR	99.00
%NQI_DSPWR	99.50
%NQI_USRX	100
%NQI _USCW _Uncorrected	97.50
%NQI _DSCW _Uncorrected	99.50
%NQI_T3	97.00
%NQI_T4	99.50

รูปที่ 4.5 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆเปรียบเทียบกันระหว่างก่อนการแก้ไขและหลังการแก้ไขเครือข่าย

4.4 ปัจจัยที่ทำให้เกิดปัญหาและแนวทางการแก้ไข

เหตุการณ์ต่างๆที่เกิดขึ้นเป็นผลที่เกิดได้จากปัจจัยทั้งทางด้านการติดตั้งอุปกรณ์และปัจจัยจากสภาวะแวดล้อมโดยทั่วไป ซึ่งมีผลกระทบต่อระบบเครือข่ายรวมไปถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าเปอร์เซ็นต์ NQI ของพารามิเตอร์ต่างๆซึ่งปัญหาที่เจอสามารถสรุปได้มีดังต่อไปนี้

4.4.1 การทำสมดุลสัญญาณที่ผิดพลาด

ในการทำสมดุลสัญญาณที่ไม่ดีพอ มักจะทำให้เกิดการเสียสมดุลในด้านพลังงานของสัญญาณและค่ากำลังของสัญญาณซึ่งมักจะกระทบไปถึงค่าพารามิเตอร์ในส่วนของอัพสตรีมพาวเวอร์ (US PWR) และค่าพารามิเตอร์ในฝั่งดาวน์สตรีมพาวเวอร์ (DS PWR) โดยถ้าหากทำการปรับสัญญาณแรงเกินไปจะมีผลต่อตัวเคเบิลโมเด็ม คือจะทำให้ตัวเคเบิลโมเด็มส่งสัญญาณออกมาต่ำ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ค่าอัตราส่งอัพสตรีมต่อสัญญาณรบกวน (US SNR) มีค่าต่ำตามไปด้วย และในกรณีที่ทำการปรับสัญญาณอ่อนเกินไป ก็จะทำให้ตัวเคเบิลโมเด็ม ตัวส่งสัญญาณแรงขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้สัญญาณรบกวนในระบบและถ้าหากสัญญาณรบกวนนั้นมีความแรงเพิ่มขึ้นไปจนมากกว่าค่ามาตรฐานก็อาจจะทำให้เคเบิลโมเด็มหลุดการเชื่อมต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาหลักๆทำให้เกิดการทำสมดุลสัญญาณที่ไม่พอดีหรือผิดพลาดเกิดจาก เมื่อเจ้าหน้าที่หรือพนักงานทำการแก้ไขสัญญาณแล้วทำการปรับสัญญาณ มีการใส่อุปกรณ์การลดทอนสัญญาณหรือเพิ่มกำลังการขยายสัญญาณที่ไม่เหมาะสม ทำให้เคเบิลโมเด็มจำเป็นต้องส่งสัญญาณให้แรงขึ้น เคเบิลโมเด็มต้องใช้กำลังในการส่งสูงเกินกว่าปกติและอาจจะทำให้การส่งข้อมูลมีปัญหาได้ การแก้ไขทำได้โดยการปรับสัญญาณใหม่ และตรวจสอบความแรงของสัญญาณใหม่ว่าสัญญาณที่แก้ไขมีค่าการทำงานอยู่ในเกณฑ์ปกติ (ไม่เกินค่าก่อนการให้น้ำหนักของตาราง DOCSIS NQI-9 Criteria เมื่อระบบเครือข่ายการให้น้ำหนักค่าเปอร์เซ็นต์ NQI ที่ได้ก็จะมีค่าเป็นไปตามเกณฑ์ชี้วัดเครือข่ายของพารามิเตอร์พอดี) เมื่อพิจารณาจากค่าเปอร์เซ็นต์ของพารามิเตอร์ของดาวน์สตรีมพาวเวอร์, ค่าเปอร์เซ็นต์พารามิเตอร์ของอัพสตรีมพาวเวอร์ และค่าเปอร์เซ็นต์ของอัตราส่งอัพสตรีมต่อสัญญาณรบกวน มีค่าอยู่ในระดับช่วงสีเขียวก็จะแสดงถึงการทำงานของระบบที่ดี ถือว่าการแก้ไขนั้นสมบูรณ์

4.4.2 สัญญาณรบกวนที่เกิดจากอัตราส่งสตรีมขาลงต่อสัญญาณรบกวนและอัตราส่งสตรีมขาขึ้นต่อสัญญาณรบกวน

เนื่องจากอัตราการส่งสัญญาณดังกล่าวขึ้นอยู่กับค่าพลังการการส่งสัญญาณและค่ากำลังสัญญาณ ซึ่งอีกเหตุการณ์ที่ทำให้เกิดสัญญาณรบกวนเข้าไปในระบบนั้นเกิดจากการส่งสัญญาณที่มีความแรงมากหรือออ่อนเกินที่ค่าของอุปกรณ์จะทำงานได้ ซึ่งเหตุการณ์จะเหลื่อมล้ำกับเหตุการณ์ในหัวข้อที่ 4.7.1 คือการปรับสัญญาณ และการแก้ไขอุปกรณ์ แต่ที่แยกหัวข้อกันเนื่องจากที่ว่าเหตุการณ์ที่เกิดนั้นเกิดที่ระยะที่ต่างกันและความยากในการแก้ไขต่างกัน เพราะค่าอัตราสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนนั้น จำเป็นจะต้องรู้ค่าสัญญาณที่ผ่านระบบเครือข่ายซึ่งจะต้องทำการคำนวณ เพื่อให้รู้ว่าค่าสัญญาณที่จุดนี้ได้รับนั้นเท่าไหร่และควรแก้ไขในทิศทางใด ซึ่งจะยากกว่าข้อแรกเพียงนิดเดียว ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องก็คือค่าอัตราส่งสตรีมขาลงต่อสัญญาณรบกวนและค่าอัตราส่งสตรีมขาขึ้นต่อสัญญาณรบกวน ซึ่งการตรวจสอบค่าจากข้อที่ 4.7.1 และ 4.7.2 นั้น จะพิจารณาจากการวัดค่าแบบเวลาจริงเพื่อพิจารณาค่าว่าเป็นไปตามตาราง DOCSIS NQI-9 Criteria ส่วนค่าที่ออนไลท์บนระบบเครือข่ายนั้นจะเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ NQI ของพารามิเตอร์ทั้งหมดที่เปลี่ยนแปลงไปตามการปรับปรุง เพื่อให้ระบบเกิดความเสถียรภาพในการทำงาน

4.4.3 ปัญหาที่เกิดจากการหลุดการเชื่อมต่อ

ปัญหาจากการหลุดการเชื่อมต่อนั้นมีสาเหตุได้ในหลายปัจจัย ไม่ว่าจะเป็นในกรณีที่ผู้ใช้งานทำการใช้งานหรือใช้บริการอยู่ แต่เจ้าหน้าที่หรือพนักงานได้ทำการแก้ไขในบริเวญโหนดที่ใช้งานพอดีก็อาจจะทำให้เกิดการหลุดการเชื่อมต่อได้ แต่เป็นเพียงชั่วระยะเวลาหนึ่ง การหลุดการเชื่อมต่อที่พบเจอกันบ่อยครั้งคือปัญญหาที่เคเบิลโมเด็มไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากการที่เคเบิลโมเด็มมีปัญหาเองหรือเป็นที่เครือข่ายการให้บริการ ซึ่งการหลุดการเชื่อมต่อนี้มีพบกระทบต่อค่าเปอร์เซ็นต์ NQI ของพารามิเตอร์ T3 ไทม์เอาท์และ T4 ไทม์เอาท์ เพราะค่าเปอร์เซ็น NQI ของพารามิเตอร์ทั้งสองเป็นการพิจารณาในเชิงการเชื่อมต่อระหว่างเคเบิลโมเด็มกับอุปกรณ์ CMTS สถานการณ์ดังกล่าวอาจเกิดได้บ่อยครั้งเพราะเป็นปัญหาที่ตัวอุปกรณ์ที่เป็นเคเบิลโมเด็มเอง แต่ในบางสถานการณ์ก็เกิดเหตุการณ์ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดจากการติดตั้ง หรือการแก้ไขของเจ้าหน้าที่หรือพนักงานเอง เช่น การติดตั้งอุปกรณ์ขยายสัญญาณ (Amplifier) ผิดรุ่นหรือไม่ตรงกับที่ใช้งาน เพราะในการขยายสัญญาณนั้นอุปกรณ์บางส่วนทำหน้าที่เป็นตัวขยาย และมีแบบแผนในการใช้งานอุปกรณ์ขยายสัญญาณเพื่อให้ตรงกับแผนงานหรือเครือข่ายที่วางไว้ เมื่อมีการใช้งานที่ผิดไปจากเดิมระบบเครือข่ายก็อาจจะเกิดปัญหาได้ ในลักษณะของการปรับสัญญาณที่ใช้แพด หรือตัวอุปกรณ์ลดทอนกำลังภายในอุปกรณ์มินิบริดเจอร์และอุปกรณ์ไลแอ็คเทนเดอร์ ที่เป็นเบอร์ 0 เนื่องด้วยการทำสมดุลสัญญาณนั้นบางครั้งสัญญาณที่เกิดขึ้นมีค่ากำลังของสัญญาณที่ดีอยู่แล้วหลังจากทำการลดทอนสัญญาณเพื่อให้มีกำลังสัญญาณในการทำงานที่ดี แต่เมื่อใส่แพดเบอร์ 0 (ค่าการลดทอน 0 dB) หากมีสัญญาณรบกวนเข้าไปในระบบเครือข่าย หรือมีการสวิงของสัญญาณก็จะทำให้เกิดการหลุกดการเชื่อมต่อได้เช่นกัน

วิธีการในการแก้ไขปัญหาคือ ในส่วนของผู้ใช้บริการเคเบิลโมเด็ม ต้องตรวจสอบความต่อเนื่องในการเชื่อมต่อว่าเคเบิลโมเด็มมีการทำงานที่ดีและอยู่ในสภาวะแวดล้อมที่มีอากาศถ่ายเทเพื่อไม่ทำให้อุปกรณ์ร้อนเกินขนาด ในส่วนของการแก้ไขในเครือข่าย จะต้องทำการเปลี่ยนอุปกรณ์ขยายสัญญาณ ให้ตรงกับความต้องการในการใช้งานระบบเครือข่าย หรือแผนงานที่ได้ทำการระบุรุ่นของการใช้อุปกรณ์ขยายสัญญาณนั้นๆ เพื่อไม่ทำให้เกิดการทำงานที่ผิดพลาดในระบบ และหลีกเลี่ยงการเปลี่ยนอุปกรณ์ขยายสัญญาณบ่อยๆ ดังนั้นเมื่อหลีกเลี่ยงการใช้อุปกรณ์ขยายสัญญาณผิดรุ่นแล้วเมื่อเกิดปัญหาขึ้นอีก ก็จะสามารถแสดงผลได้เพียงแค่เคเบิลโมเด็มที่ทำงานและการทำงานในระบบเครือข่ายที่อาจจะมีผลกระทบทำให้เกิดการหลุดการเชื่อมต่อ

4.4.4 ปัญหาจากการเกิดความผิดพลาดของโค้ดเวิร์ดทั้งสตรีมขาขึ้นและสตรีมขาลง

ปัญหาที่เกิดจากการเกิดความผิดพลาดของโค้ดเวิร์ดในฝั่งของสตรีมขาขึ้นและสตรีมขาลง คือการที่เกิดจากการส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ CMTS ไปยังเคเบิลโมเด็ม หรือเคเบิลโมเด็มส่งกลับไปยังอุปกรณ์ CMTS โดยการเกิดค่าความผิดพลาดนั้นจะเป็นการที่เกิดการส่งข้อมูลไปจากตัวอุปกรณ์ที่ใช้ในการส่งสัญญาณข้อมูลในตอนนั้นไปยังอุปกรณ์อีกตัว แต่ข้อมูลที่ส่งนั้นเกิดค่าสัญญาณข้อมูลที่ผิดพลาด โดยแบ่งเป็นสามส่วนคือ ข้อมูลที่ส่งหรือรับไม่ผิดพลาดเลย, ข้อมูลที่ส่งหรือรับเกิดความผิดพลาด แต่สามารถแก้ไขกลับคืนมาได้ และข้อมูลที่ส่งหรือรับเกิดความผิดพลาด ไม่สามารถแก้ไขกลับคืนมาได้ การเกิดเหตุการณ์ที่ส่งหรือรับข้อมูลไปแล้ว ข้อมูลเกิดการผิดพลาดนั้น ส่วนใหญ่ถ้าพิจารณาในระบบเครือข่าย อาจจะเป็นเพราะการส่งสัญญาณนั้นไกลเกินไป หรืออาจจะเกิดจากการไม่เชื่อมต่อของตัวอุปกรณ์ที่ใช้ในการส่งรับข้อมูล แต่อีกสาเหตุปัจจัยที่ทำให้ข้อมูลสามารถสูญหายได้คือการที่เกิดสัญญาณรบกวนในระบบเครือข่าย และการที่สัญญาณที่ส่งหรือรับข้อมูลมีกำลังในการส่งนั้นน้อยเกินไป ก็อาจจะทำให้เกิดข้อมูลที่สูญหายได้เช่นกัน

ค่าของความผิดพลาดที่ยอมรับได้นั้นจะมีค่าที่ต่ำมากและจะคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับข้อมูลที่ส่งทั้งหมด แล้วค่อยให้น้ำหนักเพื่อทำให้เป็นค่าเปอร์เซ็นต์ NQI ซึ่งจากตาราง DOCSIS NQI-9 Criteria จะเห็นว่าค่าที่อยู่ในย่านสีเขียวหรือย่านการทำงานที่มีเสถียรภาพนั้น ค่าของความผิดพลาดในด้านสตรีมขาลงควรจะมีค่าน้อยมากๆเมื่อเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์กับการส่งข้อมูลทั้งหมด ซึ่งเมื่อนำมาเทียบกับค่าของความผิดพลาดในด้านสตรีมขาขึ้นจะแตกต่างกันถึง 10% โดยค่าในด้านสตรีมขาลงนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นค่าในการดาวน์โหลดข้อมูลหรือการดึงข้อมูลจากในระบบเครือข่าย ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการเทียบค่าที่ต่ำกว่าการอัพโหลดหรือด้านสตรีมขาขึ้น แต่เมื่อสังเกตในตาราง DOCSIS NQI-9 Criteria จะเห็นว่ามีค่าการให้น้ำหนักที่มีค่ามากเนื่องจากความจริงที่ว่ามีการให้น้ำหนักในด้านสตรีมขาลงให้มีค่าน้อยในการเทียบค่าของความผิดพลาด แต่การให้น้ำหนักนั้น จะให้มากกว่าในด้านสตรีมขาขึ้น เพราะในการส่งข้อมูลกลับจากตัวเคเบิลโมเด็มไปที่อุปกรณ์ CMTS นั้นจำเป็นจะต้องพิจารณาในด้านสตรีมขาขึ้นมากกว่าเนื่องจากการการส่งสัญญาณในด้านตรีมขาขึ้นนั้นอยู่ในช่วงความถี่ที่ต่ำ ค่าของการให้น้ำหนักของพารามิเตอร์ในฝั่งของอัพสตรีมส่วนใหญ่จึงมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าของการให้น้ำหนักของพารามิเตอร์ในด้านสตรีมขาลง

สาเหตุที่พบในกรณีอื่นคือ มีสัญญาณรบกวนจากค่าเปอร์เซ็นต์ NQI ของพารามิเตอร์ DS SNR และ US SNR ที่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากการที่สัญญาณเกิดการเปลี่ยนแปลงมักจะส่งผลให้เกิดปัญหาดังที่กล่าวไปแล้ว, การทำสมดุลสัญญาณที่ไม่ดี แน่นอนว่าการทำสมดุลสัญญาณที่ไม่ดีพอมักจะเกิดผลกระทบไปยังค่าเปอร์เซ็นต์ NQI ของพารามิเตอร์ US PWR และ ค่าเปอร์เซ็นต์ NQI ของพารามิเตอร์ DS PWR ทำให้เกิดผลที่เกี่ยวเนื่องเข้าหากัน, การที่สายโคแอคเชียลมีปัญหาทำให้การส่งข้อมูลนั้นมีปัญหา, การวางแผนงานที่ไม่ดีเท่าที่ควร หรือการติดตั้งอุปกรณ์ที่ผิดพลาด และปัญหาที่เกิดจากตัวเคเบิลโมเด็ม หรืออุปกรณ์ CMTS ไม่สามารถอ่านค่าจากโหนดนั้นๆได้ ซึ่งการแก้ไขจะมีการแก้ไขในหลักษณะที่หลากหลาย เริ่มตั้งแต่การแก้ปัญหาสัญญาณรบกวน การทำสมดุลสัญญาณ การปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ และการพิจาณาผลที่ได้จากการอ่านค่าจากค่าเปอร์เซ็นต์ NQI ของแต่ละพารามิเตอร์ และค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบเครือข่าย เมื่อค่าที่ทำการอ่านค่านั้นมีช่วงค่าที่เหมาะสมในการทำงานหรืออยู่ในย่านสีเขียวแล้ว ก็จะถือว่าสัญญาณในโหนดหรือบริเวณนั้นมีค่าที่อยู่ในช่วงการทำงานที่ดี ก็จะส่งผลให้ค่าของความผิดพลาดของโค้ดเวิร์ดทั้งสตรีมขาขึ้นและสตรีมขาลงมีค่าที่ลดลง และอยู่ในย่านการทำงานที่ดีและเหมาะสมเช่นเดียวกับค่าของพารามิเตอร์ตัวอื่น

4.4.5 อุปกรณ์ในโครงข่ายที่มักจะเกิดปัญหา

ไม่ว่าจะเป็นอุปกรณ์มินิบริดเจอร์, อุปกรณ์ไลแอ็คเทนเดอร์, อุปกรณ์สปริทเตอร์ และอุปกรณ์แทป ซึ่งปัญหานั้นมักจะเกิดจากการติดตั้งตัวอุปกรณ์ของเจ้าหน้าที่ เมื่อทำการติดตั้งแล้วควรจะมีการตรวจสอบก่อนว่าไม่มีส่วนใดที่หลวมหรือทำในเกิดสัญญาณรบกวนในระบบ หากติดตั้งสมบูรณ์แบบนั้นแล้วปัญหาต่อมาจะเป็นในส่วนของอายุการใช้งานซึ่งอุปกรณ์ทั้งชนิดนั้นล้วนแต่มีอายุการทำงานในตัวอุปกรณ์อยู่แล้วจึงไม่แปลกที่จะต้องทำการเปลี่ยนและแก้ไข โดยที่ปัญหาส่วนใหญ่นั้นมักจะเกิดจากที่มีสัญญาณรบกวนเข้าไปในระบบเนื่องจากการที่ติดตั้งหรือทำการแก้ไข แต่กลับทำให้สัญญาณผิดเพี้ยนมากเพิ่มขึ้น การใช้อุปกรณ์บางตัวที่สามารถใช้แทนกันได้ในการแก้ไขระยะสั้นซึ่งมักจะส่งผลต่อระบบในระยะยาวคือ เมื่อใช้อุปกรณ์แทนที่อุปกรณ์ที่ควรจะทำการใช้งานในระบบเครือข่าย เมื่อมีปัญหาเกิดขึ้นมักจะเกิดที่จุดเดิมซ้ำๆ เนื่องจากการใช้อุปกรณ์ที่ผิดแบบจากที่มีการวางแบบแผนไว้ การติดตั้งอุปกรณ์ที่หลวมหรือการติดตั้งที่ไม่สมบูรณ์เพียงพอ สัญญาณรบกวนก็จะเกิดขึ้นได้ทันที การแก้ไขจึงใช้เวลานานในการตรวจสอบในระดับโหนด ส่งผลให้เกิดปัญหาซึ่งเป็นผลเกี่ยวเนื่องกัน การพิจารณาเลขในการลดทอนกำลังสัญญาณ หรืออุปกรณ์แพดที่ผิดเพี้ยนก็สามารถทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้เกิดการผิดพลาดในการที่จะทำให้สัญญาณเกิดความไม่สมดุลเกิดขึ้นได้ ซึ่งปัญหาเรื่องอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบนั้นเป็นปัญหาที่พบเจอบ่อยและมักจะส่งผลให้ค่าเปอร์เซ็นต์ NQI ของพารามิเตอร์ทุกตัวเกิดความผิดพลาดขึ้น

รูปที่ 4.6 การติดตั้งอุปกรณ์ที่ใกล้กันเกินไป ทำให้เกิดปัญหาในการส่งข้อมูล

การติดตั้งอุปกรณ์ที่มีความใกล้กันนั้นบางครั้งเพื่อเป็นการลดระยะและเป็นการลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นในสายในการวางเครือข่าย แต่มีอุปกรณ์บางชนิดที่ไม่ควรที่จะติดตั้งไว้ใกล้กันเกินไป นั้นคืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการขยายสัญญาณคืออุปกรณ์ไลแอ็คเทนเดอร์กับอุปกรณ์มินิบริดเจอร์ ซึ่งอุปกรณ์ทั้งสองเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ขยายสัญญาณหากทำการติดตั้งใกล้กันเกินไปจะทำให้เกิดสัญญาณที่ไม่เสถียรภาพเกิดขึ้น สัญญาณมีความแรงสูงเกิดกว่าอุปกรณ์ขยายที่ต่ออยู่ถัดมาไม่สามารถทำการขยายสัญญาณได้ ดังรูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นการต่ออุปกรณ์ไลแอ็คเทนเดอร์ใกล้กับอุปกรณ์มินิบริดเจอร์มากเกินไป โดยแบบแผนของการวางเครือข่ายนั้น ในรูปที่แสดงมีความใกล้กันมากกว่า 1 เมตร ซึ่งในแบบแผนของการวางเครือข่ายนั้นอุปกรณ์ทั้งสองนี้อยู่ห่างกัน 3.5 เมตร ทำให้การส่งสัญญาณในเส้นทางนั้นมีปัญหา

4.4.6 ปัญหาจากการเข้าสายหรือการตัดสายโคแอคเชียล

เนื่องจากการเข้าสายโคแอคที่ไม่เรียบร้อย หรือไม่สมบูรณ์เพียงพอ และการทำงานที่เร่งรีบอาจจะทำให้เกิดปัญหาอันเนื่องมาจากการเข้าสายไม่เรียบร้อยได้ การเข้าสายไม่เรียบร้อยนั้นรวมไปถึงการหัวต่อเชื่อมต่อ การเข้าหัวตัวต่อกับสายโคแอคเชียลก็จะทำให้เกิดสัญญาณรบกวนขึ้นได้ การที่มีสัญญาณรบกวนเกิดนั้นมีผลต่อการทำงานในระบบเครือข่ายและยังส่งผลถึงค่าพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนแปลง ทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ NQI ของแต่ละพารามิเตอร์และค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบเครือข่ายได้รับผลกระทบเหมือนกัน

ปัญหานี้สามารถเกิดได้ทุกที่เกือบทั้งระบบเครือข่าย เนื่องจากเครือข่าย HFC นั้นจะมีการใช้งานสายโคแอคเชียลมากกว่า 90% ที่เหลือจะเป็นสายไฟเบอร์ออปติค ซึ่งทำการลากสายแค่จากตัวอุปกรณ์ CMTS มาที่ตัวกระจายสัญญาณแสงและตัวอุปกรณ์ออปติคอลโหนด ที่โหนดหลักเท่านั้น ถึงอย่างไรก็ตามการที่มีการใช้งานสายโคแอคเชียลนั้นสามารถทำให้เกิดการส่งข้อมูลได้ทั้ง สัญญาณเคเบิลทีวีเดิมและอินเทอร์เน็ต ซึ่งในการติดตั้งหรือในการแก้ไขในแต่ละครั้งนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะต้องตรวจสอบสายโคแอคเชียลที่บริเวณข้อต่อหรือบริเวณการเข้าสายให้ดี เพราะหากทำการเชื่อมต่อไม่เหมาะสมเพียงพอก็เป็นช่องว่างที่สามารถทำให้เกิดสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นได้ในระบบเครือข่าย อาจจะมีบางกรณีที่สายโคแอคเชียลนั้นชำรุดเสียหายซึ่งมีกรณีหลักๆที่เกิดคือ เกิดจากการที่เกิดปัญหาทางสภาพภูมิอากาศตอนนั้น ทำให้สายโคแอคเชียลเกิดการชำรุด และการเกิดปัญหาจากสิ่งมีชีวิต เช่นเกิดมีหนูไปกัดสาย ทำให้สายเกิดเป็นช่องเป็นรอยลึกก็ทำให้เกิดสัญญาณรบกวนได้เช่นกัน โดยกรณีของสัตว์ที่จะไปทำให้สายโคแอคเชียลมีปัญหานั้นเกิดได้บ่อยครั้ง โดยส่วนใหญ่จะเป็นสายดรอปวายมากกว่าสายที่เป็นสายหลัก เพราะสายดรอปวายนั้นจำเป็นต้องทำการแยกจากตัวแทปเพื่อแยกสัญญาณจากสายโคแอคเชียลหลักเข้าไปในบ้านของลูกค้าหรือผู้ใช้บริการ ซึ่งอาจจะเกิดปัญหานี้ได้ สิ่งที่สามารถสังเกตได้จากการชำรุดหรือการเสียหายของสายโคแอคเชียลนั้นคือการที่ค่าพารามิเตอร์มีค่าต่ำ โดยดูจากค่าของตัวพารามิเตอร์ที่มีค่าสัญญาณข้อมูลต่อสัญญาณรบกวน เพราะเป็นค่าแรกๆที่จะเปลี่ยนแปลงทันที และตามมาด้วยค่าพารามิเตอร์ต่างๆต่อมาเป็นระยะในช่วงระยะเวลากัดมา หากเราทำการตรวจสอบจากตัวโปรแกรมวัดสัญญาณ JDSU จะสังเกตุว่ามีสัญญาณรบกวนที่มีค่ามากยกตัวสูงขึ้นมากจากระดับสัญญาณรบกวนพื้นฐานที่ตั้งไว้

ในการแก้ไขนั้นสามารถทำได้โดยการปรับสัญญาณและการแก้ไขสัญญาณรบกวนเสร็จสิ้น เมื่อทำการพิจารณาสัญญาณสเปกตรัมจากโปรแกรมวัดสัญญาณ JDSU จะเห็นว่าสัญญาณรบกวนนั้นลดลง ถ้าไม่ได้เกิดปัญหาที่สายโคแอคเชียลและที่อุปกรณ์ที่เป็นตัวต่อของสายโคแอคเชียล หากพิจารณาสัญญาณสเปกตรัมจากโปรแกรมวัดสัญญาณ JDSU แล้วเห็นว่าสัญญาณรบกวนนั้นยังคงเท่าเดิม หรือไม่มีการเปลี่ยนแปลง ให้ทำการตรวจสอบที่ข้อต่อหรือตัวเชื่อมต่อของสายโคแอคเชียลว่ามีปัญหาหรือไม่ แล้วทำการแก้ไขเมื่อทำการแก้ไขสายโคแอคเชียลที่มีการเชื่อมต่อที่ผิดพลาด หรือหัวสายที่ทำไว้ไม่ดีเท่าที่ควร แล้วค่าสัญญาณสเปกตรัมจากโปรแกรมวัดสัญญาณ JDSU จะกลับมามีค่าปกติ เหมือนเดิมและมีสัญญาณรบกวนที่กลับไปอยู่ที่ระดับพื้นฐานเหมือนเดิม เมื่อทำการดูค่าเปอร์เซ็นต์ของ NQI แต่ละพารามิเตอร์จะสังเกตุได้ว่ามีค่าที่มีคุณภาพหรือระดับที่เพิ่มขึ้น หรือมีระดับสัญญาณที่เท่าเดิม

รูปที่ 4.7 ความเสียหายจากตัวเชื่อมต่อที่ผิดพลาด มีความบิดเบี้ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามรูปที่ 4.7 แสดงในเห็นถึงความเสียหายจากการเชื่อมต่อของตัวเชื่อมต่อ (Connector) ที่มีความผิดพลาดทำให้สายโคแอคเชียลไม่สามารถที่จะเชื่อมต่อกันได้ จึงต้องทำการเข้าตัวเชื่อมต่อใหม่ เพราะหากปล่อยไว้อาจจะทำให้ระบบเกิดสัญญาณรบกวนขึ้น อาจส่งผลให้ระบบเกิดความเสียหายหนักยิ่งขึ้นหากเกิดฝนตกเพราะละอองจากน้ำจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับแกนด้านในของสายโคแอคเชียลทำให้เกิดสนิม ทำให้สายโคแอคเชียลชำรุดหรือขาดออกจากกัน โดยการเข้าหัวสายโคแอคเชียลเพื่อใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างตัวเชื่อมต่อนั้นจะต้องมีแกนทองแดงของสายโคแอคเชียล ยาวออกมาจากหัวต่อที่ใช้ในการเข้าหัวสายประมาณ 1 เซนติเมตร เนื่องจากความต้องการในการเชื่อมต่อสายเข้าด้วยกันและลดช่องว่างที่เกิดจากแกนทองแดงที่แนบกัน ซึ่งระยะการจัดสายดังกล่าวจะทำให้แกนทองแดงของสายโคแอคเชียลทั้งสองฝั่งที่ใช้สามารถแนบกันสนิทภายในตัวของตัวเชื่อมต่อ

รูปที่ 4.8 การเข้าหัวสายโคแอคเชียลที่ไม่ดีพอคือเกินออกมา ทำให้เกิดการเชื่อมต่อที่หลวม

การเข้าหัวสายโคแอคเชียลที่ไม่ดีพอ เกินออกมามากเกินไปดังรูปที่ 4.8 จะทำให้การเชื่อมต่อระหว่างสายโคแอคเชียลกับสายโคแอคเชียล หรือการเชื่อมต่อระหว่างสายโคแอคเชียลกับอุปกรณ์เกิดความไม่พอดี เกิดช่องว่าง ทำให้สัญญาณรบกวนเข้ามาในระบบได้ง่ายและสัญญาณรบกวนนั้นจะทำให้การรับส่งข้อมูลเกิดความผิดพลาด ค่าพลังงานและค่ากำลังงานที่รับส่งในระบบมีค่าน้อย สิ่งที่เกิดปัญหามากที่สุดของการเข้าหัวสายโคแอคเชียลไม่พอดีในกรณีที่มีส่วนเกินออกมา เมื่อมีการเชื่อมต่อระหว่างสายโคแอคเชียลกับอุปกรณ์ ไม่เพียงแต่เกิดช่องว่าง แต่อาจจะทำให้อุปกรณ์เกิดชำรุดเสียหายได้ง่ายกว่ากรณีใดๆ เพราะหากข้อต่อหรือพอร์ตที่ใช้งานของอุปกรณ์เสียหายแล้ว จำเป็นต้องเปลี่ยนอุปกรณ์นั้นออก อาจจะทำให้เสียค่าใช้จ่ายมากในการซ่อมบำรุงหรือจัดหาใหม่ ซึ่งโดยปกติในการเข้าหัวสายโคแอคเชียลในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ต่างๆภายในเครือข่าย ยกเว้นการต่อสายโคแอคเชียลกับตัวเชื่อมต่อ จะมีการเข้าหัวสายโดยให้แกนทองแดงนั้นมีระยะความยาวเท่ากับขอบของหัวที่ใช้ในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ เพื่อให้แกนทองแดงภายในสายโคแอคเชียลแบนสนิทกับพอร์ตของอุปกรณ์เมื่อทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.9 การแก้ไขสายโคแอคเชียลที่ผิดพลาดที่ต่อเข้ากับอุปกรณ์

จากรูปที่ 4.9 แสดงให้เห็นถึงการแก้ไขสายโคแอคเชียลที่ผิดพลาดที่ต่อเข้ากับอุปกรณ์ โดยมีการเชื่อมต่อสายโคแอคเชียลที่ผิดไปจากแบบแผนของการางเครือข่ายที่ได้มีการวางไว้ เนื่องจากการทำการเชื่อมต่อที่ผิดไปจากแบบแผนการวางเครือข่าย หรือการใช้สายโคแอคเชียลที่สั้นหรือยาวเกินไปจากแบบแผนการวางเครือข่ายนั้น ส่งผลในอุปกรณ์ที่นำมาติดตั้งต่อมามีปัญหาและไม่สามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพได้ ซึ่งวิศวกรผู้ตรวจสอบจะทำการตรวจสอบระบบเครือข่ายก่อนที่จะมีการใช้งานจากผู้ใช้บริการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอระบบสำหรับการวิเคราะห์ผลการดำเนินงานของเครือข่าย HFC ที่เกิดขึ้นจริงในระดับโหนดทางแสง โดยใช้ข้อมูลการดำเนินงานจากอุปกรณ์ CMTS และเคเบิลโมเด็มทั้งหมดในแต่ละโหนด ซึ่งสามารถวัดประสิทธิภาพของเครือข่าย HFC สำหรับแต่ละโหนด โดยใช้ข้อมูลต่างๆจากอุปกรณ์ CMTS และเคเบิลโมเด็มในเครือข่าย จึงได้มีการสร้างตารางเกณเกณฑ์การชี้วัดเครือข่าย HFC โดยมีการใช้ค่าจากค่าเปอร์เซ็นต์ NQI ของแต่ละพารามิเตอร์ และค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบ ที่สามารถบอกคุณภาพของเครือข่ายได้ รวมทั้งการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาโหนดที่เสียหาย และสามารถวิเคราะห์หาสาเหตุการเกิดปัญหาในเบื้องต้นในการแก้ไขได้ การที่มีตารางเกณฑ์ที่ใช้ในการวัดคุณภาพของระบบเครือข่ายนั้นเป็นวิธีการที่มีต้นทุนต่ำและรวดเร็ว สามารถใช้ในการจัดลำดับความสำคัญในการบำรุงรักษาและการดำเนินงานแก้ไขระบบของเครือข่ายได้สะดวกยิ่งขึ้น พร้อมทั้งสามารถหาสาเหตุเบื้องต้นในการเกิดความผิดปกติของระบบเครือข่ายได้ดังที่กล่าวไปแล้ว โดยลักษณะการทำงานจะมีชั้นการทำงานที่มีความเกี่ยวเนื่องกันอีกสามชั้น คือ ชั้นกายภาพ, ชั้นเชื่อมโยงข้อมูลและชั้นเครือข่าย ซึ่งในการศึกษาวิจัยจะทำการมุ่งเน้นการทำงานในชั้นกายภาพ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์สมรรถนะและประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายเป็นส่วนใหญ่

ดังนั้นเมื่อมีความเสียหายที่เกิดขึ้นที่โหนดทางแสงใด ก็จะสามารถทราบสถานะการทำงานเบื้องต้นได้ และสามารถลงพื้นที่เพื่อที่จะทำการปรับปรุงแก้ไข ให้ระบบเครือข่ายมีการทำงานที่เป็นปกติ ซึ่งค่าเปอร์เซ็นต์ NQI ของข้อมูลในแต่ละพารามิเตอร์จะถูกเก็บรวบรวมในระบบฐานข้อมูล โดยข้อมูลในระบบฐานข้อมูลนี้จะมีอยู่ด้วยกันสองระบบคือ ค่าของข้อมูลดิบและค่าของข้อมูลที่เกิดจากการคำนวณเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบ และค่าเปอร์เซ็นต์ NQI ของแต่ละพารามิเตอร์ ซึ่ งข้อมูลดิบนั้นจะมีระยะเวลาที่จำกัดในการดึงข้อมูล เนื่องจากข้อมูลจะถูกลบออกจากระบบฐานข้อมูลทุกๆรอบเดือนเพื่อไม่ให้มีข้อมูลมากเกินไป ดังนั้นเมื่อมีการทำการดึงข้อมูลจากระบบฐานข้อมูลเพื่อมาทำการคำนวณเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ NQI9 ของระบบ และค่าเปอร์เซ็นต์ NQI ของแต่ละพารามิเตอร์ย้อนหลังจึงสามารถทำได้ภายในรอบเดือนเท่านั้น แต่โดยส่วนใหญ่ข้อมูลที่เกิดปัญหาจนไม่สามารถดึงค่าข้อมูลดิบได้ในรอบวันนั้น อาจจะเกิดจากปัญหาของระบบในวันนั้น หรือ ออปติคอลโหนดดังกล่าวยังไม่มีการใช้งาน

โดยเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับงานที่ผ่านมา ซึ่งมีเนื้อหาเกี่ยวกับสัญญาณรบกวน และผลกระทบในเครือข่าย โดยมีการนำมาสร้างเป็นโมเดลเพื่อวิเคราะห์ค่าของสัญญาณในโครงข่ายโดยอยู่บนพื้นฐานของ DOCSIS 3.0 ซึ่งค่าของตัวแปลที่พบในงานนี้เป็นจุดที่สามารถนำมาพัฒนาต่อในงานนี้ได้ โดยผลจากการทำโมเดลจำลองนั้นจะสามารถดูค่าที่เปลี่ยนแปลงได้เพียงค่าคุณภาพของโมเด็มแต่ละตัวในโหนดทางแสง ว่ามีประสิทธิภาพในการทำงานเป็นอย่างไรในตัวโมเดล แต่ไม่สามารถที่จะแสดงค่าภายในได้ว่าเมื่อเกิดเหตุการณ์ที่ตัวเคเบิลโมเด็มมีประสิทธิภาพที่แย่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดจากที่ใด ผลกระทบในเครือข่ายมีผลต่อระบบมากน้อยอย่างไร รวมถึงการแบ่งช่วงและการวัดคุณภาพที่น้อยเกินไปในการที่จะระบุความเสียหาย และเป็นการยากที่จะบอกได้ว่าระบบโครงข่ายหรือเครือข่ายที่ไม่มีประสิทธิภาพเพียงเพราะค่ากำลังรับสตรีมขาลง, ค่ากำลังส่งสตรีมขาขึ้นและค่า SNR สตรีมขาขึ้น เนื่องจากปัจจัยที่เกิดขึ้นในแต่ละโหนดทางแสงหรือเครือข่ายนั้น มีความหลากหลาย หากดูเพียงค่าของพารามิเตอร์ทั้งสามอาจไม่เพียงพอต่อการสรุป และ การประเมินหรือการวิเคราะห์เครือข่าย ดังนั้นเพื่อให้ทราบว่าในระบบโครงข่ายสามารถทำงานได้สมบูรณ์ในการใช้งาน และสามารถแก้ไขหรือระบุปัญหาที่ทำให้ระบบโครงข่ายหรือเครือข่าย ไม่มีประสิทธิภาพนั้น จึงได้มีการสร้างตารางค่าดัชนีคุณภาพของเครือข่าย HFC และทำเกณฑ์ ชี้วัดเครือข่าย พร้อมทั้งบ่งชี้การทำงานของโครงข่ายเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ เพื่อให้ง่ายและสะดวก ในการอ่าน รวมไปถึงการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้สะดวกยิ่งขึ้น ซึ่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอระบบสำหรับการวิเคราะห์ผลการดำเนินงานของเครือข่าย HFC ที่มีความสามารถในการบอกคุณภาพของเครือข่ายได้ รวมทั้งการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาโหนดที่เสียหาย และสามารถวิเคราะห์หาสาเหตุการเกิดปัญหาในเบื้องต้นในการแก้ไขได้ ซึ่งทำให้ง่ายต่อการแก้ไขเครือข่าย รวดเร็วและใช้ต้นทุนที่ต่ำในการบำรุงรักษา ตลอดจนการตรวจสอบเครือข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] Li Zhang, Yong-tao Ma, Kai-hua Liu, Yuan Zeng, **"Research of the Noise Characteristic on the Upstream Channel for HFC Network,"** IEEE ICSPS V2:426-430, 2010

[2] Teerawat Benhavan, Assoc. Prof. Dr. Kraisin Songwatana, **"HFC Network Performance Monitoring System using DOCSIS Cable Modem Operation Data in a 3 Dimensional Analysis,"** IEEE JICTEE 1-5, 2014

[3] Data-over-Cable Service Interface Specifications (DOCSIS)
Website: www.cisco.com/en/us

[4] Thanyawarat Pawasopon , Assoc. Prof. Dr. Suvepon Sittichivapak,
"Analysis of random slot multiple access algorithms for DOCSIS network,"
IEEE ECTI-CON 896 - 899, 2009

[5] Liang C. Chu, **"A study on noisy HFC network upstream channel failure prediction and implementation,"** IEEE PACRIM 246-249, 1999

[6] Vaia Sdralia, Polychronis Tzerefos, Colin Smythe, **"Recovery Analysis of the DOCSIS Protocol After Service Disruption,"** IEEE Transactions on Broadcasting 377-385, 2001

[7] Wissam Al-Khatib, A. Rajeswari, K. Gunavathi, **"Bandwidth Allocation Algorithm for DOCSIS Based HFC Broadband Networks,"** IEEE ICSCN 452-458, 2007

[8] Dai-boong Lee, Hyunchul Joo, Hwangjun Song, **"An Effective Channel Control Algorithm for Integrated IPTV Services Over DOCSIS CATV Networks,"** IEEE Transactions on Broadcasting 789-796, 2007

[9] George E Bodeep, **"Changes in the HFC architecture,"** Optical Fiber Communication Conference and Exposition and the National Fiber Optic Engineers Conference 1-3, 2011

[10] Ambroise Popper, Fabien Buda, Hikmet Sari, **"Ingress noise cancellation for the upstream channel in broadband cable access systems,"** IEEE ICC 1808-1812, 2002

[11] Wei-Tsong Lee, Kun-Chen Chung, Kuo-Chih Chu, Jen-Yi Pan, **"DOCSIS Performance Analysis Under High Traffic Conditions in the HFC Networks,"** IEEE Transactions on Broadcasting 21-30, 2006

[12] Wanjiun Liao, **"The Behavior of TCP Over DOCSIS-Based CATV Networks,"** IEEE Transactions on Communications 1633-1642, 2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[13] Gary D. Alley, Yen Long Kuo, **"Optimal Control of Intermodulation Distortion in Hybrid Fiber-Coaxial CATV Systems,"** IEEE ARFTG 46-55, 1997

[14] Roger L. Freeman, **"Fundamentals of Telecommunications,"** New Jersey, Wiley-IEEE Press, 2005

[15] Kuo-Chang Feng, Gerd Keiser, San-Liang Lee, **"Power Consumption in Hybrid Access and Home Networking Network,"** Optical Fiber Communication Conference and Exposition and the National Fiber Optic Engineers Conference 1-3, 2011

[16] Ping Lu, Yabo Yuan, Zhongzhen Yang, Zuqing Zhu, **"On the Performance Analysis of Energy-Efficient Upstream Scheduling for Hybrid Fiber-Coaxial Networks with Channel Bonding,"** IEEE Communications Letters 1020-1023, 2013

[17] Zuqing Zhu, Wenbo Ma, Qiao Liang, **"Improve Energy-Efficiency of Hybrid Fiber-Coaxial Networks with Traffic-Aware Design,"** IEEE ACP 1-6, 2011

[18] ผศ.ดร.พรชัย ทรัพย์นิธิ, **"การสื่อสารดิจิตอล,"** กรุงเทพฯ, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A Quality Analysis of DOCSIS Cable Modem

Poranattawut Tungsakul, Kraisin Songwatana and Phichet Moungnuol
Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok 10520, Thailand
E-mail: poranattawut@hotmail.com, kraisin@telecom.kmitl.ac.th and phichet@telecom.kmitl.ac.th

***Abstract*—This paper presents the quality analysis service of cable modem in HFC network (Hybrid Fiber Coaxial) according to standard DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specifications)by using the quality index network 9 to specific the equipment in HFC network system that working in appropriate level to send and receive data from user. The parameter of the forward path and the parameter of the forward path return path are collected by CMTS (Cable Modem Termination System), which communicated with the cable modem will use to analyze the efficiency of working. The paper show the benefit of network data analysis by the quality index network 9. Not only tell how the efficiency of network but also bring it to solve the problem in the HFC network.**

Keywords—NQI9, HFC Network, DOCSIS NQI-9 Criteria, DOCSIS

I. INTRODUCTION.

Currently, the internet service required the greater capacity of data transmission and result of the greater requirement of bandwidth in network of public. Therefore there is development of HFC (Hybrid Fiber Coaxial) network occurred according to DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specifications) Standard because of high capacity, long-distance transmission and long-term cost saving in the internet network establishment. The data transmission occurs when users use the data transmission service on the internet which be the indicator whether the usage between the user using via Cable Modem (CM) and Cable Modem Termination System (CMTS) have the suitable quality management by seeing from network quality index, if it is below than specified that means there is the equipment installation issue such as node or user's cable modem that can be analyzed through network quality index.

This paper presents the analysis of quality index of actual HFC network. Quality index of network will obtain from the measurement of 9 parameters which occur during transmission between CMTS (Cable Modem Termination System) and Cable Modem (CM) including Downstream Power Receive, Upstream Power Receive, Upstream Power Transmission, Downstream Signal to Noise Ratio, Upstream Signal to Noise Ratio, Upstream Codeword Error Rate, Downstream Codeword Error Rate, T3 Time out and T4 Time out to show the analysis result of actual HFC network in each optical node or each service area. This result will be very advantageous in inspection, improvement and maintenance of HFC proactively.

II. ARCHITECTURE OF HFC NETWORK.

DOCSIS or Data over cable service interface specification on this context is the internet service through cable instead of the use of telephone line as well as modem as signal distributor. Today we are using DOCSIS 3.0 Standard which developed to increase the capacity by combining signal channel altogether (multi-channel) and become higher speed transmission.

HFC Network is the network used in transmitting the data on the internet with CMTS (cable modem termination system) which is the switching device splitting signal data of network that similar to router. CMTS will connect between 2 networks that are IP network and HFC network. CMTS can be called as transmitting station or "Head end" of system.

The data transmission of the internet from CMTS though HFC network into cable modem of the users will be called forward path or downstream with bandwidth of 65-1000 MHz at transmission rate of 50 Mbps per channel and sending of data to user's cable modem via HFC network backward to CMTS, this transmission called return path or upstream with bandwidth of 5-50 MHz at transmission rate of 30 Mbps per channel.

Data transmission among HFC networks is 2-way transmission by sending downstream data from CMTS to signal converter and then converts from optical signal into radio frequency signal and be sent through cable modem via devices in network until reaching cable modem. In the same manner, the sending of upstream data will be sent from cable modem through devices in network until reaching signal converter and converts the from radio frequency signal into optical signal abs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

978-1-5090-4420-7/16/$31.00 ©2016 IEEE

then transmits to CMTS, this converter called as “optical node” as shown in fig.1.

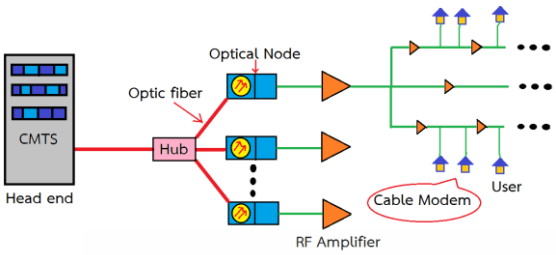


Fig. 1. Architecture of HFC network.

Devices in HFC network consists of

1.) Optical node or AM node is an active amplifier which be used to convert optical signal into radio frequency signal and amplifies radio frequency signal prior to sending to network.

Fig. 2. Optical Node (left) and symbol of optical node (right).

2.) Mini Bridger (MB) is an active amplifier which amplifies radio frequency signal with 1 input into 3 amplified output.

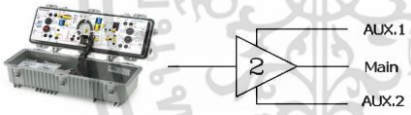


Fig. 3. Mini Bridger (left) and the symbol of Mini Bridger (right).

3.) Line Extender (LE) is an active amplifier which amplifies radio frequency signal with 1 input into 1 output.

Fig .4. Line Extender (left) and the symbol of Line Extender (right).

4.) Splitter is a passive equipment which splits the radio frequency signal with 1 input into 2 or 3 output.

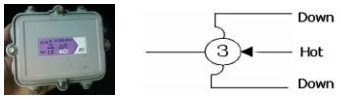


Fig. 5. Splitter (left) and the symbol of Splitter (right).

5.) Tap is a passive equipment which splits radio frequency signal, the number of leg depends on the usage. There are 3 types in network including 2-ways, 4-ways and 8-ways. Attenuation of radio frequency signal shown as number on each tap.

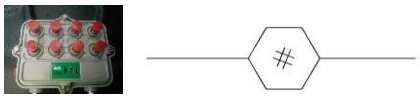


Fig . Tap (left) and the symbol of Tap (right).

6.) Coaxial Cable is channel of transmission for the radio frequency signal from device to the device.

III. Network Quality Index.

Network quality index occurred by 9 parameters of system from head end to user’s cable modem as shown in fig. 7.

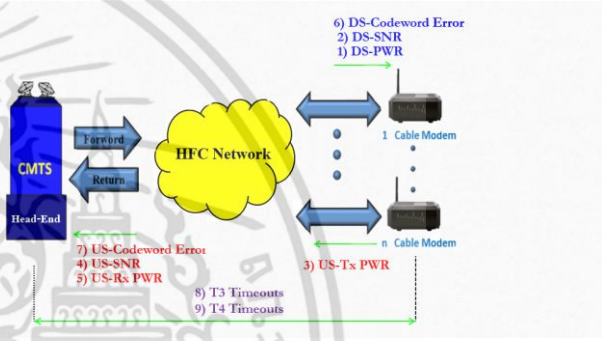


Fig. 7. Communication of HFC network and measured positions to identify the network quality.

9 parameters are measured on following position and their value as follows;

1.) Downstream Power Receive (DS PWR Rx) is the power value of downstream obtained by cable modem in unit of dBmV.

2.) Upstream Power Transmission (UR PWR Tx) is the power value of upstream obtained by cable modem backward to CMTS equipment in unit of dBmV

3.) Upstream Power Receive (UR PWR Rx) is the value obtained by CMTS which sent from cable modem in unit of dBmV

4.) Downstream Signal to Noise ratio (DS SNR) is the ratio of signal power and noise power which measured from cable modem in unit of dB

5.) Upstream Signal to Noise ratio (US SNR) is the ratio of signal power and noise power which measured from CMTS in unit of dB

6.) Upstream Codeword Error Rate (US CW Error Rate) is the percentage of codeword number in sending the upstream data, very low number means such data transmission is more correct.

7.) Downstream Codeword Error Rate (DS CW Error Rate) is the percentage of codeword number in sending the

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

downstream data, very low number means such data transmission is more correct.

8.) T3 Time out and 9.) T4 Time out is the time of disconnection between CMTS and cable modem. Sending of the news or MAP (Media Access Protocol) from CTMS to cable modem, RNG-REQ (Ranging Request) will be transmitted from cable modem to CMTS (occurs on upstream side) then CMTS will respond RNG-RSP (Ranging Response) to cable modem (occurs on downstream side). If the sending is failed or undeliverable, this is called "timeout" or loss of connection.

The occurrence of T3 time out will be at cable modem. This is from the temporal disconnection around 200 ms. but can respond to each other. If there are 15 times of T3 time out, cable modem will be forced to re-register and regarded as disconnection and number of disconnection will be recorded in T4 time out. Another reason that causes of T4 time out is CMTS sends the request to cable modem and if cable modem not response within 20-30 seconds, the new request will be sent and counted as T4 time out as well.

Each parameter indicates the characteristics of signal with criteria of DOCSIS NQI-9 as Table I.

TABLE I. DOCSIS NQI-9 CRITERIA

DOCSIS NQI-9 Criteria					Weight		
No	Parameter	Red	Yellow	Green	Red	Yellow	Green
1	DS power Rx (CM)	X<=-15 or x>=17	-15<x<-12 or 15<x	-12<=x<=15	0	4	8
2	DS SNR (CM)	X<=32	32<x<=35	x>35	0	6	12
3	US SNR (CMTS)	X<=25	25<x<=31	x>31	0	6	12
4	US power Tx (CM)	x<=30 or x>=52	30<x<=35 or 51<x<52	35<x<=51	0	3	6
5	US power Rx (CMTS)	X< -3 or x>3	-3<=x<-2 or 2<x<=3	-2<=x<=2	0	3	6
6	US CW Error Rate	0.0001<=x	0.000003<=x<0.0001	X<0.000003	0	8	16
7	DS CW Error Rate	0.0001<=x	0.0000003<=x<0.0001	X<0.0000003	0	6	12
8	T3 Time out	8<=x	4<=x<8	X<4	0	5	10
9	T4 Time out	2<=x	1	0	0	6	12

From the above table, we will weigh the data according to the actual condition for the convenience in reading the value. Such values shown in table are from cable modem and CMTS.

IV. DATA COLLECTION FOR NETWORK QUALITY ANALYSIS.

In data collection for analyzing network quality according to 9 parameters abovementioned, those values are observed from Putty. Putty will send our commands into the program which is the software in CMTS to allow it pull all values that we put into program. This software called "sambb". Pulled parameters have the commands and values as follows;

1). Measure Downstream Power Receive (DS PWR Rx) and Upstream Power Transmission (US PWR Tx), the appropriate value is DS PWR Rx should be in the range of -12 to +15 dBmV (optimal = 0 dBmV) and US PWR Tx should be in the range of +35 to +51 dBmV. These values pulled from cable modem. Figure 8 represented the cable modem with mac address of 80c6.ab78.be32 using the command in Putty that us scm + mac address + phy, the screen will display result as fig. 8.

```
PSPPSP07CM0>scm 80c6.ab78.be32 phy
MAC Address     I/F            Sid   USPwr   USMER   Timing  DSPwr   DSMER    Mode     DOCSIS
                                     (dBmV)  (SNR)   Offset  (dBmV)  (SNR)             Prov
                                             (dB)                    (dB)
80c6.ab78.be32  C8/1/2/U0      15    32.00   36.12   1369    16.80   41.40    atdma*   1.1
80c6.ab78.be32  C8/1/2/U0      15    32.50   33.22   1369    16.80   41.40    atdma*   1.1
```

Fig. 8. Values of cable modem with mac address of 80c6.ab78.be32, the red frame is value of downstream power receive and upstream power transmission.

2). Measure Upstream Power Receive (US PWR Rx), the appropriate value should be in the range of -2 to +2 dBmV (optimal = 0 dBmV). This value is pulled from CMTS. Fig. 9 shown all cable modems which under control of CMTS using the commands in Putty that are scm or show cable modem and then screen will display as fig. 9.

```
PSPPSP07CM1>show cable modem

MAC Address     IP Address      I/F            MAC                Prim  RxPwr   Timing  Num  D I
                                               State              Sid   (dBmV)  Offset  CPE  P
a4a2.4a53.e5ad  10.23.39.74     C5/0/0/UB      w-online (pt)      4875   1.00   1451    1    N
a4a2.4a53.d928  10.23.35.111    C5/0/0/UB      w-online (pt)      7597   0.00   1775    1    N
a4a2.4a57.51cf  10.23.33.242    C5/0/0/UB      w-online (pt)      1608  -1.00   1811    1    N
88f7.c715.bd0c  10.23.42.52     C5/0/0/UB      w-online (pt)      2958   0.00   1892    1    N
88f7.c787.2ae3  10.69.147.140   C5/0/0/UB      w-online (pt)      2484  -0.50   1891    1    N
4432.c842.feb2  10.23.42.108    C5/0/0/UB      w-online (pt)      1359  -0.50   1497    2    N
a4a2.4a54.4331  10.23.38.84     C5/0/0/UB      w-online (pt)      5546   0.50   1848    1    N
c427.95b3.2b8f  10.69.149.6     C5/0/0/UB      w-online (pt)      3308   0.00   1809    1    N
80c6.ab78.e556  10.69.146.92    C5/0/0/UB      w-online (pt)      865   -0.50   1447    1    N
a4a2.4a5a.1be4  10.69.145.243   C5/0/0/UB      w-online (pt)      7031   0.00   1458    1    N
```

Fig. 9. All cable modems under control of CMTS, the red frame is value of upstream power receive

3). Measure Downstream Signal to Noise ratio (DS SNR) and Upstream Signal to Noise ratio (US SNR), the appropriate value is DS SNR should be greater than +35 dB and US SNR should be greater than +31 dB. These values are pulled from cable modem and CMTS. Fig. 10 shown cable modem with mac address of a4a2.4a53.c271 by using the command in Putty that is scm + mac address + phy and then screen will display as fig. 10.

```
BNAABK12CM0>scm a4a2.4a53.c271 phy
MAC Address     I/F            Sid   USPwr   USMER   Timing  DSPwr   DSMER    Mode     DOCSIS
                                     (dBmV)  (SNR)   Offset  (dBmV)  (SNR)             Prov
                                             (dB)                    (dB)
a4a2.4a53.c271  C7/0/0/U2      7586  40.50   33.22   1212    2.20    39.00    atdma*   1.1
a4a2.4a53.c271  C7/0/0/U3      7586  39.75   33.97   1208    2.20    39.00    atdma*   1.1
```

Fig. 10. Value of cable modem with mac address of a4a2.4a53.c271, the red frame is value of downstream signal to noise ratio and upstream signal to noise ratio

4). Measure Downstream Codeword Error Rate (DS CW Error Rate) and Upstream Codeword Error Rate (US CW Error Rate), the appropriate value should be lower than 0.000003% and Downstream Codeword error rate should be lower than 0.0000003% which pulled from cable modem. Fig. 11 shown the details of cable modem in all CMTS. These details reveal the value of codeword but have not been determined the error rate of codeword. The example illustrated in figure is the value from cable modem with mac address of a4a2.4a53.c271 by using the command in Putty that is scm + mac address + verbose and then screen will display as fig. 11.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
PSPPSP07CM1>scm a4a2.4a5b.92e4 verbose
MAC Address                     : a4a2.4a5b.92e4
IP Address                      : 10.23.36.238
Extended Upstream Transmit Power  : 0dB
Upstream Channel                : US6
Ranging Status                  : sta
Upstream SNR (dB)               : 36.12
Reported Transmit Power (dBmV)  : 43.75
Good Codewords rx               : 22878632
Corrected Codewords rx          : 456
Uncorrectable Codewords rx      : 74
Phy Operating Mode              : atdma*
```

Fig. 11. Details of cable modem and codeword of downstream codeword.

To determine the percentage of codeword error rate in upstream, it is able to be pulled from interface card which sent from cable modem to CMTS by using command show interface upstream + slot/port + stat as shown in fig. 12 and calculate the percentage of codeword error rate with calculating method as presented in fig. 13.

```
BKK34AGNCC2>show interface upstream 10/1.0 stat
Interface upstream 10/1.0 statistics
Admin status: UP
  Logical-channel 0
       Received 5830 broadcasts, 348628 multicasts, 84931988 unicasts
       0 discards, 279685 errors, 0 unknown protocol
       242359958 Unerrroreds, 7607555 Correcteds, 36793 Uncorrectables
       Total Modems On This Upstream Channel : 39 ,35 active cm,28 secondary cm
       Req Mslots 1115082252, Used Req Msots 40244749
       Init Mtn Mslots 3849136685, Used Init Mtn Mslots 0
       Total Mslots 1494439864, Ucast Granted Mslots 598771903
       Avg upstream channel utilization: 4
       Channel utilization interval: 30
       Admin status: UP
       Last clearing of interface stat: never
```

Fig. 12. Details of codeword of upstream codeword.

$$\%\text{Codeword Correctable} = \frac{\text{Correctable} \times 100\%}{\text{Good CW} + \text{Correctable CW} + \text{Uncorrectable CW}} = \frac{456 \times 100\%}{22878632 + 456 + 74} = 1.99 \times 10\text{-}3$$

$$\%\text{Codeword Uncorrectable} = \frac{\text{Uncorrectable} \times 100\%}{\text{Good CW} + \text{Correctable CW} + \text{Uncorrectable CW}} = \frac{74 \times 100\%}{22878632 + 456 + 74} = 3.23 \times 10\text{-}4$$

$$\%\text{Codeword Error} = \frac{\text{CW Error} \times 100\%}{\text{Good CW} + \text{Correctable CW} + \text{Uncorrectable CW}} = \frac{(456+74) \times 100\%}{22878632 + 456 + 74} = 2.21 \times 10\text{-}3$$

Fig. 13. Detail of calculation of codeword error rate.

5). Measure T3 Time out and T4 Time out, both parameters are counted continuously since the modem online until offline because we measure 9 parameters at every 1 hour. Therefore counted number is the number of disconnection. The number of counting from previous hour will be subtracted from number of counting in the next hour then obtain T3 time out and T4 time out at such hour. The appropriate value is T3 time out should be less than 4 times and T4 time out should be zero. Both T3 time out and T4 time are infinite counting number and pulled from cable modem as mentioned above. Fig. 14 and 15 represented the occurrences of T3 time out and T4 time out.

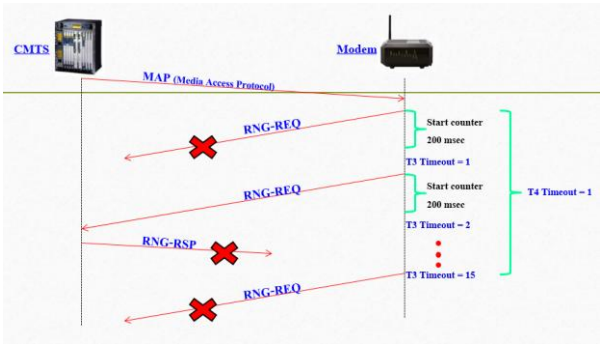


Fig. 14. Request sending from CMTS to cable modem (CM) with some disconnection (T3 time out). If it there are 15 times of occurrence, cable modem will record the value as disconnection (T4 timeout) for 1 time.

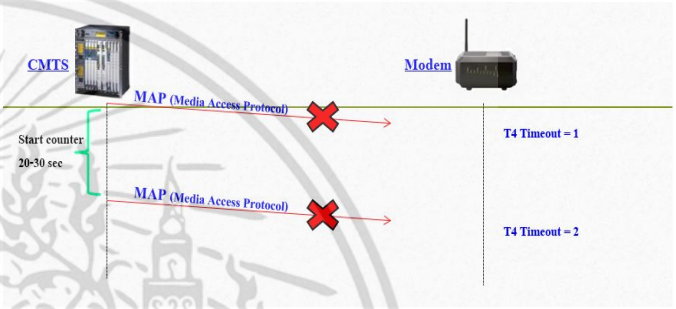


Fig. 15. The occurrence of T4 time out suddenly caused by non-response of cable modem to CMTS within 20-30 seconds, the request will be resent.

The example of calculation of NQI9 percentage from 1 cable modem, using 9 parameters as mentioned to calculate NQI9 percentage. In fig. 16, the example of value obtained from reading and then compare to weight in DOCSIS NQI-9 Criteria table. Once weighed according to DOCSIS NQI-9 Criteria table, calculate NQI9 percentage and then obtain NQI9 percentage as 87.234%.

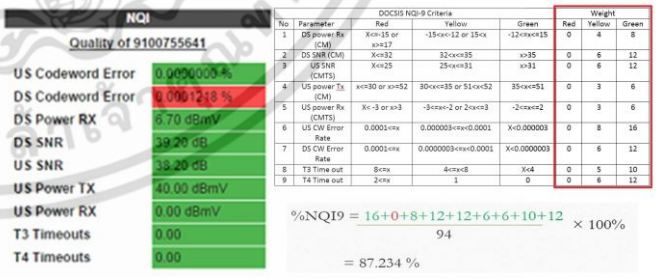


Fig. 16. The example of value obtained from reading and compare to weight in DOCSIS NQI-9 Criteria table to determine NQI9 percentage in calculation of NQI9 percentage from 1 CM

The example of calculation of NQI9 within 1 optical node which contains 100 cable modems using 9 parameters to determine NQI9 percentage. Fig. 17 and 18 are the sample value from reading the value in each modem and compare to weight

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

of DOCSIS NQI-9 Criteria table. Afterward determine the percentage of each parameter of NQI9 and NQI9 percentage of this node. NQI9 percentage obtain as 88.49%.

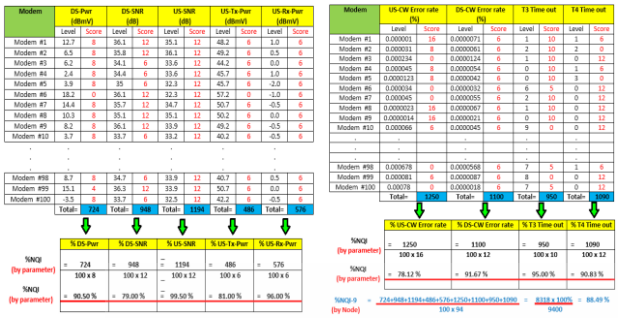


Fig. 17. Percentage of each parameter of NQI9 from node, there are all 100 cable modems.

The best NQI9 percentage and percentage of parameters that enable the network having best efficiency and most suitable shall follow the percentage in table 4. In some case, percentage of parameter may be in other ranges but if NQI9 percentage still maintains more than 96% regarded as the network efficiency is well.

TABLE II. CRITERIA OF PARAMETERS RESULTING OF EXCELLENT NETWORK EFFICIENCY AND APPROPRIATE

No	Parameter	Red zone	Yellow zone	Green zone
1	US-SNR	< 92%	92% - 96%	≥ 96%
2	DS-SNR	< 88%	88% - 96%	≥ 96%
3	US-Tx PWR	< 80%	80% - 90%	≥ 90%
4	DS-Rx PWR	< 92%	92% - 98%	≥ 98%
5	US-Rx PWR	< 95%	95% - 98%	≥ 98%
6	US-CW Error	< 53%		≥ 53%
7	DS-CW Error	< 72%		≥ 72%
8	T3	< 74%		≥ 74%
9	T4	< 76%		≥ 76%

The best quality network should have the value %NQI 9 ≥ 96%

V. ON-THE-JOB DATA ANALYSIS.

The use of NQI9 percentage is another thing that we can verify prior to site survey including parameter data whatever percentage of downstream power receive, upstream power receive, upstream power transmission, downstream signal to noise ratio, upstream signal to noise ratio, upstream codeword error rate, downstream codeword error rate, T3 timeout and T4 timeout totally to examine basically that what the issue caused by then visit the area where located such optical node to improve. The adjustment of any parameter will do by improving equipment. These equipment will be between sending-receiving of cable modem and CMTS in HFC network

Nodes which were surveyed for improving on 11 May, 2016 using NQI9 dated on 10 May, 2016 to observe its trend from 10 May, 2016 that how it run prior to improvement.

AM Node	LKS010N01L1
RCU	LKS010
CMTS Name	LKSSBK04CM1
CMTS<IP>	10.92.207.131
Line Connected (Total Modem)	141.33
Total_AB	97.83333333
%NQI9	84.71
%A5	56.64
%B	39.27
%Online	69.22
%NQI_USSNR	86.38
%NQI_DSSNR	95.59
%NQI_USPWR	96.58
%NQI_DSPWR	99.32
%NQI_USRX	99.91
%NQI_USCW_Uncorrected	44.81
%NQI_DSCW_Uncorrected	94.67
%NQI_T3	100
%NQI_T4	100

US-SNR	<92	92-96	>=96
DS-SNR	<88	88-96	>=96
US-Power	<80	80-90	>=90
DS-Power	<92	92-98	>=98
US-RxPower	<95	95-98	>=98
US-CW	<53		>=53
DS-CW	<72		>=72
T3	<74		>=74
T4	<76		>=76

%NQI_USSNR and %NQI_USCW_Uncorrected shall be lower than the requirement that is %NQI_USSNR shall be greater than 96% and %NQI_USCW_Uncorrected shall be greater than 53%

Fig. 18. Parameters before adjusting compared to criteria.

The above comparison table revealed that NQI_USSNR percentage and NQI_USCW_Uncorrected are lower than specified standard. It is necessary to improve such signal become more efficient by doing fix-noise and balancing the signal back to the good condition using JDSU in examining the power of noise that may effect to signal in sending-receiving data. The profile of JDSU examined is measured from noise occurring in network of such node and cable modem. Signal with good quality should contains low noise, normally always at -40 dBmV but if any abnormal condition occurred, noise will be greater as we see from JDSU. The surveyed node has spectrum before improving as below;

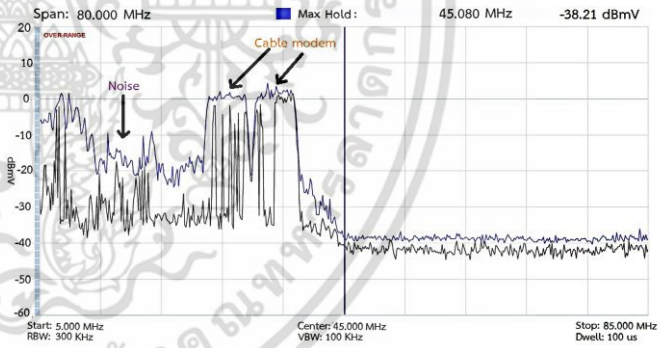


Fig. 19. Spectrum of upstream signal occurring high noise in network before improving.

Fig. 19 found that noise signal is very strong and result of elevating of cable modem signal and cause of abnormal operation. This is the reason of improving the signal to make all signal return to normal condition and better quality of operation by improving from optical node, Splitter, Tap, Mini Bridger and Line Extender by increasing or decreasing the strength of signal by changing pad as well as coaxial line. These events maybe occurred from factors of equipment and general environment. The problems found can be summarized as following;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.) Balance the poor signal for upstream power and downstream power values

2.) Noise occurring from downstream to noise ratio and upstream to noise ratio

3.) Problematic equipment in the network such as Mini Bridger, Line Extender, Splitter, Tap and PAD using for increasing or decreasing the signal. If loose or sufficient installation, noise may occur suddenly. Therefore there is the long-time used in inspecting nodes.

4.) Coaxial line, inserting or cutting of line which uncompleted may result of noise

5.) Weather condition and other factors, definitely that all equipment are under the condition with acting force continuously because of installing on column or electrical cable. This cannot be seen in the early period of installation but it will be denatured or damage due to weather condition such as raining, thundering, sunny and others may enable noise and denature of equipment. To solve such issues, basically check whether these equipment are in the prompt condition to reduce the deterioration from any weather condition.

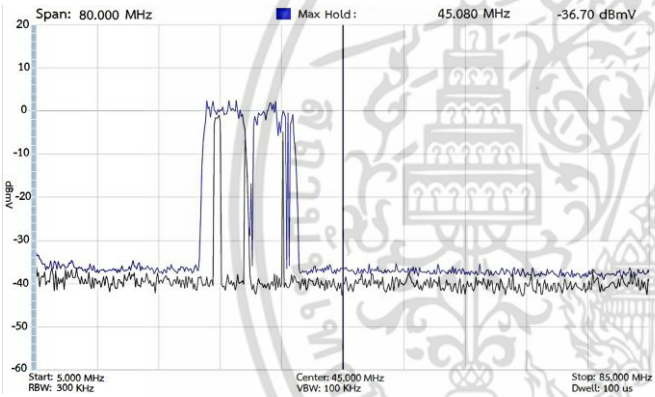


Fig. 20. Spectrum of upstream signal occurring in network after Improvement

To solve each point of noise where occurs on, we will examine the line since optical node that what is the first device which line accesses to (the most are Mini Bridger or Line Extender), this device will be solved firstly and then solve the next device as well as coaxial line during improvement to see whether any fault if connect the coaxial.

Afterward, waiting for data recording by system to let us know the parameters after improvement. The parameters shown as fig. 21.

VI. Conclusion.

This article presents the system for analyzing the performance of actual HFC network in optical node level using operating data of all CMTS and cable modems in each optical node. It is able to measure the efficiency of HFC network for each node by using data from CMTS and cable modems within network and NQI9 also refers to network quality very well with low cost and quickness. This can be used to arrange the priority of network maintenance.

Before

AM Node	LKS010N01L1
RCU	LKS010
CMTS Name	LKSSBK04CM1
CMTS<IP>	10.92.207.131
Line Connected (Total Modem)	141.33
Total_AB	97.83333333
%NQI9	84.71
%A5	56.64
%B	39.27
%Online	69.22
%NQI_USSNR	86.38
%NQI_DSSNR	96.27
%NQI_USPWR	96.58
%NQI_DSPWR	99.32
%NQI_USRX	99.91
%NQI_USCW_Uncorrected	44.81
%NQI_DSCW_Uncorrected	94.67
%NQI_T3	100
%NQI_T4	100

After

AM Node	LKS010N01L1
RCU	LKS010
CMTS Name	LKSSBK04CM1
CMTS<IP>	10.92.207.131
Line Connected (Total Modem)	148.58
Total_AB	102.6666667
%NQI9	89
%A5	92.94
%B	0
%Online	69.1
%NQI_USSNR	99.96
%NQI_DSSNR	97.23
%NQI_USPWR	97.85
%NQI_DSPWR	98.72
%NQI_USRX	99.86
%NQI_USCW_Uncorrected	54.35
%NQI_DSCW_Uncorrected	93.82
%NQI_T3	100
%NQI_T4	100

Fig. 21. Comparison of parameter before and after improvement.

References

[1] Li Zhang, Yong-tao Ma, Kai-hua Liu, Yuan Zeng, "Research of the Noise Characteristic on the Upstream Channel for HFC Network", IEEE ICSPS V2:426-430, 2010

[2] Teerawat Benhavan, Assoc. Prof. Dr. Kraisin Songwatana, "HFC Network Performance Monitoring System using DOCSIS Cable Modem Operation Data in a 3 Dimensional Analysis", IEEE JICTEE 1-5, 2014

[3] Data-over-Cable Service Interface Specifications (DOCSIS). Website: www.cisco.com/en/us

[4] Thanyawarat Pawasopon , Assoc. Prof. Dr. Suvepon Sittichivapak, Analysis of random slot multiple access algorithms for DOCSIS network, IEEE ECTI-CON 896 - 899, 2009

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายปรณัฐวุฒิ ตั้งสกุล
วัน เดือน ปีเกิด	20 กันยายน 2535
ที่อยู่	569 หมู่ที่ 11 หมู่บ้านม่วง ถ.บ้านเขว้า-โนนจาน ต.บ้านเขว้า อ.บ้านเขว้า จ.ชัยภูมิ 36170
ประวัติการศึกษา	2558 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผลงานทางวิชาการ	การวิเคราะห์ข้อมูลของเครือข่าย DOCSIS เคเบิลโมเด็มด้วยค่าดัชนีคุณภาพ ซึ่งจัดแสดงในงานการประชุมวิชาการของ ICSEC ครั้งที่ 20 (The 20th International Computer Science and Engineering Conference) ณ โรงแรมเชียงใหม่ออร์คิด จ.เชียงใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้