

週期的 스롯트 안테나의 임피이던스 等價回路 表示

(The Equivalent Circuit Representation of Periodical Antennas)

楊 仁 應*
(Young, In Eung)

徐 建 一**
(Seo, Kuhn Ile)

要 約

矩形導波管上的 주기적인 不連續의 特性 즉 矩形導波管의 넓은 面에 스롯트를 주기적으로 뚫은 안테나의 임피이던스를 T의 等價回路로 나타냈다.

ABSTRACT

The characteristics of periodical discontinuities (The array of slots on the broadside of rectangular waveguide) are analysed and represented by T equivalent circuits.

I. 序 論

스롯트 안테나는 最近에 와서 그 용도가 높이 평가되고 있다. 스롯트 안테나는 견고한 金屬導體上에 스롯트를 뚫어서 만들었기 때문에 航空機와 같은 飛行體에 널리 使用 되고있다. 스롯트 안테나의 原理는 1946年 H. G. Booker⁽¹⁾에 依해 Babinet의 原理를 電磁界에 적용함으로써 無限平板 良導體에 스롯트를 뚫어 이것을 다이폴로 還元시킬수 있음을 立證했다.

1943年 A. F. Stevenson⁽²⁾은 矩形導波管上에 스롯트를 뚫어 高周波를 輻射시키는 안테나로서 發展시켰다.

本 論文에서는 구형도파관의 주기적인 不連續의 特性 즉 구형도파관에 주기적으로 스롯트를 뚫어서 만든 안테나의 임피이던스를 Deschamps⁽²⁾가 처음 제안한 散亂係數 결정법을 이용하여

T의 等價回路로 나타냈다.

II. 本 論

1) 마이크로波 2포트의 임피이던스 表示 一般의으로 마이크로波 2포트의 性質은 傳送係數 反射係數 Γ 혹은 Π 의 回路網波의 行列式으로 說明되어질수 있다.

임의의 2포트를 그림1과 같이 T의 等價回路로 생각해 보면 #2 端子에 Z_L 이 連結되었다면

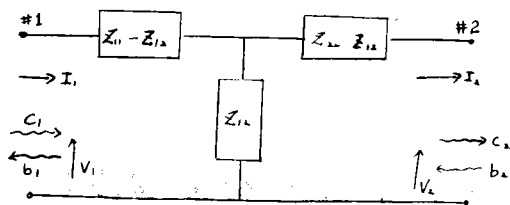


그림 1 T 등가회로

Fig. 1 T equivalent circuit

#1에서 본 入力側 임피이던스 Z_{in1} 은

$$Z_{in1} = Z_{11} - \frac{Z_{12}^2}{Z_L + Z_{22}} = \frac{Z_{11}Z_L + \Delta}{Z_L + Z_{22}}$$

$$\Delta = Z_{11}Z_{22} - Z_{12}^2$$

* **延理工大 電氣工學科

Dept of Electrical Engineering, Yonsei Univ,

接受日字: 1968年 6月 15日

#1에 Z_L 이 連結되었다면 #2에서 본 入力側 임피던스 Z_{in_2} 는

$$Z_{in_2} = \frac{Z_{22}Z_L + \Delta}{Z_L + Z_{11}}$$

特性임피던스 Z_c 는

$$Z_c = - \left\{ \frac{Z_{11} - Z_{22}}{2} \pm \left[\frac{(Z_{11} + Z_{22})^2}{2} - Z_{12}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} \text{이다.}$$

마이크로波 2포트 回路의 各 終端面에서의 電磁波를 正規화된 電壓과 電流로서 表示하면 垂直波의 界는 다음과 같다.

$$E_i^i(x, y) = V_1^i F_1(x, y)$$

$$H_i^i(x, y) = I_1^i F_1(x, y)$$

$$E_i^r(x, y) = V_1^r F_1(x, y)$$

$$H_i^r(x, y) = -I_1^r F_1(x, y)$$

$$V_1 = V_1^i + V_1^r$$

$$I_1 = Y_1(V_1^i - V_1^r)$$

$$I_1^i = Y_1 V_1^i$$

電壓係數 關係를 簡單히 다음과 같이 表示하면

$$a = V_1^i \quad b = V_1^r \quad V_1 = a + b$$

$$I_1 = Y_1(a - b)$$

n포트에서 n번째 回路로 傳播되는 前進波는 a_n 이며 이에 該當하는 n번째 反射波를 b_n 이라 하면

$$b_{11} = S_{11} a_1$$

$$b_{21} = S_{21} a_1$$

$$\vdots$$

$$b_{n1} = S_{n1} a_1$$

여기서 S_{nm} 을 散亂係數라고 하면

$$b_1 = \sum_{m=1}^{m=N} b_{1m}$$

$$\vdots$$

$$b_N = \sum_{m=1}^{m=N} b_{Nm}$$

2포트 回路網에서 Z_{11} , Z_{22} , Z_{12} 를 Deschamps가 查안한 散亂係數의 式으로 나타내면 다음과 같다.

$$Z_{11} = \frac{1 + S_{11} - S_{22} - S_{11}S_{22} + S_{12}^2}{1 - S_{11} - S_{22} + S_{11}S_{22} - S_{12}^2}$$

$$Z_{22} = \frac{1 - S_{12} + S_{22} - S_{11}S_{22} + S_{12}^2}{1 - S_{11} - S_{22} + S_{11}S_{22} - S_{12}^2}$$

$$\frac{Z_{12}}{\sqrt{Z_1 Z_2}} = \frac{2 S_{12}}{1 - S_{11} - S_{22} + S_{11}S_{22} - S_{12}^2}$$

$$Z_{11}Z_{22} - Z_{12}^2 = \frac{1 + S_{11} + S_{22} + S_{11}S_{22} - S_{12}^2}{1 - S_{11} - S_{22} + S_{11}S_{22} - S_{12}^2}$$

2) 導波管壁에 뚫은 스로트의 形態

導波管內에서의 電磁界는 導波管 境界面위의 電流分布와 關係가 있다. 좁은 스로트를 導波管壁에 뚫어서 스로트의 길이 方向을 電流線이나 혹은 電流分布가 零인 面을 따라 놓으면 다만 微小한 電流의 攪亂이 생기며 그것에 해당하는 內部界만이 外部空間으로 連鎖되어 간다. 이러한 스로트의 列은 導波管側에 平行하게 뚫었을때며 그림2의 矩形導波管에서는 c와 e의 스로트와 같다.

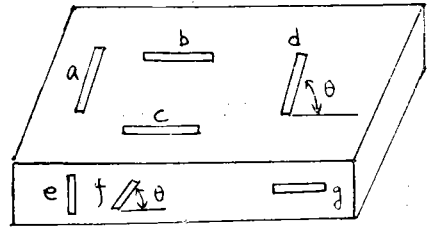


그림 2 矩形 導波管上의 여러가지 스로트의 形態
Fig. 2 Various form of slots on rectangular waveguide

c는 電流密度가 없는 中心線을 따라 놓여있다면 電流線에 대하여 垂直方向으로 뚫은 스로트는 電流分布面에서 甚한 攪亂을 일으킨다. 그래서 內部界가 外部空間으로 連鎖된다. 이러한 形態의 스로트는 輻射要素가 된다. 連鎖程度는 스로트에 依해 차단되는 電流密度와 電流線에 垂直한 스로트의 길이 成分에 의해 決定된다. 그래서 導波管에 주어진 位置에서의 連鎖정도는 그림2의 d, f 스로트와 같이 θ 方向을 調節함으로써 位置와 方向의 函數로 나타낼수 있다. 이와같이 導波管 壁面에 뚫은 스로트들은 어떤 條件下에서는 並列要素 혹은 直列要素로서 作用하며 이것들은 Γ 또는 π 의 等價回路로 適切히 表示할 수 있다.

III. 實驗機器 構成 및 結果

2k25 크라이스트론을 使用한 마이크로波 發生器를 矩形波 1000cps로 振幅變調 시켰다. 入力를

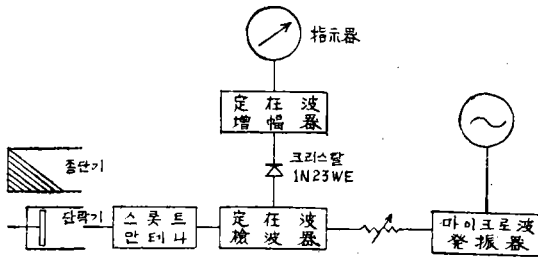


그림 3 實驗機器 設置圖

Fig. 3 Installation of experiment instruments

임의로 減衰시킬 수 있게 베인形 抵抗減衰器로서 調整했으며 電壓定在波 測定器와 可變短絡器는 延世大에서 製作한 X-帶用 測定器를 使用했으며 電流增幅器로서는 40db의 增幅器를 使用했다 위와 같은 實驗器具의 設置로서 X-帶 導波管上에 그림4와 같이 스톱트를 뚫어서 Deschamps의

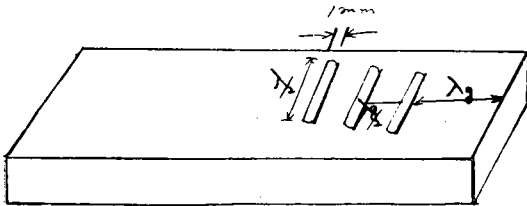


그림 4 스톱트 안테나

Fig. 4 Slotted antenna

1) 스톱트 하나에의 實驗結果 및 等價回路

表1 스톱트 하나의 실험결과치

等間隔點	可動短絡板의變位거리 (cm)	Probe Min 點	定在波比 "S"	角 度
W ₁	8.54	11.35	16	-66.4
W ₂	8.66	11.3	11	-56.8
W ₃	8.78	11.2	5.2	-37.9
W ₄	8.9	11.15	4	-25.4
W ₅	9.02	11.1	3.3	-19
W ₆	9.14	11.05	2.6	-9.5
W ₇	9.26	10.95	2.1	9.5
W ₈	9.38	10.83	1.78	32.2
W ₉	9.5	10.5	1.6	94.7
W ₁₀	9.62	10.3	1.8	132.5
W ₁₁	9.72	10.1	2.9	172.2
W ₁₂	9.86	9.96	5.5	197.2
W ₁₃	9.98	9.84	16	219.5
W ₁₄	10.1	9.72	35	233.2
W ₁₅	10.22	9.57		271.2
W ₁₆	10.34	9.53		278.7

散亂 方法에 依해 다음과같은 實驗 結果의 等價 回路를 얻었다.

$$Z_{11} = 0.125 + j0.814$$

$$Z_{22} = 0.122 + j1.01$$

$$Z_{12} = 0.01 + j0.0827$$

$$Z_{12}^2 = -1.086 + j0.035$$

$$Z_{11} - Z_{12} = 0.115 + j0.7813$$

$$Z_{22} - Z_{12} = 0.112 + j0.9773$$

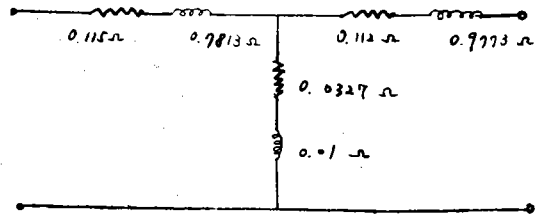


그림 5 스톱트 하나의 T 등가회로

Fig. 5 T equivalent circuit of one slotted antenna

2) 스톱트 두개의 結果 및 等價回路

表2 스톱트 둘의 실험결과치

等間隔點	可動短絡板의變位거리	定在波比 "S"	Probe의 Min 點	角 度
W ₁	8.54	11	19	0
W ₂	8.66	10.92	9	15.2
W ₃	8.78	10.87	5.8	24.6
W ₄	8.9	10.83	4.3	32.2
W ₅	9.02	10.8	3.5	37.9
W ₆	9.14	10.75	2.6	47.4
W ₇	9.26	10.7	2	56.9
W ₈	9.38	10.65	1.68	66.4
W ₉	9.5	10.57	1.38	81.5
W ₁₀	9.62	10.1	1.13	170
W ₁₁	9.74	9.75	1.42	236.2
W ₁₂	9.86	9.63	2.15	259.5
W ₁₃	9.98	9.5	4.4	283.5
W ₁₄	10.1	9.38	11	306.5
W ₁₅	10.22	9.22	50	332.5
W ₁₆	10.34	9.12	55	345.5

使用周波數 : 9375MC

스롯트幅 : 1mm

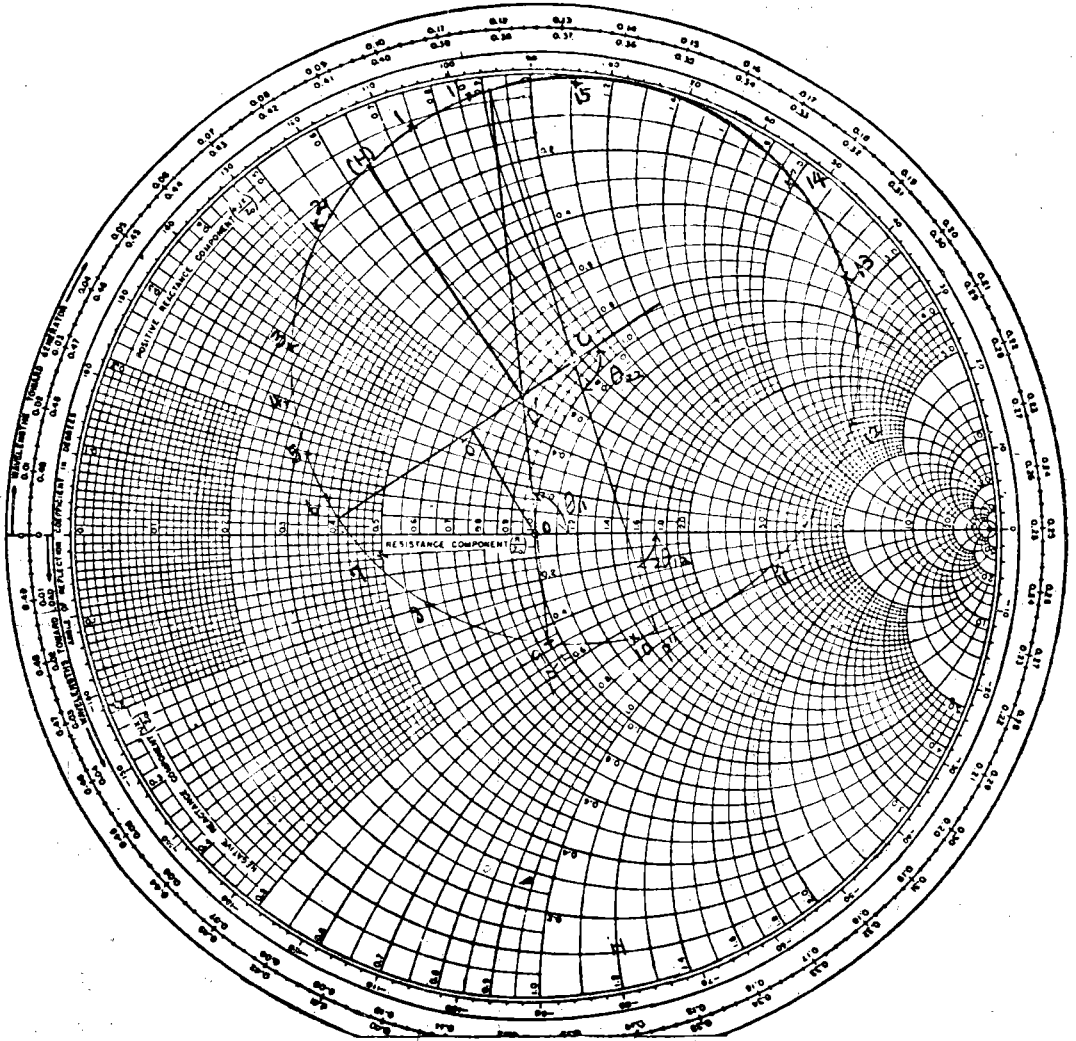


그림 6 스롯트하나의 스미스圖線圖

Fig. 6 Smithchart of one slotted antenna

$$Z_{11} = 0.979 + j0.441$$

$$Z_{11} - Z_{12} = 0.839 - j0.244$$

$$Z_{22} = 0.372 + j0.586$$

$$Z_{22} - Z_{12} = 0.232 - j0.117$$

$$Z_{12} = 0.14 + j0.658$$

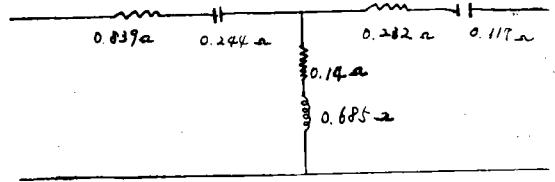


그림 7 스롯트 둘개의 T 등가회로

Fig. 7 T equivalent circuit of two slotted antenna

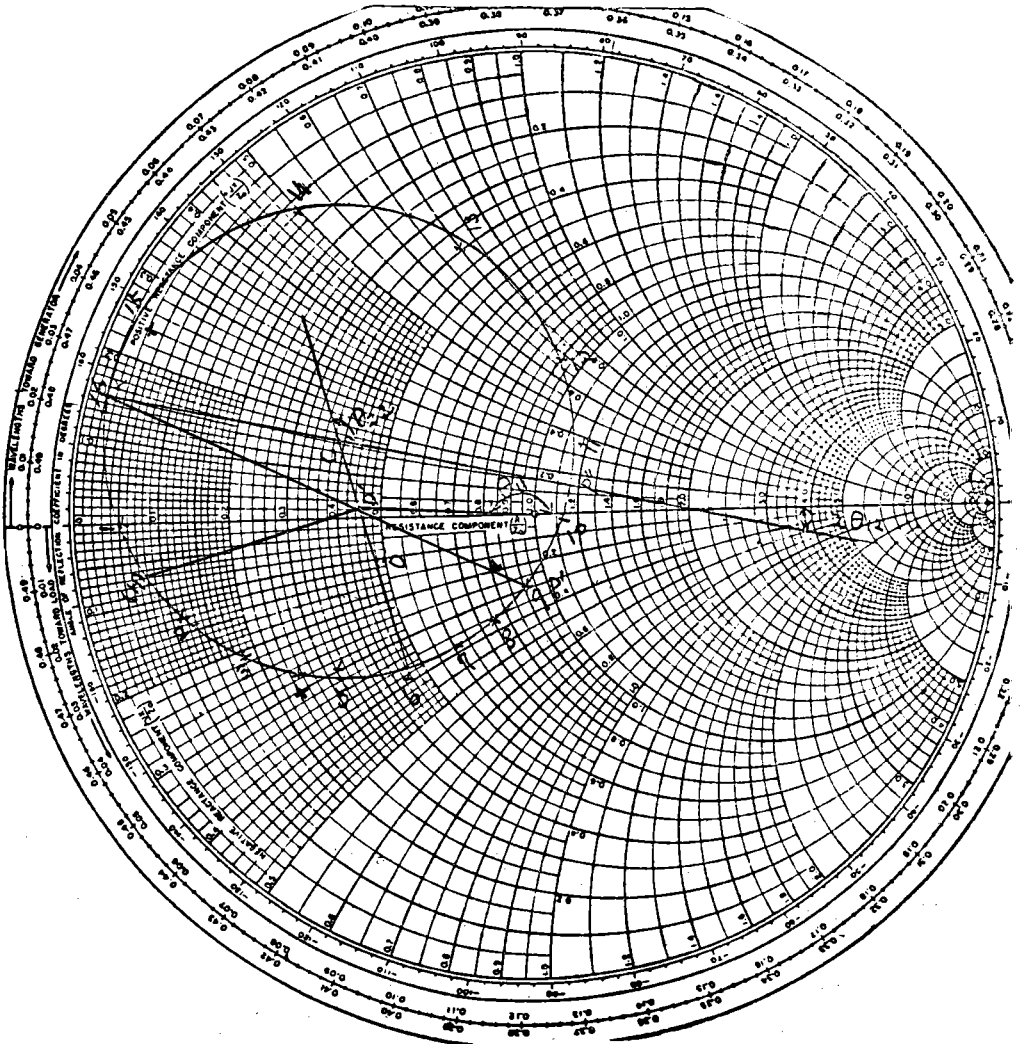


그림 8 스롯트 둘의 스미스圖線圖

Fig. 8 Smithchart of two slotted antenna

3) 스롯트 셋의 結果 및 等價回路

表3 스롯트셋의 실험결과치

等間隔點	가동 단락 관의 變位 (cm)	Probe의 min 點	定在波 比 "S"	각 도 (도)
W ₁	8.54	10.9	13	18.9
W ₂	8.66	10.88	9	22.7
W ₃	8.78	10.8	4	37.8
W ₄	8.9	10.8		
W ₅	9.02	10.78	2.9	41.5

W ₆	9.14			
W ₇	9.26	10.75	2.1	44
W ₈	9.38	10.78	1.8	41.5
W ₉	9.5	10.83	1.5	32.2
W ₁₀	9.62	10.9	1.39	18.9
W ₁₁	9.74	11.1	1.33	-18.9
W ₁₂	9.86	11.2	1.43	-37.8
W ₁₃	9.98	11.3	2.8	-54
W ₁₄	10.1	11.2	8	-37.8
W ₁₅	10.22	11.1	28	-15.9
W ₁₆	10.34	10.98	30	3.8

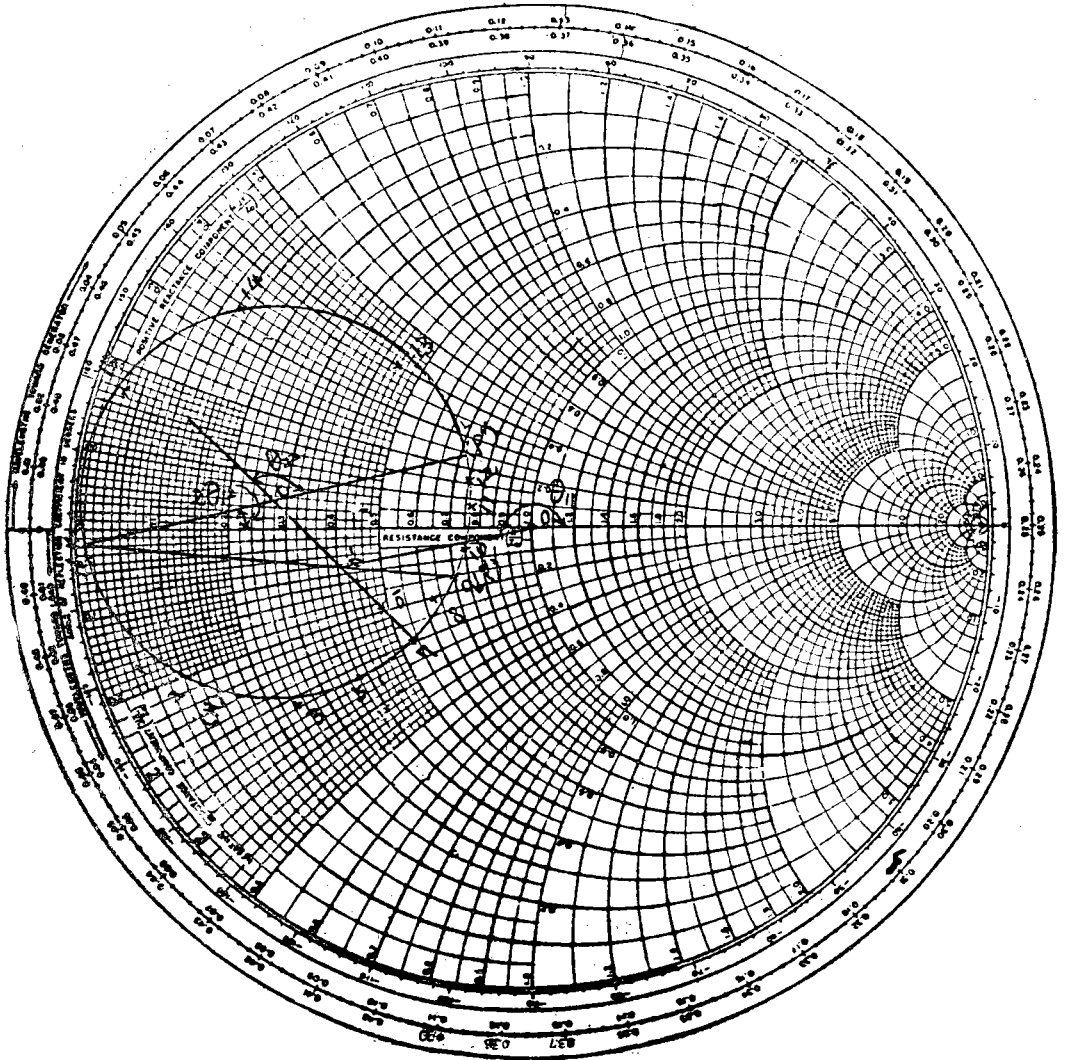


그림 9 스롯트 셋의 스미스圖線圖

Fig. 9 Smithchart of three slotted antenna

$$\begin{aligned} Z_{11} &= 0.793 + j0.247 \\ Z_{22} &= 0.159 + j0.52 \\ Z_{12} &= 0.089 + j0.495 \\ Z_{11} - Z_{12} &= 0.754 - j0.248 \\ Z_{22} - Z_{12} &= 0.12 + j0.025 \end{aligned}$$

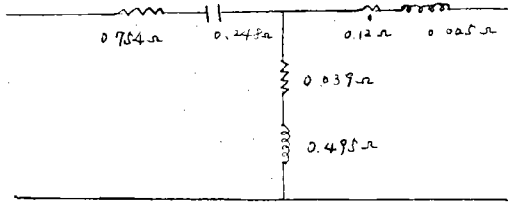


그림 10 스롯트 셋개의 T 등가회로
Fig. 10 T equivalent circuit of three slotted antenna

4) 誤差와 그 原因

A. F. Stevenson의 스롯트 하나때의 임피던스 이론식은 다음과 같다.

$$Z = 0.523 \left(\frac{\lambda g}{\lambda} \right)^3 \left(\frac{\lambda^2}{ab} \right) \cos^2 \left(\frac{\pi}{4a} \lambda \right) \cos^2 \left(\frac{\pi}{a} \lambda \right)$$

위 식에서

$$\begin{aligned} Z &= 0.523 \left(\frac{3.8}{3.15} \right)^3 \left(\frac{3.15^2}{2.8 \times 1.2} \right) \cos^2 \left(\frac{\pi}{4 \times 2.8} \times 3.15 \right) \cos^2 \left(\frac{\pi}{a} 1.57 \right) \\ &= 0.67 \text{ 이 되었다.} \end{aligned}$$

앞에서 스롯트 하나때의 Z는
 $Z = 0.642 + j0.31$

위에서 理論적으로 구한 값과 實驗적으로 구한 값의 誤差는 0.03이다. 그러므로 理論値와 實驗値가 合致되어 감을 알 수 있다. 이것으로서 스롯트 2개 3개에 대하여 구한 實驗値도 신빙성이 있음을 결론 내릴 수 있다. 그러나 위의 比較에서 完全 合致를 이루지 못한 原因을 다음의 몇 가지로 生覺할 수 있다.

- a) 定在波 測定器의 눈금을 $\frac{1}{10\text{mm}}$ 以上の 正確을 얻을 수 없으므로 스미스 圓線圖上的 變位の 增減을 가져와서 誤差가 생겼다고 볼 수 있다.
- b) 定在波比 "S"를 읽을때 精確한 小 스펙의 값을 읽을 수 없었다는데 그 原因이 있으며
- c) 스롯트 안테나와 定在波 測定器와의 機械

의인 連結點에서 若干의 反射波가 생겼으며
d) 크라이스트론의 發振周波數는 周圍溫度에 따라 약간씩 變化하므로 誤差가 생겼다고 본다.
e) 스롯트 製作時 스롯트의 길이나 스롯트間의 間隔이 完全하게 共振길이로 되지 못하여 誤差를 招來했다고 본다.

IV. 結 論

導波管 넓은 壁面에 週期的으로 뚫은 스롯트 안테나의 複雜한 回路網을 간단한 等價回路로 表示함으로써 週期的인 不連續의 回路網을 쉽게 理解할 수 있게 되었다.

또한 스미스 圓線圖에서 스롯트의 數를 增加 시킴에 따라서 스롯트 안테나의 임피던스가 特性 임피던스에 整合 되어가는 現象을 알 수 있게 되었다.

참 고 문 헌

- 1) H. G. Booker
"Slot Aerials and Their Relation to Complementary Wire Aerials."
J. I. E. E 1946
- 2) G. A. Deschamps
"Determination of Reflection Coefficients and Insertion Loss of a Waveguide Junction."
J. Appl. phys. Vol.24 No. 8 pp. 1046~1050 August 1953.
- 3) Arthur A Oliver
"The Impedance Properties of Slots in the Broad face of Rectangular Wave Guide. IRE Transaction on Antennas and Propagation."
- 4) A. F. Stevenson
"Theory of Slots in Rectangular Waveguides."
Journal of Appl. phys. Vol.19 pp. 24-38 January 1948.
- 5) W. H. Watson
"The Physical Principles of Waveguide Transmission and Antenna Systems."
Oxford pp. 54~61.
- 6) John F. Ramsay and Boris V. Popovich
"Series-Slotted Waveguide Array Antennas." 1963. IEEE International Convention Record.