

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

บัณฑิต โรจน์อารยานนท์. วิศวกรรมไมโครเวฟ. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.

### ภาษาอังกฤษ

Akhavan, H.G. , and Mirshekar-Syahkai, D. Approximate model for microstrip fed slot antennas. Electronics Letters 30 (November 1994) : 1902-1903.

Alexopoulos, N.G. , and Katehi, P.B. On the effect of substrate thickness and permittivity on printed circuit dipole properties. IEEE Trans. Antennas and Propagation AP-31 (January 1981) : 34-38.

\_\_\_\_\_. , Wu,S.C. , and Fordham, O. Feeding structure contribution to radiation by patch antennas with rectangular boundaries. IEEE Trans. Antennas and Propagation AP-40 (October 1995) : 1245-1249.

Bahl, I.J. , Bhartia, P. , and Stuchly, S.S. Design of microstrip antennas covered with a dielectric layer. IEEE Trans. Antennas and Propagation AP-30 (March 1981) : 314-318.

Balanis, C.A. Advanced engineering electromagnetics. Singapore. : John Wiley & Sons, 1989.

Capelle, V.D. , Nauwelaers, B.K.J.C. , and An, H. Broadband microstrip antenna design with the simplified real frequency technique. IEEE Trans. Antennas and Propagation AP-42 (February 1994) : 129-136.

Carver, K.R. , and Mink, J.W. Microstrip antenna technology. IEEE Trans. Antennas and Propagation AP-29 (January 1981) : 2-24.

Cheng, W.S. , Wong, K.L. , and Row, J.S. Superstrate loading effects on the circular polarization and crosspolarization characteristics of a rectangular microstrip patch antenna. IEEE Trans. Antennas and Propagation AP-42 (February 1994) : 260-264.

- Chowdhury, S.K. , and Das, S.N. Rectangular microstrip antenna on a ferrite substrate. IEEE Trans. Antennas and Propagation AP-30 (May 1982) : 1181-1188.
- Chowdhury, S.K. et. al. Equivalence of radiation properties of square and circular microstrip patch antennas. IEEE Trans. Antennas and Propagation AP-38 (October 1990) : 1710-1711.
- Collins, R.E. Antennas and radiowave propagation. Singapore: McGrawHills ,1985.
- Damiano, J.P. , and Papiernik, A. Survey of analytical and numerical models for probe-fed microstrip antennas. IEE Proc.-Microwav. Antennas Propag. 141 (February 1994) : 15-22.
- \_\_\_\_\_. , Papiernik, A. , and Abboud, F. Simple model for the input impedance of coax-fed rectangular microstrip patch antenna for CAD. IEE Proceeding Part H. 135 (October 1988) : 323-326.
- Daniel, J.P. , Dubost, G. ,Terret,C. Drissi, M. , and Citerne, J. Research on planar antennas and arrays: structures rayonnantes. IEEE Antennas Propagation Magazine 35 (February 1993) : 14-38.
- Dearnley, R.W. , and Barel, A.R.F. A broad-band transmission line model for a rectangular microstrip antenna. IEEE Trans. Antennas and Propagation AP-37 (January 1989) : 6-15.
- Deshpande, M.D. , and Bailey, M.C. Input impedance of microstrip antennas. IEEE Trans. Antennas and Propagation AP-30 (July 1982) : 645-650.
- Gardiol, F.E. Design and layout of microstrip structures. IEE proceedings part H 135 (June 1988) : 145-157.
- \_\_\_\_\_. , and Mosig, J.R. Analytical and numerical techniques in the green's function treatment of microstrip antennas and scatterers. IEE Proc. Part H. 130 (March 1983) : 175-182.
- Garg, R. , and Bhattacharyya, A.K. Effect of substrate on the efficiency of an arbitrarily shaped microstrip patch antenna. IEEE Trans. Antennas and Propagation AP-34 (October 1986) : 1181-1188.

- Gupta, K.C. , and Benalla, A. Multiport network model and transmission characteristics of two-port rectangular microstrip patch antennas. IEEE Trans. Antennas and Propagation AP-36 (October 1988) : 1337-1342.
- \_\_\_\_\_. , and Sharma, P.C. Analysis and optimized design of single feed circularly polarized microstrip antennas. IEEE Trans. Antennas and Propagation AP-31 (November 1983) : 949-955.
- Hall, P.S. Microstrip array design. 1991OMW Antenna Symposium.
- \_\_\_\_\_. Microstrip linear array with polarization control. IEE Proc. Pt.H. 130 (April 1983) : 215-224.
- \_\_\_\_\_. Review of techniques for dual and circularly polarized microstrip antennas. In Pozar, D.M. , and Schaubert, D.H. (eds.) , Microstrip antennas the analysis and design of microstrip antennas and arrays, pp.107-116. New York: IEEE Press, 1995.
- \_\_\_\_\_. , and Hall, C.M. Coplanar corporate feed effects in microstrip patch array design. IEE Proceedings part H 135 (June 1988) : 180-186.
- \_\_\_\_\_. , and James, J.R. Crosspolarisation behaviour of series-fed microstrip linear arrays. IEE Proc. Pt. H. 131 (August 1984) : 247-257.
- \_\_\_\_\_. , and James, J.R. eds. Handbook of microstrip antennas. 2 Vols. London: Peter Peregrinus , 1989.
- \_\_\_\_\_. , and Morrow, I.L. Analysis of radiation from active microstrip antennas. IEE Proc. Microw. Antennas Propag. 141 (Oct 1994) : 359-366.
- Huang, J. The finite ground plane effect on the microstrip antenna radiation patterns. IEEE Trans. Antennas and Propagation AP-31 (July 1983) : 649-653.
- Itoh, T. ed. Numerical techniques for microwave and millimeter wave passive structures. n.p. : John Wiley & Sons, 1989.
- Jackson, D.R. , and Manghnani, P. Analysis and design of a linear array of electromagnetically coupled microstrip patches. IEEE Trans. Antennas and Propagation. AP-38 (May 1990) : 754-759.

- Jacobsen, K.R., and Lier, E. Rectangular microstrip patch antennas with infinite and finite ground plane dimensions. IEEE Trans. Antennas and Propagation AP-31 (November 1983) : 978-984.
- Kashiwa, T. ,Onishi, T. ,and Fukai, I. Analysis of microstrip antennas on a curved surface using the conformal grids FD-TD method. IEEE Trans. Antennas and Propagation AP-42(March 1994) : 423-427.
- Katulski, R.J. General model of a planar antenna. Eighth International Conference on Antennas and Propagation, pp. 528-531. Edinburgh, UK, Mar. 30 to Apr. 2,1993.
- Kraus, J.D Antennas. 2nd ed. Singapore : Mc Graw-Hills, 1988.
- Krzysztofik, W.J. ,Kurowski, K. , and Lamgowski, Z. Stacked rectangular ring antenna for GPS mobile receiver. Eighth International Conference on antennas and Propagation, pp. 194-197. Edinburgh, UK, Mar. 30 to Apr. 2,1993.
- Kumar, A. Vehicle terminal antennas for mobile satellite applications. 40th IEEE Vehicular Technology Conference, pp. 13-18. Orlando, FL, USA, May 6-9,1990.
- Leopold, R. J. , and Miller, A. The IRIDIUM communications system. 1993 IEEE MTT-S Digest. pp. 575-578.
- Levine, E. , Malamud, G. , Shtrikman, S. , and Treves, D. A study of microstrip array antennas with the feed network. IEEE Trans. Antennas and Propagation AP-37 (April 1989) : 426-434.
- Liao, S.Y. Engineering applications of electromagnetic theory. West Publishing Company, 1992.
- Litva, J. , and Wu, K.-L. Full wave analysis of arbitrary shaped microstrip antennas by triangular finite element method. 1990 International Symposium Digest, pp. 628-631. Dallas, TX, USA. May 7-11,1990.
- Lo, Y.T. , Chuang, S. , and Akson, M.I. On slot-coupled microstrip antennas and their applications to CP operation-theory and experiment. IEEE Trans. Antennas and Propagation AP-38 (August 1990) : 1224-1230.

- Ludwig, A.C. The definition of cross polarization. IEEE Trans. Antennas and Propagation (January 1973) : 116-119.
- Martin, N.M. Improved cavity model parameters for calculation of resonant frequency of rectangular microstrip antennas. Electronics Letters 24 (May,1988) : 680-681.
- Mitra, R. , Park, I. , and Aksun, M.I. Numerically efficient analysis of planar microstrip configurations using closed-form green's functions. IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques MTT-43 (February 1995) : 394-400.
- Murata, T. , and Fujita, M. A self-steering planar array antenna for satellite broadcast reception. IEEE Transaction on Broadcasting. 40(march,1994) : 1-6.
- Palanisamy, V. , and Garg, R. Analysis of arbitrarily shaped microstrip patch antennas using segmentation and desegmentation technique and cavity model. IEEE Trans. Antennas and Propagation AP-34 (October 1986) : 1208-1213
- \_\_\_\_\_. , and Garg, R. Analysis of circularly polarized square ring and crossed-strip microstrip antennas. IEEE Trans. Antennas and Propagation AP-34 (November 1986) : 1340-1346.
- Perez, J.J. , and Encinar, J. A simple model applied to the analysis of E-plane and H-plane mutual coupling between microstrip antennas. Eighth International Conference on Antennas and Propagation, pp. 520-523. Edinburgh, UK, Mar. 30 to Apr. 2,1993.
- Pozar, D.M. Input impedance and mutual coupling of rectangular microstrip antennas. IEEE Trans. Antennas and Propagation AP-30 (November 1982) : 1191-1196.
- \_\_\_\_\_. A review of bandwidth enhancement techniques for microstrip antennas. In Pozar, D.M. , and Schaubert, D.H. (eds.), Microstrip antennas the analysis and design of microstrip antennas and arrays, pp.59-67. New York: IEEE Press, 1995.
- \_\_\_\_\_. Microstrip antennas. Proceedings of the IEEE 80 (January 1992) : 79-91.
- \_\_\_\_\_. , and Kaufman, B. Design considerations for low sidelobe microstrip arrays. IEEE Trans. Antennas and Propagation AP-38 (August 1990) : 1176-1185.

- \_\_\_\_\_. , and Voda, S.M. A rigorous analysis of a microstripline fed patch antenna. IEEE Trans. Antennas and Propagation AP-35 (December 1987) : 1343-1349.
- Richards, W.F. Microstrip antenna. In Lo, Y.T. , and Lee, S.W. (eds.), Antenna handbook. Part B. New York: Van Nostrand Reinhold, 1988.
- \_\_\_\_\_. , Lo, Y.T. and Harrison, D.D. An improved theory for microstrip antennas and applications. IEEE Trans. Antennas and Propagation AP-29 (January 1981) : 38-46.
- Schaubert, D.H. A review of some microstrip antenna characteristics. In Pozar, D.M. , and Schaubert, D.H. (eds.) Microstrip antennas the analysis and design of microstrip antennas and arrays, pp.59-67. New York: IEEE Press, 1995.
- \_\_\_\_\_. , Farrar, F.G. Sindoris, A. , and Hayes, S.T. Microstrip antennas with frequency agility and polarization diversity. IEEE Trans. Antennas and Propagation AP-29 (January 1981) : 118-123.
- Sipus, Z. Bartolic, J. and Stipetic, B. Input impedance of rectangular patch antenna fed by microstrip line. Electronics Letters 28 (September 1992) : 1886-1888.
- Thouroude, D. , Himdi, M. and Daniel, J.P. CAD-oriented cavity model for rectangular patches. Electronics Letters 26 (June,1990) : 842-844.
- Tian, M. , and Ligthart, L.P. Radiation modeling in miniature waveguide antennas using the finite element method. Ninth International Conference on Antennas and Propagation, pp. 213-217. Eindhoven, Netherlands, Apr. 4-7, 1995.

ภาคผนวก ก

ฟังก์ชันของกรีนสำหรับแผ่นสายอากาศรูปร่างต่างๆ

ในการหาค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้าภายในโพรงโดยการหาฟังก์ชันค่าเจาะจงของฟังก์ชันกรีนที่มีความสัมพันธ์เช่นเดียวกับสนามไฟฟ้าตามสมการที่ 3.13 และเงื่อนไขขอบเขตตามสมการที่ 3.14 ในบทที่ 3 นั้นฟังก์ชันของกรีนจะมีความสัมพันธ์และเงื่อนไขขอบเขตสำหรับแผ่นสายอากาศที่มีลักษณะเปิดวงจร ดังสมการต่อไปนี้

$$(\nabla_r^2 + k^2)G(r|r_0) = j\omega\mu_0\delta(r-r_0) \dots\dots\dots (ก1)$$

$$\frac{\partial G(r|r_0)}{\partial n} = 0 \dots\dots\dots (ก2)$$

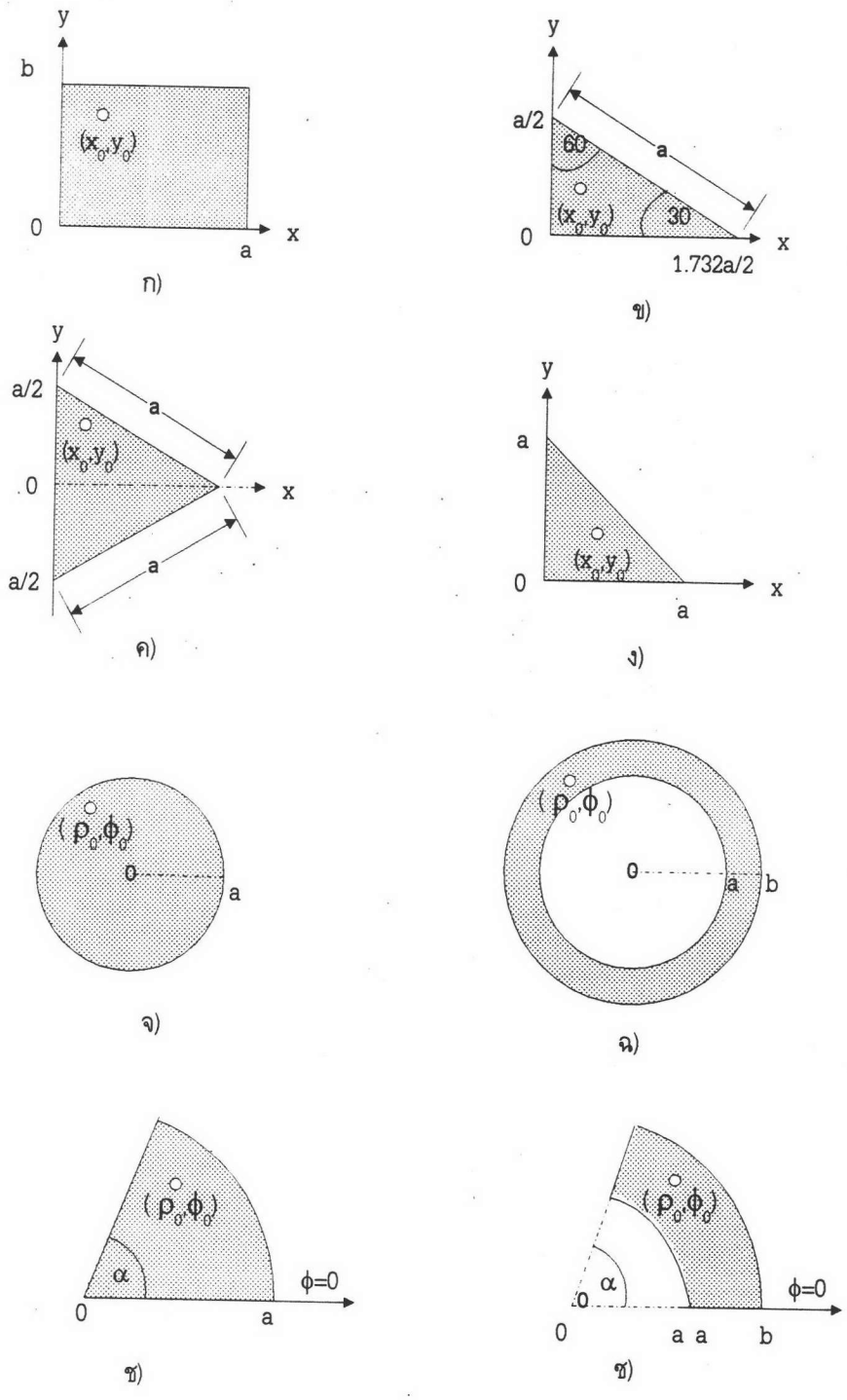
โดยที่  $\vec{n}$  คือเวกเตอร์ในทิศตั้งฉากกับผนังด้านข้างของแผ่นสายอากาศ เมื่อใช้วิธีการกระจายฟังก์ชันค่าเจาะจงของฟังก์ชันกรีนจะได้ค่าฟังก์ชันกรีนของแผ่นสายอากาศรูปร่างต่างๆ ดังนี้ (Kupta อ้างถึงใน Itoh, 1989)

แผ่นสายอากาศรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก

ฟังก์ชันของกรีนของแผ่นสายอากาศรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากขนาด  $a \times b$  ดังรูปที่ ก1.ก) ความหนาของแผ่นฐานไดอิเล็กตริกเท่ากับ  $t$  มีค่าดังนี้

$$G(x,y|x_0,y_0) = \frac{j\omega\mu t}{ab} \sum_m \sum_n \frac{\sigma_m \sigma_n \cos(k_x x) \cos(k_y y) \cos(k_x x_0) \cos(k_y y_0)}{k_x^2 + k_y^2 - k^2}$$

เมื่อ  $k_x = \frac{m\pi}{a}$  ,  $k_y = \frac{n\pi}{b}$  และ  $\sigma_l = \begin{cases} 1 & ; l = 0 \\ 2 & ; \text{others} \end{cases}$



รูปที่ 11 แผ่นสายอากาศรูปร่างต่างๆ และระบบพิกัดของแผ่นสายอากาศ

- ก) แผ่นสายอากาศรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก
- ข) แผ่นสายอากาศรูปสามเหลี่ยมมุมฉาก 30-60 องศา
- ค) แผ่นสายอากาศรูปสามเหลี่ยมด้านเท่า
- ง) แผ่นสายอากาศรูปสามเหลี่ยมมุมฉากด้านเท่า
- จ) แผ่นสายอากาศรูปวงกลม
- ฉ) แผ่นสายอากาศรูปวงแหวน
- ช) แผ่นสายอากาศรูปส่วนของวงกลม
- ซ) แผ่นสายอากาศรูปส่วนของวงแหวน



แผ่นสายอากาศรูปสามเหลี่ยมมุมฉากมุม 30-60 องศา

ฟังก์ชันของกรีนของแผ่นสายอากาศรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากที่มีมุมประกอบมุมฉากเท่ากับ 30 และ 60 องศา ดังรูปที่ ก1.ข) ความหนาของแผ่นฐานไดอิเล็กตริกเท่ากับ  $t$  มีค่าดังนี้

$$G(x, y | x_0, y_0) = 8j\omega\mu t \sum_m \sum_n \frac{T_1(x, y)T_1(x_0, y_0)}{16\sqrt{3}\pi^2(m^2 + mn + n^2) - 9\sqrt{3}a^2k^2}$$

เมื่อ  $l = -(m+n)$  และ

$$\begin{aligned} T_1(x, y) &= (-1)^l \cos\left(\frac{2\pi lx}{\sqrt{3}a}\right) \cos\left(\frac{2\pi(m-n)y}{3a}\right) \\ &+ (-1)^m \cos\left(\frac{2\pi mx}{\sqrt{3}a}\right) \cos\left(\frac{2\pi(n-l)y}{3a}\right) \\ &+ (-1)^l \cos\left(\frac{2\pi nx}{\sqrt{3}a}\right) \cos\left(\frac{2\pi(l-m)y}{3a}\right) \end{aligned}$$

แผ่นสายอากาศรูปสามเหลี่ยมด้านเท่า

ฟังก์ชันของกรีนของแผ่นสายอากาศรูปสามเหลี่ยมด้านเท่า ดังรูปที่ ก1.ค) แผ่นฐานไดอิเล็กตริกหนาเท่ากับ  $t$  มีค่าดังนี้

$$G(x, y | x_0, y_0) = 4j\omega\mu t \sum_m \sum_n \frac{T_1(x, y)T_1(x_0, y_0) + T_2(x, y)T_2(x_0, y_0)}{16\sqrt{3}\pi^2(m^2 + mn + n^2) - 9\sqrt{3}a^2k^2}$$

เมื่อ  $T_1(x, y)$  และ 1 มีค่าตามสมการของแผ่นสายอากาศรูปสามเหลี่ยมมุมฉาก 30-60 องศา และ  $T_2(x, y)$  มีค่าดังนี้

$$\begin{aligned} T_2(x, y) &= (-1)^l \cos\left(\frac{2\pi lx}{\sqrt{3}a}\right) \sin\left(\frac{2\pi(m-n)y}{3a}\right) \\ &+ (-1)^m \cos\left(\frac{2\pi mx}{\sqrt{3}a}\right) \sin\left(\frac{2\pi(n-l)y}{3a}\right) \\ &+ (-1)^l \cos\left(\frac{2\pi nx}{\sqrt{3}a}\right) \sin\left(\frac{2\pi(l-m)y}{3a}\right) \end{aligned}$$

แผ่นสายอากาศรูปสามเหลี่ยมมุมฉากด้านเท่า

ฟังก์ชันของกรีนของแผ่นสายอากาศรูปสามเหลี่ยมมุมฉากด้านเท่า ดังรูปที่ ก1.ง) แผ่นฐานไดอิเล็กทริกหนาเท่ากับ  $t$  มีค่าดังนี้

$$G(x, y | x_0, y_0) = \frac{j\omega\mu t}{2} \sum_m \sum_n \frac{\sigma_m \sigma_n T(x, y) T(x_0, y_0)}{\pi^2 (m^2 + n^2) - a^2 k^2}$$

เมื่อ  $T(x, y) = \cos\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \cos\left(\frac{n\pi y}{a}\right) + (-1)^{m+n} \cos\left(\frac{n\pi x}{a}\right) \cos\left(\frac{m\pi y}{a}\right)$

แผ่นสายอากาศรูปวงกลม

ฟังก์ชันของกรีนของแผ่นสายอากาศรูปวงกลมรัศมี  $a$  ดังรูปที่ ก1.จ) แผ่นฐานไดอิเล็กทริกหนาเท่ากับ  $t$  มีค่าดังนี้

$$G(\rho, \phi | \rho_0, \phi_0) = \frac{t}{j\epsilon\pi\omega a^2} + j\omega\mu t \sum_m \sum_n \frac{\sigma_n J_n(k_{mn} \rho_0) J_n(k_{mn} \rho) \cos(n(\phi - \phi_0))}{\pi \left( a^2 - \frac{n^2}{k_{mn}^2} \right) (k_{mn}^2 - k^2) J_n^2(k_{mn} a)}$$

เมื่อ  $J_n(\cdot)$  ฟังก์ชันเบสเซลอันดับที่  $n$  และ  $k_{mn}$  สอดคล้องกับสมการต่อไปนี้

$$\frac{\partial}{\partial \rho} J_n(k_{mn} \rho) \Big|_{\rho=a} = 0$$

### แผ่นสายอากาศรูปวงแหวน

ฟังก์ชันของกรีนของแผ่นสายอากาศรูปวงแหวนรัศมีภายนอก  $b$  และรัศมีภายใน  $a$  ดังรูปที่ ก1.จ) แผ่นฐานไดอิเล็กตริกหนาเท่ากับ  $t$  มีค่าดังนี้

$$G(\rho, \phi | \rho_0, \phi_0) = \frac{t}{j\epsilon\pi\omega(b^2 - a^2)} + j\omega\mu t \sum_m \sum_n \frac{\sigma_n F_{mn}(\rho_0) F_{mn}(\rho) \cos(n(\phi - \phi_0))}{\pi \left( b^2 - \frac{n^2}{k_{mn}^2} \right) F_{mn}^2(b) - \left( a^2 - \frac{n^2}{k_{mn}^2} \right) (k_{mn}^2 - k^2) F_{mn}^2(a)}$$

เมื่อ  $F_{mn}(\rho) = N'_n(k_{mn}a)J_n(k_{mn}\rho) - J'_n(k_{mn}a)N_n(k_{mn}\rho)$  และ  $k_{mn}$  สอดคล้องกับสมการต่อไปนี้

$$\frac{J'_n(k_{mn}a)}{N'_n(k_{mn}a)} = \frac{J'_n(k_{mn}b)}{N'_n(k_{mn}b)}$$

โดยที่  $N_n(\cdot)$  คือฟังก์ชันนอยแมนอันดับที่  $n$  และ  $N'_n(\cdot)$ ,  $J'_n(\cdot)$  คืออนุพันธ์อันดับหนึ่งของฟังก์ชันนอยแมนและฟังก์ชันเบสเซลตามลำดับ

### แผ่นสายอากาศรูปส่วนของวงกลม

ฟังก์ชันของกรีนของแผ่นสายอากาศรูปส่วนของวงกลมรัศมี  $a$  ดังรูปที่ ก1.ข) แผ่นฐานไดอิเล็กตริกหนาเท่ากับ  $t$  มีค่าดังนี้

$$G(\rho, \phi | \rho_0, \phi_0) = \frac{2lt}{j\epsilon\pi\omega a^2} + 2lj\omega\mu t \sum_m \sum_n \frac{\sigma_n J_{n_i}(k_{mn_i}\rho_0) J_{n_i}(k_{mn_i}\rho) \cos(n_i\phi) \cos(n_i\phi_0)}{\pi \left( a^2 - \frac{n_i^2}{k_{mn_i}^2} \right) (k_{mn_i}^2 - k^2) J_{n_i}^2(k_{mn_i}a)}$$

เมื่อ  $J_{n_i}(\cdot)$  ฟังก์ชันเบสเซลอันดับที่  $n$  และ  $k_{mn_i}$  สอดคล้องกับสมการต่อไปนี้

$$\frac{\partial}{\partial \rho} J_{n_i}(k_{mn_i}\rho) \Big|_{\rho=a} = 0$$

โดยที่  $n_i = nl$  และ  $l = \frac{\pi}{\alpha}$

แผ่นสายอากาศรูปส่วนของวงแหวน

ฟังก์ชันของกรีนของแผ่นสายอากาศรูปส่วนของวงแหวนรัศมีภายนอก  $b$  และรัศมีภายใน  $a$  ดังรูปที่ ก1.๗) แผ่นฐานไดอิเล็กทริกหนาเท่ากับ  $t$  มีค่าดังนี้

$$G(\rho, \phi | \rho_0, \phi_0) = \frac{2lt}{j\epsilon\pi\omega(b^2 - a^2)} + 2lj\omega\mu t \sum_m \sum_n \frac{\sigma_n F_{mn}(\rho_0) F_{mn}(\rho) \cos(n_i \phi) \cos(n_i \phi_0)}{\pi \left( b^2 - \frac{n_i^2}{k_{mn_i}^2} \right) F_{mn_i}^2(b) - \left( a^2 - \frac{n_i^2}{k_{mn_i}^2} \right) (k_{mn_i}^2 - k^2) F_{mn_i}^2(a)}$$

เมื่อ  $F_{mn_i}(\rho) = N'_{n_i}(k_{mn_i} a) J_{n_i}(k_{mn_i} \rho) - J'_{n_i}(k_{mn_i} a) N_{n_i}(k_{mn_i} \rho)$  และ  $k_{mn}$  สอดคล้องกับสมการต่อไปนี้

$$\frac{J'_{n_i}(k_{mn_i} a)}{N'_{n_i}(k_{mn_i} a)} = \frac{J'_{n_i}(k_{mn_i} b)}{N'_{n_i}(k_{mn_i} b)}$$

โดยที่  $n_i = nl$  และ  $l = \frac{\pi}{\alpha}$

## ประวัติผู้เขียน

นางสาวสุปราณี ศฤงคารพูนเพิ่ม เกิดเมื่อวันอังคารที่ 23 มกราคม พ.ศ.2516 ที่เขตบางกอกน้อย จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตจากภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2536 และในปีการศึกษา 2537 ได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ณ สถาบันเดิม โดยเข้าเป็นนิสิตปริญญาโทในโครงการศิษย์ก้นกุฏิซึ่งเป็นโครงการความร่วมมือในการพัฒนาการศึกษาด้านวิศวกรรมศาสตร์ระดับบัณฑิตศึกษาระหว่างจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.)

