

การคำนวณระดับของสัญญาณดาวเทียม

The Optimum EIRP Level of Satellite Signal Calculation

ศักดิ์ ธารีเวทย์ และ มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

โทร. 3266099 – 100 (ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า) E – Mail: Thareewet.Sakda@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

ในบทความนี้ นำเสนอการคำนวณของสัญญาณดาวเทียม สำหรับการออกแบบโครงข่ายสื่อสารผ่านดาวเทียม แสดงการคำนวณระดับของสัญญาณดาวเทียมที่ใช้ในการสื่อสาร เพื่อออกแบบระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ประเทศไทย เพื่อที่จะทำการคิดต่อสื่อสารมีประสิทธิภาพสูง และลดการใช้จ่ายของระบบให้น้อยที่สุด เพื่อที่จะสามารถให้ค่าความถูกต้องได้ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากทางปฏิบัติมาก นำผลที่ได้คำนวณหาอุปกรณ์ ที่ใช้ในระบบตามที่ต้องการอย่างถูกต้อง

ABSTRACT.

This paper presents methods for calculating optimum signal level in satellite communication. Express the level of satellite communication. The value of signal strength calculated by that method provides an accuracy of the value comparable to the value which is obtained by practice. Samples are given for the case of a satellite network in Thailand which show how cost and efficiency are improved, thus providing guideline for the design of the network.

1. บทนำ

การพัฒนาการสื่อสารทางอวกาศนี้ [8,10] ได้ริเริ่มมาจากการพัฒนาการของเทคโนโลยี หลาย ๆ สาขา เช่น การพัฒนาจรวด อุปกรณ์สื่อสาร วิศวกรรมอวกาศ ระบบสถานีภาคพื้นดิน ระบบเชื่อมต่อกับเครือข่ายภาคพื้นดิน รวมทั้งความรู้อื่น ๆ อีกมากมาย เพื่อที่จะสามารถเป็นสื่อที่จะทำให้เกิดการติดต่อกันได้ จุดมุ่งหมายในระบบของการสื่อสารผ่านดาวเทียม ก็คือ การที่สามารถเชื่อม ต่อระหว่างผู้ใช้งานให้สามารถติดต่อกันได้ ส่วนประกอบของระบบจะประกอบไปด้วย ดาวเทียม (Geostationary Satellite) สถานีควบคุมดาวเทียม (Master Control Stations) ชั้นบรรยากาศ (Free Space) สถานีภาคพื้นดิน (Earth Stations) โครงข่ายการเชื่อมโยง ระหว่างสถานีภาคพื้นดิน กับผู้ใช้บริการ หรือการเชื่อมต่อกับเครือข่ายภาคพื้นดิน (Terrestrial Network) หรืออื่น ๆ สิ่งที่สำคัญในการที่จะทำให้ระบบเหล่านี้ สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพก็คือการออกแบบระบบที่ถูกต้อง และเหมาะสมกับสภาพพื้นที่ที่ใช้

งาน นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายที่ประหยัดที่สุดซึ่งเป็นที่มาของการศึกษาถึงวิธีการออกแบบที่คำนึงถึงผลกระทบด้วยต่าง ๆ เพื่อให้การคำนวณและออกแบบระบบเป็นไปได้อย่างรวดเร็ววิธีการคำนวณที่จะทำการศึกษาจะใช้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่นำมาใช้ในการคำนวณนี้ ได้มาจากข้อมูลจากหลาย ๆ ที่มาทำการคำนวณและทำการบันทึก ซึ่งมีรายละเอียดและวิธีการต่าง ๆ ดังจะกล่าวต่อไป

2 ทฤษฎี

2.1 ความรู้เบื้องต้น และทฤษฎีการสื่อสารดาวเทียม

ก่อนที่จะทำความเข้าใจ การเคลื่อนที่ของดาวเทียม กับวงโคจรของตัวเองเอง จึงจำเป็นต้องอาศัย การอธิบายทางคณิตศาสตร์ ซึ่งสามารถที่จะทำให้เข้าใจได้ดียิ่งขึ้น

ทฤษฎีที่สามารถอธิบาย [5-7] เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นนี้ได้ก็คือ ทฤษฎีของเคปเลอร์ (Kepler's Laws) และทฤษฎีของนิวตัน (Newton's Laws) โดยที่ ทฤษฎีของเคปเลอร์ จะอธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างโลกกับดาวเทียม ส่วนทฤษฎีของ นิวตัน สามารถที่จะชี้ให้เห็นถึงที่มาของทฤษฎีของ เคปเลอร์ ว่าเป็นความจริง ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นจริงได้ดังนี้

1) ดาวเทียมจะเคลื่อนที่เป็นวงรี เมื่อเทียบกับจุดศูนย์กลางหนึ่ง จุด (The orbit of each planet, satellite, is an ellipse with the sun, earth, at one focus)

2) ในช่วงเวลาการเคลื่อนที่เท่ากัน ณ.จุดใด ๆ ของวงโคจร ดาวเทียมจะกวาดพื้นที่ไปเป็นบริเวณที่เท่ากันเสมอ (The line joining the sun, earth, to a planet, satellite, sweeps out equal areas in equal times.)

3) คาบของการเคลื่อนที่ ยกกำลัง 2 จะแปรผันโดยตรงกับกำลัง 3 ของความยาวของแกนหลัก (The square of the period of revolution is proportional to the cube of the major axis)

จะเห็นว่า ทฤษฎีของ เคปเลอร์ (Kepler's Laws) ได้กล่าวไว้ อย่างชัดเจนถึงความสัมพันธ์ ระหว่างโลกกับดาวเทียม และ ทฤษฎีนี้ได้ รับการสนับสนุน ความเป็นไปได้จาก ทฤษฎีของ นิวตัน (Newton's Laws) ซึ่งสามารถพิสูจน์ได้ดังนี้ จากทฤษฎี แรงโน้มถ่วงของนิวตัน (Newton's law of universal gravitation) ที่กล่าวไว้ว่า

$$F = -GMmR'/r^3$$

เมื่อ F คือ แรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำต่อดาวเทียม (N)

G คือ แรงโน้มถ่วงสากล (Universal gravitation

constant = 6.672×10^{-11} Nm/Kg²)

M คือ มวลของโลก (5.9744×10^{25} Kg)

m คือ มวลของดาวเทียม (Kg)

r คือ ระยะทางจากจุดศูนย์กลางโลกไปยังดาวเทียม (Km)

R' คือ เวกเตอร์จากจุดศูนย์กลางโลกไปยังดาวเทียม

ในสมการ มีค่าเป็นลบ เนื่องจากว่าแรงดึงดูดของโลกกระทำที่ตัวดาวเทียม มีทิศชี้จากโลกไปยัง ดาวเทียม แรงกระทำที่ตัวดาวเทียมจึงคิดลบ และจากกฎข้อที่ 2 ของนิวตัน ซึ่งกล่าวไว้ว่า

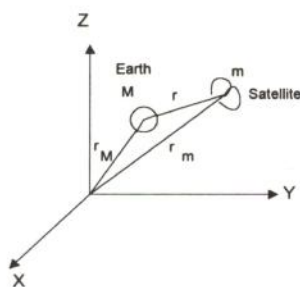
$$F = ma = m (dv/dt)$$

เมื่อ a คือ ความเร่ง (Acceleration)

v คือ ความเร็ว (Velocity)

t คือ เวลา (Time)

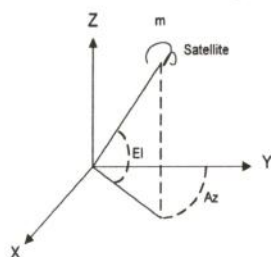
จากสมการทั้งสองของนิวตัน เมื่อพิจารณาพร้อมกับรูป 1 จะได้



รูปที่ 1 ระบบพิกัดการบอกตำแหน่งของดาวเทียม

2.2 ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างโลกกับดาวเทียม

มุมมองจากสถานีภาคพื้นดินไปยังดาวเทียม (Look Angle) จะสามารถกำหนดได้โดยตัวแปรที่สำคัญของ มุม Azimuth (Az) และมุม Elevation (E1) ดังแสดงให้เห็นดังรูปข้างล่าง มุม Elevation (E1) คือ มุมที่วัดจากเส้นตรงในแนวระดับ ไปยังแนวเส้นตรงที่พุ่งไปยังดาวเทียม ส่วนมุม Azimuth จะวัดจาก เส้นตรงในแนวระดับไปยังทิศเหนือ เทียบกับเส้นในแนวระดับ ที่ฉายลงมาจากเส้นตรงที่พุ่งไปยังดาวเทียม ดังรูปนี้



รูปที่ 2 แสดงมุม Az และ E1 ที่ชี้ไปยังดาวเทียม

(1) การคำนวณหาระยะทาง จากสถานีภาคพื้นดินไปยังดาวเทียม สามารถหาได้ดังนี้กำหนดให้

1. รัศมีของโลก (R_e) = 6,378 Km.

2. ระยะทางจากพื้นผิวโลก ไปยังดาวเทียมในแนวตั้งฉากกับ

จุดที่วัด (h) = 35,786 Km.

จากรูปที่ 2 นี้จะได้ว่า

1. การคำนวณหามุม Azimuth

จากรูปที่ มุม Az สามารถหาได้จาก

$$\sin Az = \sin \lambda / \sin \gamma = \sin \lambda / (1 - \cos 2\gamma)^{1/2}$$

$$= \sin \lambda / (1 - \cos 2\phi_g \cdot \cos 2\lambda)^{1/2}$$

$$\text{เพราะฉะนั้น } Az = \sin^{-1} \{ \sin \lambda / (1 - \cos^2 \phi_g \cdot \cos^2 \lambda)^{1/2} \}$$

2. การคำนวณหามุม Elevation

จากรูปที่มุม E1 สามารถทำได้จาก

$$\cos \theta = r \cdot \sin \gamma / d = r \cdot \sin \gamma / (R_e^2 + h^2 - 2R_e \cdot r \cdot \cos \gamma)^{1/2}$$

$$= \frac{(R_e + h) \times \sqrt{(1 - \cos 2\gamma)}}{(h^2 + 2R_e \times (R_e + h) \times (1 - \cos 2\phi_g \cos 2\lambda))^{1/2}}$$

$$= \frac{(R_e + h) \times (1 - \cos^2 \phi_g \cos^2 \lambda)}{\sqrt{h^2 + 2R_e \times (R_e + h) \times (1 - \cos 2\phi_g \cos 2\lambda)}}$$

2.3 ผลกระทบอื่นที่มีต่อระบบวงจรและระบบสื่อสาร

1.. สมการ การเชื่อมต่อ (Link Equation)

ที่สถานีภาคพื้นดิน ค่ากำลังส่งผลออกที่มีผล transmit effective isotropic radiated power, e.i.r.pt ที่งานสายอากาศจะเท่ากับผลคูณของ Carrier transmit power (P_t) กับค่า Transmit antenna gain (G_t)

$$e.i.r.pt = P_t G_t \quad (3)$$

สมมุติว่า ระยะทางจากดาวเทียมไปยังสถานีส่งภาคพื้นดิน Transmitting Earth Station มีค่าเท่ากับ R ค่า Radiate Flux Density (Y_u) สามารถหาได้จาก

$$Y_u = e.i.r.pt / 4\pi R^2 \quad (4)$$

การหาลำดับของสัญญาณ ที่งานสายอากาศรับ จะมีค่าเท่ากับผลคูณของ Radiate Flux Density กับพื้นที่ของงานสายอากาศที่รับสัญญาณจริง (Effective Aperture Area)

$$A_e = \eta \cdot A$$

เมื่อ A = พื้นที่ของงาน (m^2)

A_e = พื้นที่ของงานที่รับสัญญาณจริง (m^2)

η = ค่าคงที่

$$C_u = Y_u \cdot A_e$$

$$C_u = (e.i.r.pt) A_e / 4\pi R^2 \quad (w) \quad (5)$$

2. การหาอัตราส่วน C/N ของข่ายสื่อสารดาวเทียม

1. อัตราส่วน C/N ทางด้านขาขึ้น

ค่า Effective noise power density ที่ Input ของดาวเทียมหาได้จาก

$$N_u = kT_s \quad (6)$$

เมื่อ k = Boltzmann's Constant (J/K)

T_s = Satellite system noise temperature

ค่าอัตราส่วนของ คลื่นพาหะต่อกำลังของสัญญาณรบกวน (Carrier-to Noise density ratio) ทางด้านขาขึ้น สามารถหาได้โดย

$$\begin{aligned} (C/N)_u &= C_u / N_u = e.i.r.pt \cdot A_e / (4\pi R^2 \cdot kT_s) \\ &= e.i.r.pt \cdot (A_e / (T_s (\lambda^2 u))) (\lambda^2 u / 4\pi R^2) \cdot (1/K) \\ &= e.i.r.pt \cdot (4\pi A_e / (T_s (\lambda^2 u))) (\lambda^2 u / (4\pi R^2)) \cdot (1/K) \end{aligned} \quad (7)$$

เมื่อค่าอัตราขยาย (Receiving gain) ของงานสายอากาศทางด้านรับ หาได้จาก $Gr = 4\pi A_e / \lambda^2 u$

และค่าการสูญเสียทางด้านขาขึ้น (Uplink propagation loss) หาได้จาก $Lu = (4\pi R / \lambda^2 u)^2$

แทนค่าในสมการที่ (9) จะได้

$$\begin{aligned} (C/N)_u &= e.i.r.pt \cdot (Gr/T_s) \cdot (1/Lu) \cdot (1/K) \\ &= e.i.r.pt \cdot (Gr/T_s) \cdot Lu \cdot K \end{aligned} \quad (8)$$

หรือคิดในรูปแบบของความถี่ของสัญญาณขาขึ้น (Uplink)

$$(C/N)_u = Y_u + (Gr/T_s) - 10 \log (C / 4\pi f u^2) \quad (9)$$

เมื่อ f_u = ความถี่ขาขึ้น

C = ความเร็วขาขึ้น (3×10^8) m/s

$e.i.r.pt$ = ค่ากำลังส่งออกที่มีผลที่สถานีภาคพื้นดิน

Lu = การสูญเสียทางด้านขาขึ้น

T_s = การสูญเสียที่ระบบของดาวเทียม

2 อัตราส่วน C/N ทางด้านขาลง

กำลังของสัญญาณที่งานสายอากาศรับพื้นดิน หาได้จาก

$$C_d = Y_d \cdot A_e = e.i.r.ps \cdot A_e / 4\pi R^2 \quad (10)$$

ค่า Effective noise power density ที่ input ของสถานีภาคพื้นดิน มีค่าเท่ากับ

$$N_d = KTr \quad (11)$$

เพราะฉะนั้นค่า Effective noise power density ratio ของสัญญาณช่วงลง มีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} (C/N)_d &= C_d / N_d = e.i.r.ps \cdot A_e / (4\pi R^2 KTr) \\ &= e.i.r.ps \cdot (4\pi A_e / Tr (\pi^2 d)) (\pi^2 d / (4\pi R^2)) \cdot (1/K) \end{aligned}$$

เมื่อ อัตราขยายที่รับได้ของงานสายอากาศที่รับได้หาได้จาก

$$Gr = 4\pi A_e / \lambda^2 d$$

และ อัตราการสูญเสียทางด้านลง หาได้จาก

$$L_d = (4\pi R)^2 / \lambda^2 d$$

$$(C/N)_d = e.i.r.ps \cdot (Gr/Tr) \cdot (1/L_d) \cdot (1/K) \quad (12)$$

$$= e.i.r.ps \cdot (Gr/Tr) \cdot L_d \cdot K \quad (13)$$

เมื่อ $e.i.r.ps$ = ค่ากำลังส่งออกที่มีผลที่งานสายอากาศของดาวเทียม

L_d = อัตราการสูญเสียทางด้านลง

Gr = อัตราการขยายของงานสายอากาศที่สถานีภาคพื้นดิน

Tr = สัญญาณรบกวนของระบบ ที่สถานีภาคพื้นดิน

ผลรวมของค่า Carrier-to-noise density ratio ของระบบทั้งหมดหาได้จาก

$$C/N = (C/N)_u + (C/N)_d + (C/IMO) \quad (14)$$

เมื่อ C/IMO คือ ค่า Carrier-to-intermodulation noise ratio ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของภาคขยายของดาวเทียม

3. ค่า Figure of Merit (G/T)

คืออัตราส่วนระหว่าง Effective antenna gain กับ system noise temperature ที่สถานีรับสัญญาณภาคพื้นดิน เป็นค่าที่ต้องกำหนดให้ใช้กับสถานีรับสัญญาณภาคพื้นดินด้วยกันเนื่องจากค่า C/N ของแต่ละสถานีรับภาคพื้นดิน มีค่าแตกต่างกันเพื่อให้สามารถทำงานเป็นไปตามระบบ

4. ค่าสัญญาณรบกวนของระบบ (System Noise Temperature)

ค่านี้เกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระไม่มีทิศทางแน่นอนในตัวนำต่าง ๆ ที่ อุณหภูมิสมบูรณ์ ซึ่งค่า Noise Power ทั้งหมดหาได้จาก

$$T_{sys} = T_a + T_f + T_r \quad (15)$$

5. ค่า Carrier-to-noise Temperature ratio (C/T)

$$C/T = e.i.r.p.s + Gr/Tr - Ld \quad (16)$$

6. ค่า Carrier-to-Noise power ratio (C/N)

เป็นค่าที่เกิดขึ้นใน Bandwidth เพื่อที่เราจะกำหนดระดับของการรับและทดสอบระดับของการรับ ซึ่งสามารถหาได้จาก

$$\begin{aligned} C/N &= C/No - 10\log B = (C/T - K) - 10\log B \\ &= C/T - 10 \log B - K \quad (dB) \end{aligned} \quad (17)$$

7. ค่า Signal-to-noise Power Ratio (S/N)

$$S/N = G/T + 10\log (B/b) - K - 10\log B + 10\log (fr/fm) + P + W \quad (dB) \quad (18)$$

3.การทดลองออกแบบและคำนวณระดับของสัญญาณดาวเทียม

3.1 การออกแบบ

ต้องการออกแบบ [1-3 และ 9] ระบบติดต่อสื่อสารผ่านดาวเทียม จากระบบสื่อสารเคลื่อนที่ไปยัง สถานีศูนย์กลาง โดยต้องการ 1 ช่องสัญญาณสื่อสาร สำหรับรับสื่อสารเคลื่อนที่ และ 3 ช่องสัญญาณสำหรับ สถานีศูนย์กลาง ส่วนตัวแปรอื่นๆ ให้ผู้ออกแบบเป็นผู้กำหนดเอง

ขั้นแรกของการออกแบบ ต้องกำหนดตัวแปรต่างๆ ทั้งข้อมูลในส่วนของดาวเทียมที่จะเลือกใช้ [4,8] และส่วนของสถานีภาคพื้นดิน สำหรับการทดลองนี้จะเลือกใช้ ดาวเทียมของอินโดนีเซีย ชื่อ PALAPA -B4 ซึ่งเข้าใช้โดย กลุ่มบริษัทสามารถ สำหรับการทดลอง และข้อมูลต่างๆ ที่จะต้อง ทราบต่อไปมีดังต่อไปนี้

ดาวเทียม

1. ตำแหน่งของดาวเทียม (Location) = 118.0 E
2. ขนาดความกว้างของช่องขยายสัญญาณของดาวเทียม (Transponder BW.) = 36.0 MHz
3. ชนิดของบีม ของดาวเทียม ณ จุดตำแหน่งของสถานีภาค พื้นดิน (Beam type) = Asian Spot Beam
4. ช่องสัญญาณดาวเทียมที่เลือกใช้ (Transponder No.) - 9 Vertical (Down Link)
5. ชนิดของโพลาไรเซชัน (Polarization) = Linear cross - Pol/E - Vector D/L
6. ชนิดของเครื่องขยายสัญญาณดาวเทียม (HPA Type) = TWT
7. ความถี่ขาขึ้น (Up Frequency) = 6175.00 MHz
8. ความถี่ขาลง (Down Frequency) = 4060.00 MHz
9. ค่า สเตปแพด (Step pad) = 9.0 dB
10. ค่า Input Break Off = 11.0 dB
11. ค่า Output Break Off = 6.0 dB

12. ค่า EIRP ที่สถานีภาคพื้นดิน (E/S) ตำแหน่ง A (สถานีศูนย์กลาง) = 35.0 dB

13. ค่า EIRP ที่สถานีภาคพื้นดิน (E/S) ตำแหน่ง B (สถานีเคลื่อนที่) = 34.0 dB

14. ค่า Figure of Merit (G/T) หรือค่าที่บ่งบอกถึงสมรรถนะในการรับสัญญาณของสถานีภาคพื้นดิน ณ ที่ E/S A = -2.0 dB/K

15. ค่า G/T ที่ E/S B = -5.0 dB/K (Note เพื่อไว้ในกรณีที่ สถานีเคลื่อนที่ สามารถเคลื่อนที่ไปในตำแหน่งต่างๆ ภายในประเทศไทย

16. ค่า Satellite Flux Density (SDF) กรณีไม่มีสัญญาณลดทอนที่ E/S A = -92.0 dBW/m

17. ค่า Satellite Flux Density (SDF) กรณีไม่มีสัญญาณลดทอนที่ E/S B = -89.0 dBW/m

นอกจากข้อมูลในส่วนของดาวเทียมแล้ว สิ่งที่ต้องทราบในลำดับต่อไปคือ การกำหนดค่าตัวแปรบางประการให้กับสถานีภาคพื้นดิน ทั้ง 2 แห่ง ที่ติดต่อกัน

สถานีภาคพื้นดิน ศูนย์กลาง (E/SA)

1. ตำแหน่งที่ตั้ง = BANGKOK
 - Longitude (East) = 100.60 Deg.
 - Latitude (North) = 7.18 Deg.
2. มุมของจาน แนวตั้ง (Elevation) = 62.86 Deg.
 - แนวนอน (Azimuth) = 252.88 Deg.
3. ขนาดของจานที่ใช้ (Antenna Effective Aperture) = 3.8 m
4. อัตราการขยายของจาน (Antenna Gain)
 - ด้านส่ง (Transmit) = 46 dB
 - ด้านรับ (Receive) = 42.10 dB
5. ขนาดของเครื่องขยายสัญญาณที่นำมาใช้ (HPA rating, dB GCP) = 20 Watt (SSPA)
6. อุณหภูมิสมมูลของขนาดของสัญญาณรบกวนที่ ตัวขยายสัญญาณรบกวนต่ำ (LN(A,B,C) Temperature) = 45 K
7. ค่าการสูญเสียของสัญญาณ เมื่อจานชี้ไม่ตรงกับดาวเทียม (Pointing Loss) = 0.4 dB

สถานีภาคพื้นดิน ศูนย์กลาง (E/S B)

1. ตำแหน่งที่ตั้ง = BANGKOK
 - Longitude (East) = 98.90 Deg.
 - Latitude (North) = 18.48 Deg.
2. มุมของจาน แนวตั้ง (Elevation) = 58.42 Deg.
 - แนวนอน (Azimuth) = 229.09 Deg.
3. ขนาดของจานที่ใช้ (Antenna Effective Aperture) = 3.8 m
4. อัตราการขยายของจาน (Antenna Gain)
 - ด้านส่ง (Transmit) = 39 dB
 - ด้านรับ (Receive) = 35 dB

5. ขนาดของเครื่องขยายสัญญาณที่นำมาใช้ (HPA rating, 1 dB GCP) = 5 Watt (SSPA)

6. อุณหภูมิสมมูลของขนาดของสัญญาณรบกวนที่ตัวขยายสัญญาณรบกวนต่ำ (LN(A,B,C) Temperature) = 65 K

7. ค่าการสูญเสียของสัญญาณ เมื่อจานชี้ไม่ตรงกับดาวเทียม (Pointing Loss) = 0.2 dB

การกำหนดคุณสมบัติของสัญญาณพาหะที่ใช้ส่ง

1. อัตราการส่งข้อมูล (Information Rate) = 38.4 Kbps I.R. = Modem symbol rate x FEC coding rate x Modulation type

2. ค่า Frequency Error Correction coding rate = 0.5

3. วิธีที่ใช้ในการ Modulation (ถ้าเป็น QPSK = 2, BPSK = 1) การทดลองนี้เลือก BPSK = 1

4. ตัวถอดรหัส และตัวเข้ารหัสเป็นแบบ (Encoder & Decoder type) = Convolution/sequential

5. IF Noise BW = 49.9 kHz

6. ช่องว่างของสัญญาณพาหะที่กำหนด = 60.0 kHz

7. BT.Product = 1.3

3.2 ตัวอย่างการคำนวณ

3.2.1 การคำนวณตัวแปรทางด้านสถานีรับ (Calculation of Rx E/S Parameter)

ตารางที่ 1 ลักษณะตัวแปรด้านสถานีรับ

SYSTEM NOISE TEMPERATURE	E/S-A	E/S-B	UNIT
1. LN (A/B/C) Temperature	45.0	45.0	K
2. Flange Loss	0.4	0.4	dB
3. To (ambient temp)	298.0	298.0	K
4. Ta (approx.)	35.0	35.0	K
5. T (Rx)	9000.0	9000.0	K
6. LNA Gain	60.0	60.0	dB
7. TOTAL System Noise Temp	20.9	20.9	dBK
8. RX Antenna Gain	42.10	33.5	dB
9. SYSTEM G/T	22.1	22.1	dB/K

3.2.2 การคำนวณตัวแปรทางด้านสถานีส่ง (Calculation of Tx E/S Parameter)

ตารางที่ 2 ลักษณะตัวแปรด้านสถานีส่ง

CALCULATION TX E/S Parameter	E/S -A	E/S-B	UNIT
1.UPLINK EIRP /CRX	54.51	54.51	dBW/CRx

2.TX ANTENNA GAIN	46.0	39.00	dB
3.FEEDING LOSS	1.50	1.50	dB
4.REQUIRED POWER/CRX	10.01	10.01	dBW,CRx
5.HPA SIZE	13.01	7.0	dBW
6.OUTPUT BACKOFF	3.0	3.0	dB
7.MAX NO.OF CARRIERS	1.0	1.3	CRXs
8.ACTUAL # OF CARRIERS	3.0	1.0	CRXs
9.TOTAL PWR REQUIRED (HPA)	40.01	32.9	dBm
10.TOTAL EIRP TRANSMITTED	54.51	40.9	dBw

3.2.3 การคำนวณการใช้ทรัพยากรของดาวเทียม (Satellite Resource Calculation)

ตารางที่ 3 ลักษณะตัวแปรการใช้ทรัพยากรของดาวเทียม

SATELLITE RESOURCE CALCULATION			
POWER	E/S-A	E/S-B	UNIT
1. SAT EIRP/TRANSPONDER	37.10	35.0	dBW
2. % LEASED TRANSPONDER	100		
3. EIRP AVAILABLE (-B.O)	29.0	28.0	dBW
4. TOTAL # OF CARRIERS (PWR)	14.99	15.69	CXR
BANDWIDTH			
5. LEASED BANDWIDTH	36.0	36.0	MHz
6. ALLOCATED BW/CRX	24.96	24.96	kHz
7. TOTAL # OF CARRIERS (BW)	600.0	600.0	CXR

3.2.4 การคำนวณขนาดของสัญญาณรบกวน

1. กรณีท้องฟ้าแจ่มใส (Clear Sky Losses)

ตารางที่ 4 ลักษณะสัญญาณรบกวนท้องฟ้าแจ่มใส

CLEAR SKY PATH LOSS	E/S -A	E/S-B	UNIT
1.UPLINK PATH LOSS	199.47	199.52	dB
2.DOWNLINK PATH LOSS	195.59	195.64	dB

2. กรณีมีสัญญาณรบกวนจากฝน และสภาพบรรยากาศที่แปรปรวน (Rain and Atmospheric Losses)

ตารางที่ 5 ลักษณะสัญญาณรบกวนสภาพบรรยากาศที่แปรปรวน

RAIN & ATMOSPHERIC LOSSES	E/S -A	E/S-B	UNIT
1. UPLINK RAIN FADE (99.90%)	1.60	1.57	dB
2.DOWNLINK RAIN FADE (99.90%)	0.25	0.24	dB

3. UPLINK ATMOSPHERIC ATTEN.	0.10	0.10	dB
4..DOWNLINK ATMOSPHERIC ATTEN.	0.10	0.10	dB

3.2.5 ผลสรุปการเชื่อมต่อสัญญาณ

ตารางที่ 6 ลักษณะการเชื่อมต่อสัญญาณ

LINK SUMMARY			
	A to B	B to A	TOTAL
1. DOWNLINK EIRP / CRX (%)	0.43%	0.10%	0.53%
2. BANDWIDTH /CRX (%)	0.17%	0.17%	0.33%
3. TOTAL SATELLITE D/L EIRP	(Clear Sky) 6.06 dBW		
4. TOTAL SATELLITE D/L EIRP	(Clear Sky) 4.04 Watts		
5. PWR-COST/DUPLEX LINK/YR	6700.00 USD		
6. BWTH-COST/DUPLEX LINK/YR	5200.00 USD		

3.3 วิธีการคำนวณ

3.3.1 แสดงการคำนวณ ระดับของสัญญาณดาวเทียมในช่วงขาขึ้น

1. Uplink EIRP per CRX = {1}
2. Uplink Path Loss = {2}
3. Pointing Loss = {3}
4. Rain & Atmospheric Margin = {4}
5. Satellite G/T = {5}
6. Uplink C/T = {1} + {2} + {3} + {4} + {5}
7. Boltzmann's Constant = {7}
8. Uplink Thermal C/No. = {6} - {7}
9. IF Noise BW/CRX = 10 Log [IF Noise Bw. (kHz)]
10. Co-Channel Interference = {10}
11. ASI+OBE Interference = {11}
12. Total Uplink C/(N+I) = $10\text{Log}[10^{-(6)-(7)-(9)/10} + 10^{\{10\}/10} + 10^{-(11)/10}]$

4. ผลการทดลองที่ได้จากการคำนวณ

4.1 การคำนวณในช่วงขาขึ้น

ตารางที่ 7 ลักษณะการคำนวณในช่วงขาขึ้น

	Clear SKY		UPLINK FADE		DOWNLINK FADE		TOTAL FADE	
	Tx/Rx	Tx/Rx	Tx/Rx	Tx/Rx	Tx/Rx	Tx/Rx	Tx/Rx	Tx/Rx
	A TO B	B TO A	A TO B	B TO A	A TO B	B TO A	A TO B	B TO A
	Outbound	Inbound	Outbound	Inbound	Outbound	Inbound	Outbound	Inbound
Uplink EIRP per CRX	46.2	46.2	46.2	46.2	46.2	46.2	46.2	46.2
Uplink Path loss	-153.4	-153.4	-153.4	-153.4	-153.4	-153.4	-153.4	-153.41

3.3.2แสดงการคำนวณระดับของสัญญาณดาวเทียมที่ Transponder ของดาวเทียม

13. 1 sqm Antenna Gain = {13}
14. Flux Density/CRX = {1} + {2} + {3} + {4} + {13}
15. Satellite Flux Density/ Transponder = SFP (no pad, E/S A) + Step PAD
16. Input B.O.per CRX = {15} + {14}
17. Output B.O per CRX = {16} + (Input B/O -Output B/O)
18. Saturated EIRP per X-ponder = Sat. EIRP at E/S B
19. Intermodulation Noise = 14 dB

3.3.3 แสดงการคำนวณ ระดับของสัญญาณดาวเทียมช่วงขาลง

20. DownLink EIRP per CRX = {18} - {17}
21. DownLink Path Loss =-DPL ที่ E/S B
22. Pointing loss = {22}
23. Rain & Atoms. Margin = {23}
24. Rx Earth Station G/T = {24}
25. DownLink C/T = {20} + {21} + {22} + {23} + {24}
26. Boltzmann's Constant = {26}
27. DownLink Thermal C/No = {25} + {26}
28. IF Noise BW./CRX = 10 Log[IF Noise BW.]
29. Co-Channel Interference = {29}
30. AIS + OBE Interference = {30}
31. Total DownLink C/(N+I) = $10\text{Log}[10^{-(25)-(28)/10} + 10^{-(29)/10} + 10^{-(30)/10}]$

3.3.4 แสดงผลรวมของการเชื่อมต่อสัญญาณ (Total Link)

32. Total C/(N+I) = $10\text{Log}[10^{-(12)/10} + 10^{-(19)/10} + 10^{-(31)/10}]$
33. Total C/(No+Io) = {32} + {28}
34. Eb/(No+Io) = {32} + {28} - 10 Log [Information Rate]
35. Rag'd Eb/No (Bit Error rate = 10⁻⁷) = {35}
36. Margin = {34} - {35}

Pointing loss	.153.8	-153.6	.153.8	-153.6	.153.8	-153.6	.153.8	-153.61
Rain & Atmos Margin	-1538	-153.6	-155.4	-55.2	-53.8	-53.6	-55.4	-55.27
Satellite G/T=Uplink C/T	-1558	-158.6	-157.4	-160.2	-155.8	-158.6	-157.4	-160.27
Uplink Thermal C/No	72.79	69.99	71.13	84.61	72.29	69.99	88.22	68.33
IF noise Bw/Crx	25.8	17.70	24.15	16.05	25.80	17.70	24.15	16.05
Co-Channel Interference	22.37	16.96	21.15	15.53	22.37	16.96	21.54	15.53
ASI+OBE Interference	19.17	15.78	18.76	14.65	19.17	15.78	18.76	14.65
Total Uplink C/(N+I)	19.17	15.78	18.76	14.65	19.36	15.78	18.76	14.65

4.2 การคำนวณในช่วงขาลง

ตารางที่ 8 ลักษณะการคำนวณในช่วงขาลง

	Clear SKY		UPLINK FADE		DOWNLINK FADE		TOTAL FADE	
	Tx/Rx	Tx/Rx	Tx/Rx	Tx/Rx	Tx/Rx	Tx/Rx	Tx/Rx	Tx/Rx
	A TO B	B TO A	A TO B	B TO A	A TO B	B TO A	A TO B	B TO A
	Outbound	Inbound	Outbound	Inbound	Outbound	Inbound	Outbound	Inbound
Downlink EIRP per CRX	5.29	-1.81	3.63	-3.47	5.29	-1.81	3.63	-3.47
Downlink Pathloss	-190.5	-198.62	-192.1	-199.2	-190.5	-195.62	-192.1	-199.28
Pointing loss	-190.7	-198.0	-192.3	-199.6	-190.7	-198.0	-192.3	-199.68
Rain & Atmos Margin	-190.7	-198.0	-192.3	-199.6	-191.1	-198.4	-192.7	-200.09
RxE/S G/T	-176.1	-175.9	-177.7	-177.5	-176.5	-176.3	-178.1	-177.95
Downlink C/T	-176.1	-175.9	-177.7	-177.5	-176.5	-176.3	-178.1	-177.95
IF noise Bw/Crx	52.50	52.70	50.85	51.05	52.10	52.30	50.45	50.65
Co-Channel Interference	478.0	480.0	461.4	463.4	473.9	475.9	457.4	459.47
ASI+OBE Interference	5.37	5.56	3.76	3.96	4.98	5.18	3.37	3.57
Total Downlink C/(N+I)	5.37	5.56	3.76	3.96	4.98	5.18	3.37	3.57

4.3 การคำนวณผลรวมของการเชื่อมต่อ

ตารางที่ 9 ลักษณะการคำนวณผลรวมของการเชื่อมต่อ

	Clear SKY		UPLINK FADE		DOWNLINK FADE		TOTAL FADE	
	Tx/Rx	Tx/Rx	Tx/Rx	Tx/Rx	Tx/Rx	Tx/Rx	Tx/Rx	Tx/Rx
	A TO B	B TO A	A TO B	B TO A	A TO B	B TO A	A TO B	B TO A
	Outbound	Inbound	Outbound	Inbound	Outbound	Inbound	Outbound	Inbound
Total C/(N+I)	4.8	4.8	3.4	3.4	4.5	4.5	3.0	3.0
Total C/(No+Io)	51.8	51.8	50.4	50.3	51.5	51.5	50.0	50.0
Eb/(No+Io)	9.0	9.0	7.5	7.5	8.7	8.6	7.2	7.2
Req'd Eb/No(BER=10E-7)	6.60	6.60	6.60	6.60	6.60	6.60	6.60	6.60
Margin	3.0	3.0	1.5	1.5	2.7	2.6	1.2	1.2

5. สรุปผลการคำนวณและออกแบบ

ค่าระดับความแรงของสัญญาณที่คำนวณได้ด้วยวิธีนี้นั้น สามารถให้ค่าความถูกต้องได้ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากทางปฏิบัติมาก สามารถนำผลที่ได้นี้มาคำนวณหาขนาดของอุปกรณ์ ที่จะต้องใช้ในระบบ ตามที่ออกแบบได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น การคำนวณการเชื่อมต่อ โดยวิธีการนี้ได้นำไปใช้ในการปฏิบัติ โดยการออกแบบระบบเชื่อมต่อ ข่ายการสื่อสารของหน่วยงานหนึ่งในประเทศไทย กับสถานีศูนย์กลางที่ กรุงเทพฯ ซึ่งสามารถใช้งานได้ดี และใช้เวลาในการออกแบบน้อยมาก อย่างไรก็ตามค่าตัวแปรต่าง ๆ บางตัวได้จากการประมาณซึ่งจะต้องหาวิธีการและที่มาที่ได้ค่าถูกต้องมากกว่านี้ จะเห็นได้ว่า ระดับความแรงของ สัญญาณที่ส่งจาก E/S A ไปยัง E/S B มีค่า EIRP เหลืออยู่เท่ากับ 1.2 dB ซึ่งเกิน 1 dB ถือว่าระบบสามารถทำงานได้ ในทางปฏิบัติจะสำรองไว้เล็กน้อย ป้องกันความผิดพลาดรวมในกรณีที่ผลจากการลดทอนจากสภาพ บรรยากาศที่มากเกินไปก่อกวน ซึ่งจากการบันทึกในรอบ 1 ปี จะมีปรากฏการณ์อย่างนี้ไม่บ่อยครั้ง แต่ก็มีผลทำให้ระบบไม่สามารถทำงานได้ ดังนั้น ในการออกแบบจึงต้องคำนึงถึงด้วยและการคำนวณระดับของสัญญาณ ความเทียบสำหรับการทดลองนี้นั้น เป็นการคำนวณระหว่างจุดต่อจุด ดังนั้นในการคำนวณระบบที่มีจำนวนของจุดที่ใช้ในการติดต่อมากกว่า 2 จุด และมีความซับซ้อนเพิ่มขึ้น จำเป็นจะต้องทำการคำนวณที่ยุ่งยากขึ้นเพื่อให้มองเห็นภาพรวมของระบบทั้งหมด ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาต่อไปโดยอาจใช้โปรแกรมซอฟต์แวร์แล้วใส่ค่าข้อมูลและตัวแปรต่าง ๆ ช่วยในการคำนวณเพื่อความสะดวกในการช่วยเหลือวิศวกรต่อไปอีก

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ประจำศูนย์ข้อมูลสารสนเทศ กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ที่ได้เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ในการจัดทำบทความฉบับนี้ รวมทั้ง คุณ เดชา พรหมวันนา วิศวกรตรวจโรงงาน ที่ช่วยแนะนำเนื้อหาของข้อมูล และ คุณ สมชาย ภิญโญ และ เรืออากาศตรี มังกร แก้วบุตร ที่ช่วยเหลือข้อมูลต่าง ๆ และเจ้าหน้าที่ พนักงานกองวิศวกรรม การสื่อสารแห่งประเทศไทย ช่วยเหลือให้คำปรึกษาและแนะนำในบทความฉบับนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1.] เดชา พรหมวันนา , เสรี อติภักดิ์ , รศ. ดร. วันชัย รีรญา “ การออกแบบและคำนวณการเชื่อมต่อสัญญาณดาวเทียมระบบตรวจสอบมลพิษระยะไกล ” กระทรวงอุตสาหกรรม ; 1996.
- [2.] เอกสาร “ การออกแบบดาวเทียม ” โครงการ : ระบบตรวจสอบมลพิษระยะไกล : (SMC – 96 – G – MOIND – 05) , SAMART CORPORATION (THAILAND) PUBLIC COMPANY LIMITED, อาคารจุฬามาศ , กรุงเทพฯ , 1996.
- [3.] เอกสาร “ Transmission Link Analysis ” โครงการ : ระบบตรวจ

สอบมลพิษระยะไกล (ระยะที่ 2): (ONLINE2/Template.doc), SAMART CORPORATION (THAILAND) PUBLIC COMPANY LIMITED, อาคาร Post Tel , กรุงเทพฯ , 1996.

- [4.] W.J Vogel, “Moible Satellite System Propagation Measurements at L-band Using MARECESB2,” IEEE Trans. On Antennas and Propagation. Vol. 38, No, pp. 259-264, 1990.
- [5.] Timothy Pratt & Charles W. Bostian “ Satellit Communciation ” John wiley & Sons, New York,
- [6.] Michel C. Jeruchim. “Simulation of Communication Systems,” Plenum Press, New York, 1992.
- [7.] Wilbur L. Pritchard, “Satellite Communication Systems Engineering ” Prentice Hall, New Jersey 1993.
- [8.] Mark Long , “ World Satellite Almanac The Complete Guide to Satellite Transmission & Technology,” Howard W. Sams & Company, 1990.
- [9.] Tharval Thompson, “L-Band Rain Attenuation Measurement in Thailand ” Samart Comtech , 1990.
- [10.] Earth Station Antenna Technology Seminar, Intelsat, USA, 1987.