

# 不均一 마이크로스트립線路의 特性

## The Characteristics of Non-uniform Microstrip

朴 麒 洙\*

Park, Kee Soo

### 要 約

本論文에서는 特性임피던스가 線形的으로 變化하는 不均一傳送線路의 特性, 特히 임피던스整合特性을 解析하고 아울러 特性임피던스 및 스트립의 幅이 線形的으로 變化하는 下均一 마이크로스트립의 整合特性을 實驗的으로 考察하였다.

### Abstract

In this paper, the characteristics, especially impedance matching behavior of linearly tapered transmission line which impedance is varied linearly is analyzed. Also impedance matching of non-uniform microstrip which characteristic impedance or width of strip is varied linearly are experimentally investigated.

### 1. 序 論

마이크로스트립線路는 마이크로波集積回路構成의 基本要素로서 이에 관한 解析 및 應用에 관한 研究開發은 오래전부터 많이 이루어져왔다. 現在 實用化되고 있는 것은 거의가 均一한 마이크로스트립으로 不均一한 마이크로스트립의 利用은 극히 制限되고 있어 이에 관한 研究結果는 많이 發表되지 않고 있다.

한편 超短波領域에서는 임피던스가 不均一한 특히 對數的으로 變化하는 不均一傳送線路가 임피던스 整合素子로서 오래전부터 널리 利用되고 있다. 그러나 마이크로스트립에 있어서는 不均一한 경우, 構造上의 問題나 解析의 取扱이 복잡하기 때문에 별로 利用되지 않고 있다.

마이크로스트립의 特性임피던스特性을 보면, 마이크로스트립의 兩端의 特性임피던스의 比 즉 兩端 스트립의 幅의 比가 크지 않은 경우, 스트립線路에 따르는 特性임피던스는 거의 線形的으로 變化함을 알 수 있다. 이러한 點을 고려하여 本論文에서는 特性임피던스가 線形的으로 變化하는 不均一傳送線路의 임피던스整合特性을 解析하고, 實驗結果와 比較檢討하였다

### 2. 線形테이퍼傳送線路의 임피던스整合特性

特性임피던스가 線形的으로 變化하는 不均一傳送線路에서 TEM모우드만을 고려하고 線路의 모든 位置에서 基板의 實効誘電率이 一定하다고 假定하면 線路上에서 傳播定數는 一定値를 갖는다. 이때 線路上的의 電壓  $V(x)$ 는

$$\frac{d^2V}{dx^2} - \frac{m}{1+mx} \frac{dV}{dx} - \gamma^2 V = 0$$

인 微分方程式을 滿足한다. 이때 線路上特性임피던스 및 어드미턴스는 각각  $Z(x) = Z(o)(1+mx)$ ,  $Y(x) = Y(o)(1+mx)^{-1}$ 로 表示되고 線路의 損失을 무시하면  $\gamma = \sqrt{Z(x)Y(x)} = j\beta$ 로서 位置에 관계없이 一定한 虛値를 갖게 된다.

지금 그림 1과 같이 入力 및 出力端의 特性임피던스를  $K(o), K(l)$ 라고 할때 이 値는 純實數値를 갖는다. 지금  $K(l) < K(o)$ 인 경우,  $x=l$ 인 出力端에  $Z_L$ 인 負

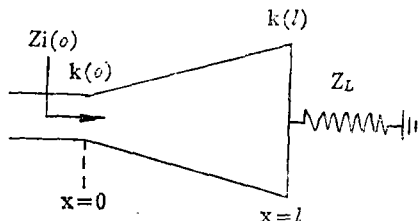


그림 1. 線形테이퍼 傳送線路

Fig. 1. Linearly tapered transmission line

\* 正會員 서울大學校工科大学  
College of Engineering, Seoul National University

接受日字 1976年 3月 18日

임피던스를 連結할때  $x=0$ 에서 본 入力임피던스  $Z_i(o)$ 은

$$Z_i(o) = jK(o) \frac{1 - j \frac{Z_L}{K(l)} Ct(a, b)}{ct(a, b)S(a, b) + j \frac{Z_L}{K(l)} S(a, b)}$$

로 表示된다. <sup>(1)(2)</sup> 여기에서 第1種 및 第2種의 Bessel 函數를 각각  $J, N$ 로 表示할 때

$$K(o) = K(l)(1 + ml), \quad m > 0$$

$$a = \beta/m, \quad b = \beta(1 + ml)/m$$

$$ct(a, b) = \frac{J_1(a)N_0(b) - N_1(a)J_0(b)}{J_0(a)N_0(b) - N_0(a)J_0(b)}$$

$$Ct(a, b) = \frac{J_1(b)N_0(b) - N_1(b)J_0(b)}{J_1(a)N_1(b) - N_1(a)J_1(b)}$$

$$S(a, b) = \frac{J_0(a)N_0(b) - N_0(a)J_0(b)}{J_1(a)N_1(b) - N_1(a)J_1(b)}$$

이며  $m$ 는 테이퍼도를 表示하는 파라미터이다. 이 式에서 出力端을 短絡 또는 開放할 때 入力임피던스를 구할 수 있으며 <sup>(1)</sup> 入出力端子를 바꾸어 入力임피던

스를 구하면 線路의 等價回路定數들을 구할 수 있다.

지금 實際의인 경우를 고려하여  $K(l)$ 과 同一한 負荷 임피던스를 걸어줄때  $K(o)$ 에 대해서 正規化한 入力 임피던스  $z_i(o)$ 은

$$z_i(o) = j \frac{1 - jCt(a, b)}{ct(a, b)S(a, b) + jS(a, b)}$$

로 表示된다. 이때  $b/a = K(0)/K(l)$ ,  $b - a = \beta l$ 이다.

이 式에서  $b/a$  즉 入力端의 特性임피던스와 負荷 임피던스와의 比가 2인 경우  $z_i(o)$ 의  $b - a$  즉 周波數에 따르는 變化를 Smith圖表에 表示하면 그림 2와 같다. 또한 이때 入力端에서의 反射係數의 크기와, 入力端에 負荷임피던스를 直結했을 경우의 反射係數의 크기와의 比를 구하여  $b/a$ 가 각각 2, 3, 4인 경우  $b - a$ 에 따르는 變化狀態를 그리면 그림 3과 같다. 그림 3과 같이 表示한 特性임피던스가 對數的으로 變化하는 경우와 比較하면, 對數的인 경우와 같이 어떤 周波數에서 完全整合은 되지 않는다. 그러나 周波數에 따

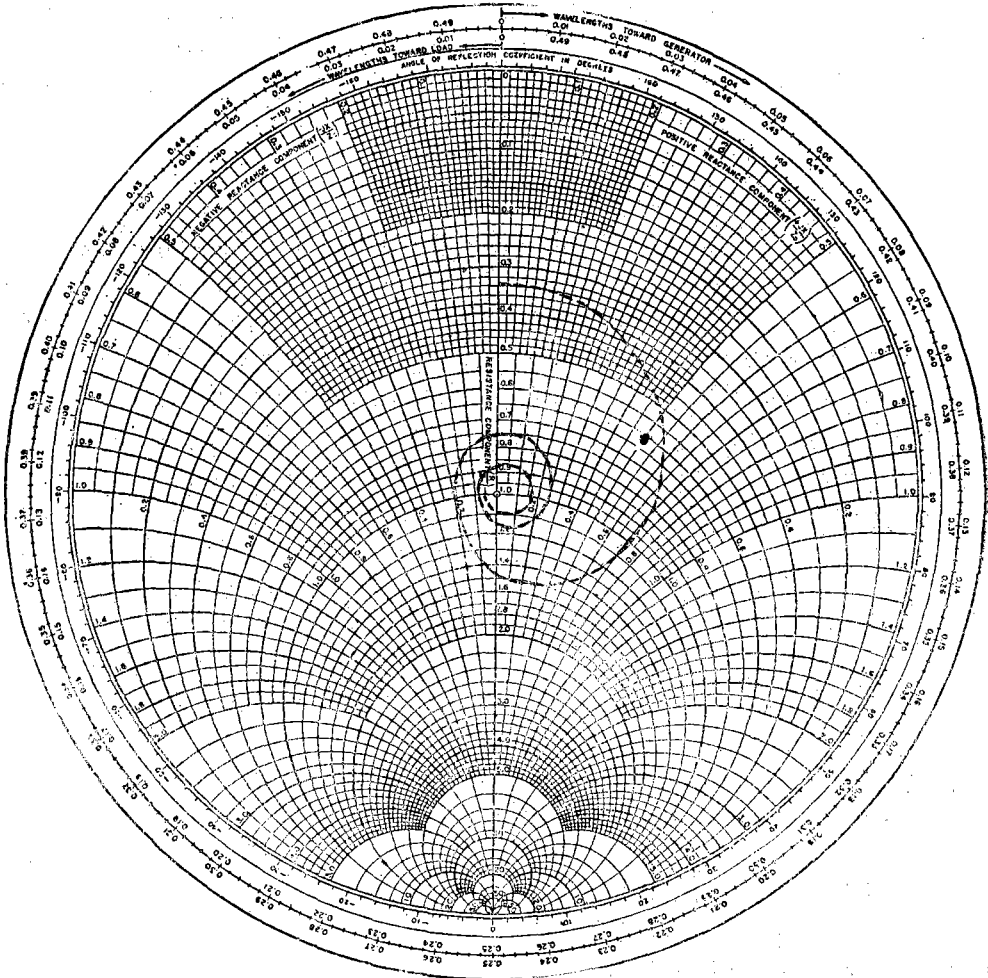


그림 2. 線形테이퍼 傳送線路의 入力임피던스의 Smith圖表表示

Fig 2. Plot of input impedance of linear tapered transmission line on Smith chart.

르는 反射係數의 크기의 變化는 對數形인 경우보다 완만해지기 때문에 入力端의 特性임피던스와 負荷임피던스와의 比가 과히 크지 않는 경우 즉  $b/a$ 가 2~3

程度以下인 경우에는 훨씬 좋은 廣帶域整合特性을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 또한 그림 2에서 負荷가 誘導性이거나, 容量性인가에 따라서 反射係數의 크기가

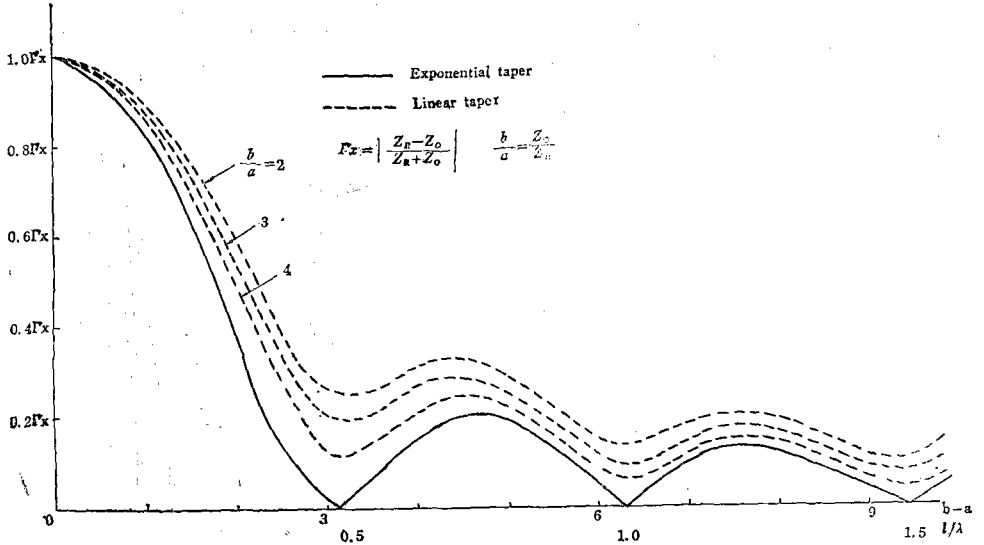
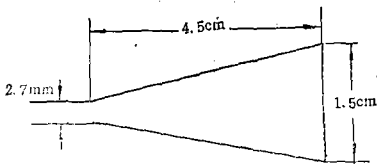


그림 3. 테이퍼의 길이에 따르는 反射係數의 變化  
Fig. 3.  $|\Gamma|$  vs. Length of taper from  $Z_R$  to  $Z_o$

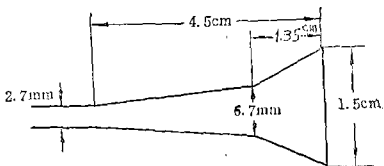
最小值를 갖는  $b-a$ 의 值 즉 周波數는 낮아지거나 높아지며, 負荷의 임피던스特性에 따라서 테이퍼線路의 길이를 調節해야함을 알 수 있다. 특히 負荷임피던스가 誘導性인 경우 一般적으로 보다 効果인 整合特性을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

3. 實驗結果 및 檢討結論

測定은  $b/a=3$ 인 경우에 대해서 스트립의 幅이나, 特性임피던스가 線形的變化로 하는 길이가 각각 1.5



(a) Linear width taper



(b) Linear impedance taper

그림 4. 테이퍼된 마이크로스트립

Fig. 4. Linear width and impedance tapered microstrip

4.5, 6.0cm인 마이크로스트립을 製作하여 1.8~4.0GHz인 周波數範圍에서 스트립의 均一線路部分上의 定在波를 直接 測定하였다. 길이가 4.5cm인 경우의 스트립의 디멘존은 그림 4와 같다. 測定에 스트립線路를 使用하지 않은 것은 스트립과 스트립線路를 連結하는 콘넥터 및 코넥터-마이크로스트립의 連結部位에서의 影響을 極小化하기 위한 것이다. 이때 프로우브에 의한 電磁界의 攪亂은 거의 무시할 수가 있었다.

實驗에 使用한 素子 및 實驗裝置는 다음과 같다.

信號發生器 : 1.8~4.2GHz Hp製

定在波測定器 : 60dB, Hp製

마이크로스트립의 基板 : Epoxy Fibre基板으로 比誘電率의 測定數値는  $\epsilon_r=4.2$

特性임피던스 50ohm일때의 實效比誘電率 $\epsilon_{re}=3.45$

마이크로스트립의 均一部分의 特性임피던스 즉  $K(0)=50ohm$ 로서 이 部分의 마이크로스트립의 幅은 2.7mm이다.

基板의 誘電體의 두께 : 1.55mm

스트립 導體의 두께 : 0.05mm

負荷 : Carbon film sheet (英 Morgan社製)를 出力端의 上下導體사이에 Silver 페이스트로 附着燒成하고 直流抵抗値가 16.5ohm가 되도록 하였다. 이 方法으로 50ohm負荷를 製作하여 特性임피던스가 50ohm인 마이크로스트립과 連結할때 VSRW은

1.8~4.0GHz에서 大略 1.1以下였다.

特性임피던스를 線形的으로 變化시키기 위한 마이크로스트립은 그림4(B)와 같이 幅이 線形的으로 變化하는 2個의 스트립을 連結하여 만들었다. 이때 스트립의 임피던스變化는 線形變化和 약간의 差異가 있

으나 그 差異는 1%以內가 된다.

實測結果는 그림 5와 같으며 理論値와 比較할때 多少의 差異를 나타내고 있다. 이 差異의 主要原因으로 는 첫째 線路의 테이퍼部分의 實効誘電率이 스트립의 幅이 一定하지 않기 때문에 스트립의 位置에 따라서

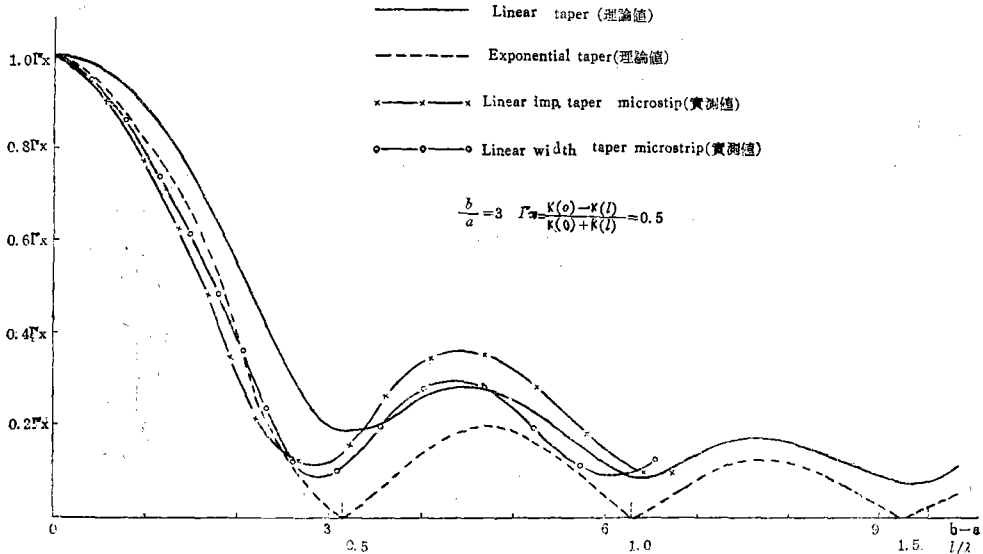


그림 5. 不均一 마이크로스트립의 整合特性

Fig. 5. Impedance matching characteristics of non-uniform microstrip

相異하며 특히 特性임피던스를 線形的으로 變化하게 한 경우에는 테이퍼變化가 다른 스트립의 連結部分에서 스트립幅의 幅이 급격히 變化하기 때문에 實効誘電率의 變化가 큰 點을 들 수 있다. 그밖에 線路의 損失, 輻射, 高姿態모우드의 影響, 스트립線路의 디멘존의 不正確, 測定誤差等을 들 수 있으며 定量的으로 分析하지는 못하였다. 그 가운데서 反射係數의 크기가 最小가 되는 周波數의 差異는 理論値에 있어서는 마이크로스트립의 均一部分의 實効誘電率의 值를 使用한데 기인한 것으로 해석된다. 實驗結果는 마이크로스트립의 幅이 線形的으로 變化하는 경우의 整合特性은 特性임피던스가 線形的變화를 하는 경우와 對數形變화를 하는 경우와의 中間의 特性을 나타낼을 알 수 있다.

4. 結 論

特性임피던스 또는 線路의 幅이 線形的으로 變化하는 마이크로스트립의 임피던스整合特性은 對數形 테이퍼線路의 경우보다 廣帶域整合特性을 나타낼을 알 수 있다. 따라서 이러한 마이크로스트립은 方向性結合器, 濾波器의 帶域特性을 改善하는데 利用될 可能性이 있을 것으로 생각된다. 특히 임피던스整合特性과 製

作이 容易한 點을 고려할때 線路의 幅이 線形的으로 變化하는 것이 實用的인 것으로 생각된다. 이러한 마이크로스트립을 利用한 回路素子를 構成하기 위해서는 高姿態모우드, 損失, 實効誘電率의 變化等을 고려한 線路特性의 正確한 解析이 要求되므로 앞으로 이 問題에 대한 研究가 이루어져야할 것으로 생각된다.

끝으로 本研究를 行함에 있어서 實驗에 대해서 많은 수고를 해준 張益洙先生에게 깊은 感謝를 드리며 本論文의 數值計算은 서울工大의 電子計算組織 IBM-1130을 利用하였음을 附記한다.

參 考 文 獻

1. O.P.Rustogi "Linearly tapered transmission line and its application in microwaves" IEEE Trans. (corresp.) Vol. MTT-17, No. 3, pp 166-168, Manch, 1969.
2. S.C.Duttu Roy "Matrix parameters of non-uniform transmission lines" IEEE Trans. Vol. CT-12 (corresp.) pp. 142-143, March, 1965.