

การศึกษาผลของการผสมผสานสัญญาณหลายความถี่ที่มีต่อการทำงานของ  
ระบบสื่อสารแบบ ๑ ช่องต่อ ๑ คลื่นพาหะ



นาย มนิต กริยาผล

002322

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. ๒๕๒๓

16987196

A STUDY OF INTERMODULATION EFFECT ON PERFORMANCE OF  
SINGLE CHANNEL PER CARRIER SYSTEM

Mr. Manid Kariyapen

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering  
Department of Electrical Engineering  
Graduate School  
Chulalongkorn University

1980

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การศึกษาผลของการผสมผสานสัญญาณหลายความถี่ที่มีต่อการทำงานของระบบสื่อสารแบบ ๑ ช่องต่อ ๑ คลื่นพาหะ

โดย

นาย มนิต กริยาผล

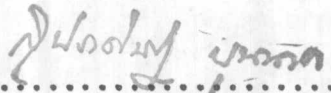
ภาควิชา

ไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษา

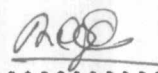
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประสิทธิ์ ประดิษฐ์มงคลการ


บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้มนิตกริยาผลบัณฑิตนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

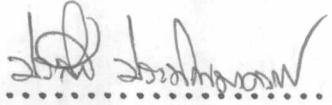
  
..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุประสิทธิ์ บุญนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(ศาสตราจารย์ อากรณี เก่งพล)

  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ณรงค์ อยู่ถนอม)

  
..... กรรมการ  
(ดร. ปรีดี เทตระกูล)

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประสิทธิ์ ประดิษฐ์มงคลการ)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาผลของการผสมผสานสัญญาณหลายความถี่ที่มีต่อการทำงานของระบบสื่อสารแบบ ๑ ช่องต่อ ๑ คลื่นพาหะ
ชื่อผู้จัดทำ	นายมนต์ กริยาผล
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประสิทธิ์ ประดิษฐ์มงคลการ
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา	๒๕๒๒



บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาผลของการนำระบบ ๑ ช่องต่อ ๑ คลื่นพาหะมาใช้ในระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม และศึกษาผลกระทบของอินเตอร์โมดูเลชัน ซึ่งเกิดจากส่วนของความไม่เป็นเชิงเส้นของอัตราการขยายของเครื่องขยายกำลัง ที่มีต่อการทำงานของระบบ ๑ ช่องต่อ ๑ คลื่นพาหะที่ใช้โมดูเลชันเทคนิคแบบ FM

ในการวิเคราะห์นี้ได้ใช้วิธี Transform Method ของ Davenport และ Root ในการหา Autocorrelation Function ของสัญญาณที่ขาออกของเครื่องขยายกำลัง โดยแทนคุณลักษณะการขยายของเครื่องขยายกำลังด้วย linear piecewise soft limiter และสัญญาณขาเข้าประกอบด้วยเสียงรบกวนขาขึ้น (up link noise) และจำนวนคลื่นพาหะ ซึ่งแต่ละคลื่นพาหะถูกโมดูเลตด้วยสัญญาณพื้นฐาน (Baseband Signal) ของแต่ละช่องสัญญาณ (channel) ที่เป็น Sinusoidal

ผลที่ได้นำมาเขียนโปรแกรมเพื่อศึกษาผลกระทบของอินเตอร์โมดูเลชันที่มีต่อคุณภาพของสัญญาณที่ขาออกของเครื่องขยายกำลังในเชิงตัวเลข และใช้สูตรของ Sunde ในการประมาณค่าคุณภาพของสัญญาณที่ขาออกของเครื่องรับ FM ในกรณีที่อัตราส่วนของกำลังของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนรวมที่ขาเข้าของเครื่องรับ FM มีค่าสูง ๆ

ผลจากงานวิทยานิพนธ์นี้แสดงให้เห็นว่าระดับของอินเตอร์โมดูเลชันขึ้นอยู่กับจำนวนของคลื่นพาหะ และระดับของสัญญาณขาเข้ารวม (Combined wave) ถ้ากำหนดค่าที่ยอมรับได้ของคุณภาพสัญญาณ (acceptable value of Signal-to-distortion-plus noise power) ที่ขาออกของเครื่องรับ FM ประมาณ 10 db จุดทำงานของเครื่องขยายกำลัง กรณีที่จำนวนคลื่นพาหะเท่ากับ 5 ควรจะอยู่ที่ 0.4 ของระดับจำกัด (limiting level) หรือต้องลดกำลังขาออกต่ำลง 3.5 db (Back off) นอกจากนี้ยังพบว่ารูปร่างการกระจายกำลังเชิงความถี่ของอินเตอร์โมดูเลชันขึ้นอยู่กับรูปร่างการกระจายกำลังของแต่ละช่องสัญญาณขาเข้า

Thesis Title         A Study of Intermodulation Effect on Performance of  
Single Channel per Carrier System

Name                  Mr.Manid Kariyapon

Thesis Advisor       Asst.Prof. Prasit Prapinmongkolkarn, Ph.D.

Department           Electrical Engineering

Academic Year        1979

#### ABSTRACT

In this thesis the tradeoffs in using SCPC system comparing with other modulation system was investigated. Intermodulation distortion arising in CFM (companded FM) SCPC system was evaluated for the case when the saturation effect of TWT amplifier is represented by linear piecewise soft limiter with inputs to the TWT consisting of a number of independent carriers of sine wave modulation, plus uplink random noise. The effect of intermodulation distortion on the performance of FM receiver at the earth station with down link noise is also evaluated.

The Transform method was used in deriving the Autocorrelation function of the signal at the output of TWT amplifier. The resulting equations have been programmed on IBM 370/138 computer to evaluate the deterioration of signal due to intermodulation when the parameters of the system are changed in numerical value.

In case the input of FM detector has high signal to distortion-plus-noise power. Sunde's formular was used in approximation of SNR at the output of FM detector.

7

The results of this research show that the intermodulation power depends on the number of carriers and the operating point of TWT amplifier. If the minimum acceptable of Signal-to-distortion-plus-noise power at the output of FM detector is approximately 10 db the operating point of TWT, in case of number of carrier equal to 5 , should be 0.4 of ~~the~~ limiting level or 3.5 db out put back off.

It is also shown in this research that the shape of intermodulation spectral density depends on the convolution among spectral density of each channels which formed the input signal of TWT



## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประสิทธิ์ ประพัฒน์มงคลการ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ในฐานะอาจารย์ที่ปรึกษาเป็นอย่างยิ่ง ในการที่ท่านได้ให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์มากแก่ข้าพเจ้า รวมถึงการช่วยจัดหาเอกสารเพื่อใช้ในการค้นคว้า การทำวิทยานิพนธ์ และท้ายสุดในการตรวจสอบแก้ไขจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ดร.ปรีดี เถตระภูล ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนการตรวจแก้ไข วิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ อารมณ์ เก่งพล และรองศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์ อยู่ถนอม ในการตรวจและแก้ไขให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จด้วยดี และขอขอบพระคุณอาจารย์ใน ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่านซึ่งได้วางรากฐาน แห่งความรู้ให้แก่ข้าพเจ้า และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของภาควิชา ฯ ที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดี

ยิ่งไปกว่านั้น ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณต่อคุณพ่อคุณแม่และพี่น้องทุกคน ที่เป็นกำลังสนับสนุน ในทุกด้านแก่ข้าพเจ้าในชีวิตการศึกษานี้

ขอขอบคุณ คุณสุชาติ หล้าสาย คุณวันเพ็ญ จินกลับ และคุณจารุณี โสภา ที่ช่วย ให้งานพิมพ์และการประกอบรูปเล่มวิทยานิพนธ์สำเร็จได้ตามกำหนดเวลา



สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	ฉ
กิตติกรรมประกาศ .....	ช
รายการตารางประกอบ .....	ฅ
รายการรูปประกอบ .....	ณ
บทที่ ๑ บทนำ	
คำนำ .....	๑
ความเป็นมาของการศึกษาผลของการผสมผสานกันระหว่างสัญญาณที่ผิดในระบบ	
สื่อสาร .....	๔
เป้าหมายงานวิจัย .....	๗
บทที่ ๒ ระบบ ๑ ช่องต่อ ๑ คลื่นพาหะ	
ระบบ ๑ ช่องต่อ ๑ คลื่นพาหะ .....	๘
ระบบ ๑ ช่องต่อ ๑ คลื่นพาหะกับการสื่อสารดาวเทียม .....	๘
ระบบ ๑ ช่องต่อ ๑ คลื่นพาหะ เพิ่มประสิทธิภาพการใช้แถบความถี่ของสื่อสารได้	
อย่างไร .....	๘
โมดูเลชัน เทคนิคในระบบ ๑ ช่องต่อ ๑ คลื่นพาหะ .....	๑๑
บทที่ ๓ ความเพี้ยนของสัญญาณที่เกิดจากอินเตอร์โมดูเลชันในระบบ ๑ ช่องต่อ ๑ คลื่นพาหะ	
ชนิดโมดูเลชันแบบ FM	
บทนำ .....	๑๓
รูปแบบของระบบที่ใช้ศึกษา .....	๑๔
การหา Autocorrelation Function ของสัญญาณที่ขาออกของเครื่อง	
ขยาย .....	๑๔



การหาฟังก์ชันคุณลักษณะของสัญญาณจริง . . . . . ๑๙

Autocorrelation Function ของสัญญาณที่ขาออกของ เครื่องขยายกำลัง ๒๐

การหาค่าสัมประสิทธิ์  $h_{KY_1Y_2..Y_n}$  . . . . . ๒๖

อัตราส่วนของกำลังสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนที่ขาออกของ เครื่องขยาย . . . . . ๒๙

การกระจายกำลังในเชิงความถี่ของสัญญาณที่ขาออกของ เครื่องขยายกำลัง . . . . . ๓๓

อัตราส่วนของกำลังของสัญญาณกับสัญญาณรบกวนที่ขาออกของ เครื่องรับ . . . . . ๓๖

บทที่ ๔ การประเมินเชิงตัวเลขและผลการศึกษา

การประเมินเชิงตัวเลข . . . . . ๔๐

การคำนวณค่า  $h_{KY_1Y_2..Y_n}$  . . . . . ๔๐

การหาค่าผลบวกของจำนวนอนันต์พจน์ . . . . . ๔๑

ผลที่ได้จากการศึกษาเชิงตัวเลข . . . . . ๔๒

การจัดสรรกำลังในแต่ละช่องสัญญาณที่ขาออกของ เครื่องขยายกำลัง . . . . . ๔๒

การเปลี่ยนแปลงของกำลังสัญญาณขาออกต่อจำนวนคลื่นพาหะ . . . . . ๔๗

ผลของอินเตอร์โมดูเลชันที่มีต่อการทำงานระบบ ๑ ช่องต่อ ๑ คลื่นพาหะ . . . . . ๔๘

ความเป็นไปได้ในการลดผลของอินเตอร์โมดูเลชัน . . . . . ๔๘

การปรับปรุงคุณภาพของระบบด้วย Syllabic Compander . . . . . ๕๖

บทที่ ๕ บทสรุปงานวิจัย . . . . . ๕๔

เอกสารอ้างอิง . . . . . ๖๐

ประวัติ . . . . . ๖๔

รายการตารางประกอบ

หน้า

ตารางที่ ๒.๑	การเปรียบเทียบความจุจำนวนช่องสัญญาณต่อทรานสปอนเดอร์ของ INTELSAT IV (GlobalBeam) ที่ใช้โมดูเลชันต่างกัน ... ..	๑๑
--------------	--	----

รายการรูปประกอบ

หน้า

รูปที่ ๑.๑	โครงสร้างพื้นฐานของระบบสื่อสารดาวเทียม ... ..	๒
๑.๒	การครอบคลุมพื้นที่การสื่อสารของจานสายอากาศของดาวเทียมสื่อสาร	๒
๑.๓	โครงสร้างทั่วไปในการจัดความถี่ให้แก่สถานี ... ..	๔
๑.๔	โครงสร้างทั่วไปในการจัดช่องเวลาของแต่ละสถานี ... ..	๔
๓.๑	คุณลักษณะของเครื่องขยายกำลังที่ใช้ศึกษา ... ..	๑๔
๓.๒	ระบบสื่อสารแบบ SCPC/CFM ที่ผ่านดาวเทียม ... ..	๑๖
๓.๓	ระบบเครื่องรับ FM ที่สถานีภาคพื้นดิน ... ..	๑๖
๓.๔	ภาพร่างของการกระจายกำลังเชิงความถี่ของสัญญาณขาออกของเครื่อง ขยายกำลัง ... ..	๓๔
๓.๕	ภาพร่างของการกระจายกำลังเชิงความถี่ของอินเทอร์โมดูเลชันลำดับที่ ๓	๓๕
๔.๑	การจัดสรรกำลังของสัญญาณขาออก กรณี $s_1 > s_2 = s_3, B = 1, \beta = 10$ ... ..	๔๓
๔.๒	การกคกันเองของสัญญาณขาออก กรณี $s_1 > s_2 = s_3, B = 1, \beta = 10$ ... ..	๔๓
๔.๓	การจัดสรรกำลังของสัญญาณขาออก กรณี $s_1 = s_2 > s_3, B = 1, \beta = 10$ ... ..	๔๔

๔.๔	การกีดกันของสัญญาณขาออก	
	กรณี $s_1 = s_2 > s_3$ , $B = 1, \beta = 10$ ... ..	๔๔
๔.๕	การจัดสรรกำลังของสัญญาณขาออก	
	กรณี $s_1 > s_2 = s_3$ , $B = 0.5, \beta = 10$ ... ..	๔๕
๔.๖	การกีดกันของสัญญาณขาออก	
	กรณี $s_1 > s_2 = s_3$ , $B = 0.5, \beta = 10$ ... ..	๔๕
๔.๗	การจัดสรรกำลังของสัญญาณขาออก	
	กรณี $s_1 = s_2 > s_3$ , $B = 0.5, \beta = 10$ ... ..	๔๖
๔.๘	การกีดกันของสัญญาณขาออก	
	กรณี $s_1 = s_2 > s_3$ , $B = 0.5, \beta = 10$ ... ..	๔๖
๔.๙	กำลังขาออกของแต่ละสัญญาณโดยเป็นฟังก์ชันของจำนวนคลื่นพาหะ . . . . .	๔๘
๔.๑๐	กำลังขาออกของเครื่องขยายกำลัง . . . . .	๔๘
๔.๑๑	ระดับของอินเตอร์โมดูเลชันในช่องสัญญาณกลาง . . . . .	๕๐
๔.๑๒	ค่าเฉลี่ยของ Carrier-to-intermodulation ratio ที่ขาออกของ เครื่องขยาย . . . . .	๕๒
๔.๑๓	Carrier-to-total noise ratio ที่ขาออกของเครื่องขยาย . . . . .	๕๓
๔.๑๔	คุณภาพของสัญญาณที่ขาออกของเครื่องรับ FM . . . . .	๕๔
๔.๑๕	คุณลักษณะของคอมแพนเดอ์ . . . . .	๕๗

### Symbol List

$A_n$	ขนาดของคลื่นพาหะของช่องสัญญาณ n
$B_n$	ระดับสัญญาณในช่องสัญญาณ n เมื่อเทียบกับระดับจำกัด
$E[\cdot]$	Expected Value
EXP	Exponential Function
f	ความถี่สัญญาณ
$f(\omega)$	Transfer Function
$I_n(x)$	modified Bessel function of the first kind of order n
$J_n(x)$	Bessel function of the first kind of order n
$\ell$	ระดับจำกัดของเครื่องขยาย
$m_i(t)$	สัญญาณพื้นฐานในช่องสัญญาณ i
$M_x(\omega_1, \omega_2)$	Joint Characteristic Function of X(t)
$R_y(t_1, t_2)$	Autocorrelation Function of Y(t)
$n(t)$	เสียงรบกวนขาขึ้นหรือขาลง
$s(t)$	สัญญาณรวมจากแต่ละช่องสัญญาณ
SINH	sine hyperbolic function
$S_y(f)$	การกระจายกำลังเชิงความถี่ของสัญญาณ Y(t)
$\tau$	เวลาที่แตกต่างระหว่างเวลา $t_1$ และ $t_2$
$V_n(t)$	สัญญาณ FM ความถี่วิทยุ
$\omega$	ความถี่เชิงมุม
$X(t)$	สัญญาณขาเข้าของเครื่องขยายกำลัง
$Y(t)$	สัญญาณขาออกของเครื่องขยายกำลัง