เฉลยข้อสอบปลายภาค

Wave propagation

ปลายภาค

ข้อ (1)

(1)

- กำลังของสัญญาณ (signal power)

คือ กำลังงานของคลื่นที่ส่งแพร่กระจายออกจากแหล่งกำเนิดของพลังงาน จะมีหน่วยเป็น watt หรือ dB. ในวิชา wave propagation หมายถึง ค่าพลังงานของคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

- กำลังงานของสัญญาณรบกวน (Noise power)

เป็นค่ากำลังงานของสัญญาณที่เกิดขึ้นในระบบสื่อสาร เป็นค่ากำลังงานที่ไม่ต้องการ เช่น สัญญาณรบกวนจากอุณหภูมิ (Thermal Noise power) เป็นต้น.

- ความถี่ดอปเปอร์ (Doppler frequency shift)

เป็นปรากฏการณ์ที่ความถี่ของสัญญาณที่รับได้มีการเปลี่ยนแปลงไป อันเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงของความยาวคลื่น โดยเป็นค่าความแตกต่างระหว่างความถี่ของเครื่องส่ง และ ของเครื่องรับ.

- ความเร็วของการแพร่กระจายคลื่น (propagation Velocity)

เป็นอัตราความเร็วในการแพร่กระจายคลื่น (velocity: v) ซึ่งความสัมพันธ์นี้เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของตัวกลาง ซึ่งอัตราเร็วของการแพร่กระจายคลื่นจะขึ้นอยู่กับค่าความถี่และค่าความยาวคลื่นในตัวกลาง

- ความเร็วสัมพัทธ์ (Relative velocity)

เป็นความเร็วที่เปรียบเทียบระหว่างระบบหนึ่งกับอีกระบบหนึ่งที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่เปลี่ยนไปตามเวลาที่ใช้งาน

- ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า (power flux density)

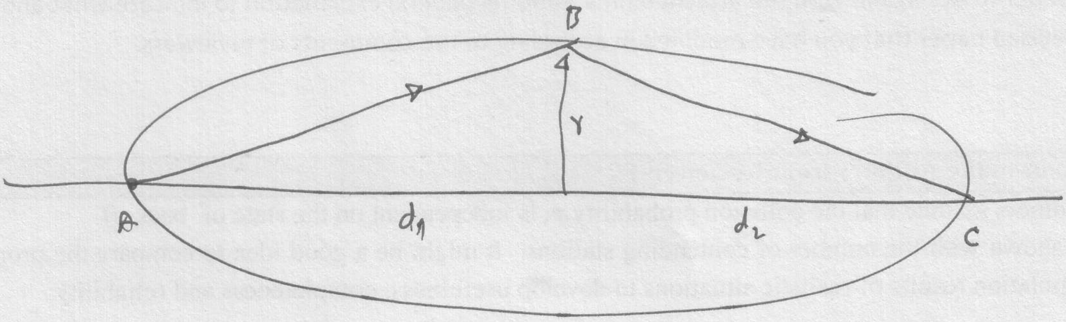
เป็นค่ากำลังไฟฟ้าจากเครื่องส่งที่ผ่านตามทางต่อพื้นที่การแพร่กระจายของคลื่นในรูปทรงกลม (W/m²)

เป็นการแพร่กระจายคลื่นในรูปแบบรอบทิศทาง (Isotropic)

- มุมการกระจัดกระจาย (scatter angle)

เมื่อคลื่นวิทยุเคลื่อนที่ไปตากระทบกับสิ่งกีดขวางหรือชั้นบรรยากาศที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน จะทำให้เกิดการแตกกระจายของคลื่นไปในทิศทางต่างๆ นำให้คลื่นที่เดินทางมากับตารับมุมต่างๆ กัน.

- วงรีเฟรสเนล (Fresnel's Ellipsoid)



ช่องทางของคลื่นที่ตกกระทบกับระนาบใดๆ ที่เป็นขอบของ
วงรี คลื่นสะท้อน และเคลื่อนที่ ~~ตกกระทบกับระนาบ~~
~~ส่วนใดๆ ที่เป็นวงรี คลื่น ได้~~ ไปยังตำแหน่งของเครื่อง
รับได้ โดยที่หลักการของมุมตกกระทบเท่ากับ
มุมสะท้อนของคลื่น ที่เป็นวงรี

- สัมประสิทธิ์การหักเห (Refractivity)

ค่าดัชนีหักเหของคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ที่เคลื่อน
ที่ผ่านตัวกลาง นี้มีความแตกต่างต่อค่าคงที่ของไดอิเล็กตริก
(permittivity) มีค่าเท่ากับ $n = \sqrt{\varepsilon_r}$

- อัตราส่วนกำลังของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal to Noise
Ratio) หมายถึง อัตราส่วนกำลังของสัญญาณ (signal power)
ต่อกำลังของสัญญาณรบกวน (Noise power)

- อัตราส่วนสัญญาณพาห์ต่อสัญญาณ (Carrier to Noise Ratio)

เป็นอัตราส่วนกำลังของสัญญาณต่อกำลังของสัญญาณรบกวน (หน่วยเป็น watt หรือ dB)

- ออร์บิตของดาวเทียม. (satellite orbit.)

เป็นวงโคจรที่ดาวเทียมเคลื่อนที่ของดาวเทียมอาจเป็นวงกลมหรือวงรี

แบ่งออกเป็น 3 ระดับ

① LEO (low Earth orbit) อยู่สูงจากพื้นโลก 500-2,000 Km.

② MEO (Medium Earth orbit) อยู่สูง 8,000-15,000 Km.

③ GEO (Geostationary Earth orbit) อยู่สูง 36,000 Km.

ข้อ ②

$$E_1 = 30\ dB\mu \qquad f = 3\ MHz = 3\times10^6\ Hz$$

$$h_t = 100\ m \qquad \lambda = \frac{3\times10^8}{3\times10^6} = 100\ m.$$

$$h_r = 20\ m$$

$$d = 10\ km$$

ก/ จากโจทย์ เป็นระยะสายตา (Line of side)

$$|E| = \left|\frac{4\pi h_t h_r E_1}{\lambda d^2}\right|$$

แทน

$$E(dB\mu) = E_1(dB\mu) + 6 - 20\log d(km) + 20\log\left|\sin\left(\frac{2\pi f(MHz) h_t h_r}{3\times10^5 d(km)}\right)\right|$$

$$E(dB\mu) = 30\ dB\mu + 6 - 20\log 10 + 20\log\left|\sin\left(\frac{2\pi\times3\times100\times20}{3\times10^5\times10}\right)\right|$$

$$E(dB\mu) = 30\ dB\mu + 6 - 20 + 20\log \overset{0.01256}{\cancel{\sin(2.193\times10^{-4})}}$$

$$= 30\ dB\mu + 6\ dB - 20\ dB \overset{-38\ dB}{\cancel{- 73.178\ dB}}$$

$$E(dB\mu) = \cancel{-57.178\ dB\mu}\ -22\ dB\mu$$

$$E = \frac{2E_1}{d}\sin\left[\frac{2\pi h_t h_r}{\lambda d}\right]$$

$$E = \frac{2E_1 \sin\left[\frac{2\pi \times 100 \times 20}{100 \times 10 \times 10^{-3}}\right]}{10\times10^{-3}}$$

$$E = \frac{2E_1}{10\times10^{-3}}\sin(0.72)$$

$$E = (2.51\times10^{-6})E_1$$

~~$E = (2.51\times10^{-6})(10\,dB\mu)$~~

$$E_1 = 10\,dB\mu = 20\log\frac{x}{10^{-6}}$$

$$\log\left[\frac{x}{10^{-6}}\right] = \frac{30}{20} = 1.5$$

$$\frac{x}{10^{-6}} = 10^{1.5} = 31.622$$

$$x = 31.622\times10^{-6}\ V/m$$

$$x = 31.622\times10^{-6}\ V/m.$$

$$\therefore E_1 = 31.622\times10^{-6}\ V/m$$

$$E = (2.51\times10^{-6})(31.622\times10^{-6})\ V/m$$

ก. หาค่า Divergence factor.

ค่าระยะทางของ Antenna ไปยังจุดตก d_1 ซึ่งแทนได้จาก เฟรสเนล โซนที่ $k = 1$

$$d_{k=1}(km) = \frac{4 h_t h_r}{1{,}000\lambda} = \frac{4 h_t h_r f(MHz)}{3\times 10^5} \quad (km)$$

$f = 3$ MHz

แทนค่า $\lambda = 100$ m. , $h_t = 100$ m, $h_r = 20$ m.

$$d_{k=1} = \frac{4\times 100\times 20\times 3}{3\times 10^5} = 0.08 \text{ km}$$

$$d_1 = 0.08 \text{ km}$$

$$d_2 = d - d_1 = 10 \text{ km} - 0.08 \text{ km}$$

$$d_2 = 9.92 \text{ km}$$

ความสูงใหม่ ของ ทางรับ และ ทางส่ง เมื่อ เทียบกับ ส่วนโค้ง ของ ผิวโลก

$$h_t = h_t' - \frac{d_1^2}{2R} \rightarrow R \approx 8{,}500 \text{ km}$$

$$h_t = 100 - \frac{(0.08)^2}{2\times 8500} = 100 - 3.76\times 10^{-7} \text{ km}$$

$$h_t = 99.99 \text{ m.}$$

$$h_r = h_r' - \frac{d_2^2}{2R}$$

$$= 20 - \frac{(9.42)^2}{2 \times 8500} = 20 - 5.788 \times 10^{-3}$$

$$h_r = 19.99 \text{ m}$$

a) D - factor

$$D = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{2 d_1(km)\, d_2(km)}{R(h_t + h_r)}}}$$

$$D = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{2 \times 0.08 \times 9.42}{8500(99.99 + 19.99)}}}$$

$$D = \frac{1}{\sqrt{1 + 1.556 \times 10^{-6}}} = \frac{1}{1.000000778}$$

$$D = 0.99$$

ข้อ 3

ที่ความสูง 0 $h = 2$ km

$h = 4$ km

$h = 6$ km

ก

ที่ $h = 2$ km

อุณหภูมิ $= T(h) = 290 - 6.5 \times (2)$

$T(h) = 290 - 13 = 277$ (K) (kelvins)

ความกดอากาศ $= P(h) = 950 - 117h$ (mB)

$= 950 - (117 \times 2)$

$= 716$ mB (mili Bars)

ความชื้นหรือความดันไอน้ำ

$P(h) = 8 - 3h = 8 - (3 \times 2)$ (mB)

$= 8 - 6 = 2$ mB

ที่ $h = 4$ km

$T(h) = 290 - (6.5 \times 4) = 264$ K

$P(h) = 950 - (117 \times 4) = 482$ mB

$P(h) = 8 - (3 \times 4) = -4$ mB

ب) $h = 6$ km

$$T(h) = 290 - (6.8 \times 6) = 231 \text{ K}$$

$$P(h) = 950 - (119 \times 6) = 236 \text{ mB}$$

$$P(h) = 8 - (3 \times 6) = -10 \text{ mBar}$$

ج) في permittivity

في ارتفاع 2 km

$$\varepsilon_r = 1 + \frac{155.1}{T}\left[P + \frac{4810P}{T}\right] \times 10^{-6}$$

$$\varepsilon_r = 1 + \frac{155.1}{277}\left[716 + \frac{4810 \times 2}{277}\right] \times 10^{-6}$$

$$\varepsilon_r = 1.000\,42$$

في ارتفاع 4 km

$$\varepsilon_r = 1 + \frac{155.1}{264}\left[482 + \frac{4810 \times (-4)}{264}\right] \times 10^{-6}$$

$$\varepsilon_r = 1.000\,24$$

ที่ความสูง 6 km.

$$\xi_r = 1 + \frac{155.1}{251}\left[248 + \frac{4810 \times (-10)}{251}\right] \times 10^{-6}$$

$$\xi_r = 1.0000348$$

ต่อไป หา Refractive index (n)

จาก $$n = 1 + \frac{77.6}{T}\left[P + \frac{4810 \times p}{T}\right] \times 10^{-6}$$

ที่ความสูง $h = 2$ km

$$n = 1 + \frac{77.6}{277}\left[716 + \frac{4810 \times (2)}{277}\right] \times 10^{-6}$$

$$n = 1.00021$$

ที่ความสูง $h = 4$ km

$$n = 1 + \frac{77.6}{264}\left[452 + \frac{4810 \times (-4)}{264}\right] \times 10^{-6}$$

$$n = 1.00012$$

ii) When h_2 = 6 km

$$n = 1 + \frac{77.6}{281}\left[248 + \frac{4810 \times (-10)}{281}\right] \times 10^{-6}$$

$$n = 1.000017942 \quad \text{——}$$

b) of Refractivity (N)

i) When h = 2 km

$$N = (n-1) \times 10^{+6} = \frac{77.6}{T}\left[P + \frac{4810\, P}{T}\right]$$

$$N = (1.00021 - 1) \times 10^{6}$$

$$= 0.00021 \times 10^{6}$$

$$= 210 \quad \text{——}$$

ii) When h = 4 km

$$N = (n-1) \times 10^{6}$$

$$= (1.00012 - 1) \times 10^{6}$$

$$= 0.00012 \times 10^{6}$$

$$= 120 \quad \text{——}$$

ที่ความสูง h_2 6 km

$$n = (n-1) \times 10^{+6}$$

$$= [1.00001942 - 1) \times 10^{6}$$

$$= 0.00001942 \times 10^{6}$$

$$= 19.42 \quad \text{——} \textcircled{2}$$

ข้อ ๔

ระบบสื่อสารในตัวเมือง

$A^* = 55 \pm 5$ dB

$h_t = 60$ m

$h_r = 3$ m

$G_t = 8$ dB

$G_r = 2$ dB

$f = 150$ MHz

$f = 450$ MHz

$f = 900$ MHz

ระยะทาง $d = 15$ km จงหา Loss

sol^n ที่ $f = 150$ MHz

$K = 4/3$

$a = 6,370$ km

จากสมการความเข้มสนามไฟฟ้าเฉลี่ย สำหรับพื้นที่ในตัวเมือง และชานเมือง

$$E(dB\mu) = P(t) + G(t) + 20\log(h_r h_t) - 12.8 - 10\log f(MHz) + A^*(dB) - 40\log d(km)$$

ค่า loss $= -12.8 - 10\log f(MHz) - 40\log d(km)$

at $d = 15$ km

$$\text{loss} = -12.8 - 10\log f(\text{MHz}) - 40\log(15)$$

$$\text{Loss} = -59.84 - 10\log f(\text{MHz})$$

i) $f = 180$ MHz

$$\text{loss} = -59.84 - 10\log(180)$$

$$= -81.6 \text{ dB}$$ ——— (a)

ii) $f = 450$ MHz

$$\text{loss} = -59.84 - 10\log(450)$$

$$= -86.37 \text{ dB}$$ ——— (b)

iii) $f = 900$ MHz

$$\text{loss} = -59.84 - 10\log(900)$$

$$= -89.38 \text{ dB}$$ ——— (c)

No (5)

$f = 1\ GHz$

$h_t = 300\ m$

$h_r = 100\ m$

$d = 300\ km$

$N_s = 300$

Now scatter angle and scatter loss

$k = \frac{4}{3} = 1.333$

$$\theta\,(mrad) = \frac{0.157}{k} \times d\,(km) - \frac{0.560}{\sqrt{k}}\left(\sqrt{h_t} + \sqrt{h_r}\right)$$

$$\theta\,(mrad) = \frac{0.157 \times 300}{1.333} - \frac{0.560}{\sqrt{1.333}}\left(\sqrt{300} + \sqrt{100}\right)\ mrad$$

θ = 35.33 − 13.266

θ = 22 mrad. ——— (b)

If $k = 2$

$$\theta\,(mrad) = \frac{0.157 \times 300}{2} - \frac{0.56}{\sqrt{2}}\left(\sqrt{300} + \sqrt{100}\right)$$

$$\theta\,(mrad) = 23.55 - 10.81 = 12.74\ mrad$$ ——— (b)

For $k = 3$

$$\theta(\text{mrad}) = \frac{0.157 \times 300}{3} - \frac{0.56}{\sqrt{3}}\left(\sqrt{300} + \sqrt{100}\right)$$

$$\theta(\text{mrad}) = 15.7 - 8.83 = 6.89 \text{ mrad}$$

(v) Rain scatter loss

$$L(sc) = 83 + 0.59\,\theta(\text{mrad}) + 10\log f(MHz) - 0.2\,N_s$$

For $k = \frac{\Psi}{\beta} = 1.33$

$$L(sc) = 83 + 0.59(22) + 10\log(1000) - 0.2(300)$$

$$L(sc) = 83 + 12.54 + 30 - 60 = 65.54 \text{ dB}$$

For $k = 2$

$$L(sc) = 83 + 0.59(12.74) - 30$$

$$L(sc) = 83 + 7.2618 - 30 = 60.26 \text{ dB}$$

For $k = 3$

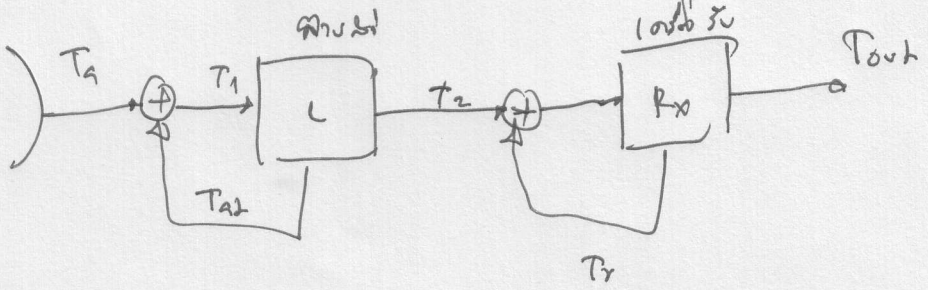
$$L(sc) = 83 + 0.59(6.89) - 30$$

$$= 83 + 3.9154 - 30 = 56.91 \text{ dB}$$

ข้อ (6)

$G_t = 10\ dB$

$T_{noise} = 320\ K$



$N = kTB$

$k = 1.38 \times 10^{-23}\ J/K$

B = แถบช่วงความถี่ 1 MHz

$T_o = 290\ K$

$F = \left(\frac{T_o + T_r}{T_o}\right) \longrightarrow F(dB) = 10\log(F)$

$T_r = T_o(F-1)$

$L = \frac{1}{G}$ → ขนาดของ

$T_{at} = T_o(L-1) = 290(L-1)\ K$ เท่ากัน

$L = \frac{T_{at}}{290} + 1$

ดัชนี Noise figure คือ F.

$F = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1}$

If eq 10.13

~~$F_2 = (T_0 + T_a$~~

$$T_{out} = \frac{G T_a}{L} + G T_0 \left(\frac{L-1}{L}\right) + G T_0 (F-1)$$

$$F_1 = \frac{(T_0 + T_a)}{T_0} = (290 +$$

$T_0 = 320\ K$

$T_1 = 100\ K$

$L = 0.5\ dB$

$0.5\ dB = 10 \log L$

$\log L = \left(\frac{0.5}{10}\right)$

$L = 10^{0.05} = 1.122 \quad lm'$

$G_1 = \frac{1}{L_1} = \frac{1}{0.5} = 2 \quad dB$

$G_2 = 50\ dB$

$50\ dB = 10 \log G$

$\log G = \frac{50}{10} = 5$

$G = 10^5 = 100,000 \quad lm'$

$$F_1 = \frac{(T_a + T_1)}{T_a} = \frac{(320 + 100)}{320} = 1.3125$$

$$F_2 = \frac{(T_1 + T_2)}{F_1} = (100 +$$

$$T_{out} = \frac{G T_A}{L} + G T_0 \left(\frac{L-1}{L}\right) + G T_0 (F-1)$$

$$T_{out} = \left(\frac{50}{0.5} \times 320\right) + \left(\frac{50}{0.5} \times 290\right)\left(\frac{0.5-1}{0.5}\right) + (50 \times 290)(1.3125 - 1)$$

$$T_{out} = 320 + (340)(-1) + (14500)(0.7125)$$

$$T_{out} = 4561.25 \text{ K}$$ ——— b

$$P_{n(1)} = T_0 (L_1 - 1) G_1 K B$$

$$10^{\frac{2}{10}} = 1.584$$

$$u = 290 (1.122 - 1) \times 1.38 \times 10^{-23} \times 1 \times 10^{6}$$

$$u = 290 (0.122)(1.584) \times 1.38 \times 10^{-23} \times 10^{6}$$

$$P_{n(1)} = 7.933 \times 10^{-16} \text{ w}$$ ——— b

$$L_2 = \frac{1}{50} = 0.02 \text{ dB}$$

$$L_2 = 10^{\frac{0.02}{10}} = 10^{0.002}$$

$$L_2 = 1.00461 \text{ lin}$$

$$P_{n(2)} = G_2 P_{n(1)} + T_0 (L_2 - 1) G_2 K B$$

$$= (100000)(7.733 \times 10^{-16}) + 290 (1.00461 - 1)(100000)(1.38 \times 10^{-23})(1 \times 10^{6})$$

$$T_{out} = \frac{G T_A}{L} + G T_0 \left(\frac{L-1}{L}\right) + G T_0 (F-1)$$

$$T_{out} = \left(\frac{50}{0.5} \times 320\right) + \left(\frac{50}{0.5} \times 290\right)\left(\frac{0.5-1}{0.5}\right) + (50 \times 290)(1.3125 - 1)$$

$$T_{out} = 320 + (290)(-1) + (14500)(0.3125)$$

$$T_{out} = 4561.25 \text{ K}$$

$$P_{n(1)} = T_0 (L_1 - 1) G_1 K B$$

$$10^{\frac{2}{10}} = 1.584$$

$$u = 290 (1.122 - 1) \times 1.38 \times 10^{-23} \times 1 \times 10^{6}$$

$$u = 290 (0.122)(1.584) \times 1.38 \times 10^{-23} \times 10^{6}$$

$$P_{n(1)} = 7.933 \times 10^{-16} \text{ W}$$

$$L_2 = \frac{1}{50} = 0.02 \text{ dB}$$

$$L_2 = 10^{\frac{0.02}{10}} = 10^{0.002}$$

$$L_2 = 1.00461 \text{ lin}$$

$$P_{n(2)} = G_2 P_{n(1)} + T_0 (L_2 - 1) G_2 K B$$

$$= (100000)(7.733 \times 10^{-16}) + 290(1.00461 - 1)(100000)(1.38 \times 10^{-23})(1 \times 10^{6})$$

$P_{n(2)} = 7.733 \times 10^{-11} + 1.8445 \times 10^{-12}$

$P_{n(2)} = 7.919 \times 10^{-11}$ watt

vs (9)

$f = 3\ GHz$

$d = 100\ km$

$P_r = 10\ \mu w$

Omnidirectional

Parabolidal

Diameter 1.5 m.

sol:

$$P(t) = P(r) + 40 \log D(m) - 20 \log f(MHz) + 20 \log d(km) + 117.05$$

$$P(r)(dB) = 10 \log (10 \times 10^{-6}) = -50\ dB$$

$$P(t) = -50 - 40 \log (1.5) - 20 \log (3,000) + 20 \log (100) + 117.05$$

$$P(t) = -50 - 7.043 - 69.542 + 40 + 117.05 = 30.465\ dB$$

$$30.465\ dB = 10 \log P(t)$$

$$P(t) = 10^{\left(\frac{30.465}{10}\right)} = 1,113.0\ Watt$$

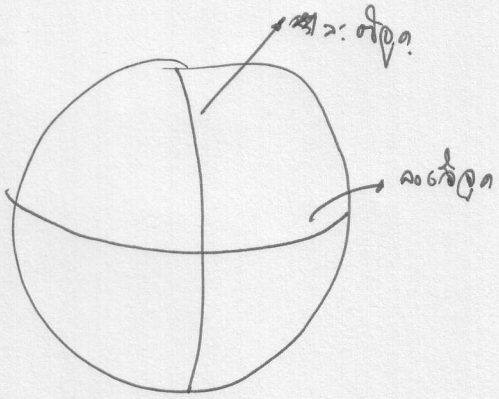
$$P(t) = 1.113\ kWatt$$

ข้อ ④

สถานีภาคพื้นดิน

ลองจิจูด 55° E

ละติจูด 20° N



ดาวเทียม

ลองจิจูด 120° E

Azimuth α → 0° → 360° ทิศเหนือ

Elevation θ → 0° → 90° → ทิศใต้

วิธีทำ

ใช้สูตร

$$\cos\beta = \cos(\psi'' - \psi')\cos\phi$$

$\psi'' = 120^\circ$ E

$\psi' = 55^\circ$ E

$\phi = 20^\circ$ N

$$\cos\beta = \cos(120^\circ - 55^\circ)\cos 20^\circ = 0.3971$$

$$\beta = \cos^{-1} 0.3971 = 66.6^\circ$$

ระยะทางจากดาวเทียม → สถานีภาคพื้นดิน

$$d = 35,783\sqrt{1 + 0.42(1 - \cos\beta)} = 40,058.09 \text{ km}$$

২য় অংশ

$$\tan\theta = \frac{(\cos\beta - 0.151269)}{\sin\beta}$$

$$= \frac{(0.3971 - 0.151269)}{\sin 66.6^\circ} = 0.2678$$

$$\theta = \tan^{-1} 0.2678$$

$$\theta = 14.95^\circ$$ ——— ২য় অংশ

এখানে θ কে যে ভাবে নেওয়া হয়েছে

$$\alpha = 180^\circ + \alpha'$$

$$\tan\alpha' = \frac{\tan(120^\circ - 55^\circ)}{\sin 20^\circ} = 6.29$$

~~$\alpha' = \tan^{-1} 6.29 = 80.97^\circ$~~

$$\alpha = 180^\circ + 6.29^\circ = 186.29^\circ$$

~~$\alpha = 180^\circ + 80.97^\circ$~~

$$\alpha = 186.29^\circ$$ ——— Ans

২য় অংশের

(9)

$f_t = 1\ GHz$

$V = 150\ m/H$

$=$

$f_r = f_t \left(\frac{c}{c - 2V} - 1 \right)$

$f_r = 1 \times 10^9 \left(\frac{3 \times 10^8}{3 \times 10^8 - 2\left(\frac{150}{60}\right)} - 1 \right)$

$f_r = 1 \times 10^9 \left(\frac{3 \times 10^8}{3 \times 10^8 - 2(2.5)} \right)$

$2V \ll c$

$f_D = f_t \times \left(\frac{2V}{c} \right)$

$= 1 \times 10^9 \left(\frac{2 \times 150}{3 \times 10^8} \right)$

$f_D = 1000\ Hz = 1\ kHz$