

التصميم الأفضل لمفرد قدرة ميكروي متعدد المقاطع من المرتبة (n) حاسوبياً

د. رضوان دندة*

(قبل للنشر في 2000/8/7)

□ الملخص □

يهدف البحث إلى تصميم أفضل، من خلال برنامج حاسوبي، لمفرد قدرة ميكروي من المرتبة n، مع إجراء التجارب الضرورية لقياس العزل بين الفروع لمفرعة ثلاثية . قياس نسبة الأمواج المستقرة ، و الخواص الترددية، عند اعتباره مكافئاً ثنائي الفروع، الذي فيه الفرع الثالث محمل بدليل موجة ذي ممانعة قدرها $2Z_0$. يساعد البرنامج في تحديد الممانعات $Z(X)$ ، وقيم $R(X)$ على طول النواقل الشرائحية المستخدمة في تنفيذ مفرد قدرة ميكروية، يعمل في المجال (L,S) الترددي الراديوي .

*مدرس في قسم الهندسة الالكترونية . كلية الهندسة الميكانيكية الكهربائية . جامعة تشرين . اللاذقية . سوريا

The Optimal Design of Power Microwave Divider by a Computer for N – Degree

Dr. Radwan Dandeh*

(Accepted 7/8/2000)

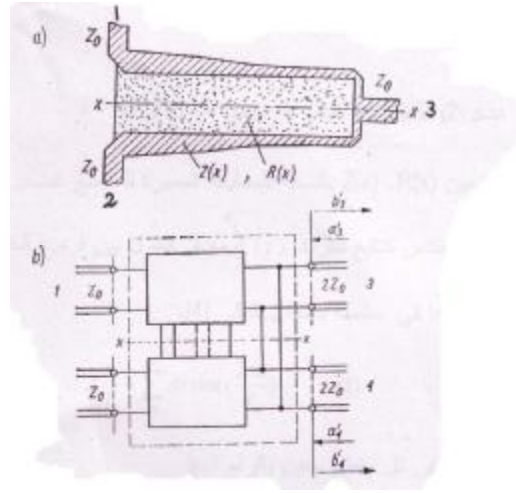
□ ABSTRACT □

The main object of this work is to perform an optimal design of a power microwave divider of n – degree using a computer program, for the measurement of the isolation between three used ports measuring the standing wave ratio, and frequency characteristics considering the microwave divider is equivalent to bi-branch while the third branch is loaded by a wave of characteristic impedance ($2z_0$). This program helps to determine the $Z(x)$ impedance and $R(x)$ along microstrip lines which are used in (L.S) radio frequency band.

*lecturer at Department of Electronic Engineering. F. M. E. E. Tishreen University, Lattakia, Syria

البحث في تحليل لمفرد قدرة ميكروي:

إن مفرد القدرة يعني بالضرورة وجود فرع مغذٍ جامع للقدرة (Summing) ،ينفذ بقطع من خطوط شرائحية (microstrip). ويتم تصميم مفرد قدرة ميكروي ثلاثي الفروع متناظر ، من خلال تحليل خطوط شرائحية غير متجانسة /ثنائية الأقطاب port، لتعمل كمحولات ممانعة عريضة المجال لتأمين التلاؤم [1، 2، 3]. يظهر الشكل (1,a) مفرد قدرة ميكروي غير متجانس ،يتم تحليله كخط ذي ثوابت موزعة، لمعرفة خواص العزل الترددية. حيث يعتبر مفرد القدرة الميكروي دائرة متناظرة بالنسبة للمستوي الأفقي (x-x) ،كما في الشكل (1,b).



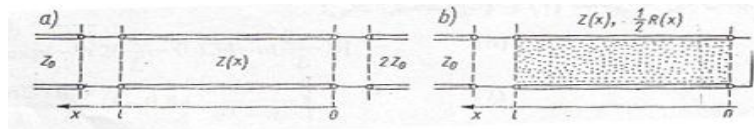
الشكل (1,a) مفرد قدرة ميكروي غير متجانس، الشكل (1,b) الدارة الكهربائية المكافئة

يساعد في تحليل مفرد القدرة الميكروي كونه يعمل في النمط الزوجي (even mode ++)، أو النمط الفردي (odd mode - -) ،ويظهر الشكل (2) المخطط الكهربائي المستخدم في هذا التحليل كثنائي المآخذ (رباعي الأقطاب). تعتمد معرفة عمل مفرد القدرة الميكروي في المجال الترددي المدروس، لتعيين حالة توافق الدخل (matching) ، ووجود العزل الكبير بين مخارج القدرة، على معرفة التوابع $Z(x)$ ، $R(x)$ على طول الناقل الشرائحي (L).

حيث L . الطول الهندسي لمفرد القدرة الميكروي

$R(X)$. المقاومة الموجودة بين مقاطع المفرد

$Z(X)$. الممانعة لكل مقطع من مقاطع المفرد



الشكل (2) خواص ثنائي الأقطاب (a) في حالة ++ (b) في حالة - -

تحدد معرفة التابعين $Z(x)$ ، $R(x)$ بالنسبة للممانعة المميزة للمقاطع غير المتجانسة خواص الموافقة، وعامل الانعكاس كتابع للتردد $G(f)$ ، ومقدار العزل بين فروع الخرج، حيث يمكن التعبير عن $z(x)$ بنشرها في سلسلة بالشكل التالي [4].

$$z(x) = 2Z_0 \exp\left[-\ln 2 \left(\frac{x}{L} + \sum_{i=1}^n A_i \sin\left(i \frac{2\pi x}{L}\right)\right)\right] \quad (1)$$

حيث A_i ثوابت المطالات في كل مقطع معين بالرقم i

ويعطى تابع عامل الانعكاس الموضعي في كل نقطة من الناقل الشرائحي كما يلي [4]:

$$N(x) = \frac{1}{2} \frac{d}{dx} [\ln(z(x))] \quad (2)$$

والذي يأخذ الصيغة العامة:

$$N(x) = \frac{-\ln 2}{2L} [1 + 2p \sum_{i=1}^n A_i \cos(i \frac{2px}{L})] \quad (3)$$

يحدد معامل الانعكاس على مدخل الخط كتابع لزاوية الطور θ لعامل الانعكاس بالعلاقة [4]:

$$S_{11}^{++}(q) = e^{-j2q} [G(q) - \int_0^L N(x) e^{-j2Bx} dx] \quad (4)$$

حيث $S_{11}^{++}(q)$ معامل الانعكاس على مدخل المقطع

$G(q)$ معامل الانعكاس الكلي

وبإجراء التعديلات اللازمة، وعند جعل $q = BL$ ، $B = \frac{2p}{l}$ ، نجد أن $G(x) = 0 = 0$ ، نجد أن:

$$S_{11}^{++}(q) = e^{-j2q} \frac{\ln 2}{2} \frac{\sin q}{q} (1 + 2p \sum_{i=1}^n A_i \frac{iq^2}{q^2 - (ip)^2}) \quad (5)$$

وبوضع الشروط الحدية اللازمة من أجل مقطع $n = 1$ ، والمعامل $A_1 = -0.134$ وبالتعويض في العلاقات (1)

و(5)، نحصل على:

$$Z(x) = 2Z_0 \exp[-\ln 2 (\frac{X}{L} - 0.134 \sin(\frac{2px}{L}))] \quad (6)$$

$$|S_{11}^{++}(q)| = \left| \frac{\ln 2}{2} \frac{\sin q}{q} (1 - 0.842 \frac{q^2}{q^2 - p^2}) \right| \quad (7)$$

القياسات التجريبية:

بالاستفادة من التحليل الرياضي السابق، فإن معامل الانعكاس G_{in} الفعلي في منطقة وصل الخطوط الشرائحية، يختلف

قليلاً عن المعامل $|S_{11}^{++}(0)|$ ، مما لا يؤثر في امتداد العزل $I(q)$ بين مآخذ خرج المرفّع الميكروي.

حيث إن $I(\theta)$ هو مقدار العزل بين فوهات خرج المرفّع مقدراً بـ dB ، ويعين بالعلاقة [4]:

$$I(q) = 20 \lg \frac{1}{|S_{11}^{++}(q)|} = 20 \lg \frac{2}{|S_{11}^{++}(q) - G_{in}(0)|} \quad (8)$$

حيث أن

$$G_{in}(q) = S_{11}^{++} + \frac{S_{12}^{++} S_{21}^{++} (-1)}{1 - S_{22}^{++} (-1)} \gg S_{11}^{++} - (S_{12}^{++})^2 \quad (9)$$

باعتبار $1 \gg S_{22}^{++} (-1)$

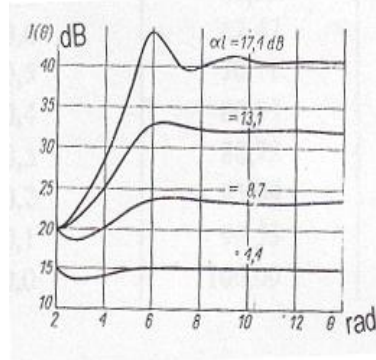
$$S_{12}^{++} = e^{-g} \frac{\ln \operatorname{sh} gL}{2} \frac{gL}{gL} [1 - 0.842 \frac{(gL)^2}{gL} [1 - 0.842 \frac{(gL)^2}{(gL)^2 + p^2}]] \quad (10)$$

$$S_{12}^{++} = e^{-g}, g(x) = a(x) + jB(x), a(x) @G(x)z(x) = \frac{2Z(x)}{R(x)} \quad (11)$$

وتمثل البرامترات S_{11}^{++} S_{22}^{++} S_{12}^{++} S_{21}^{++} خواص معاملات ماتريس الانتثار، على كل مقطع من مقاطع المرفّع

الميكروي.

وباعتماد العلاقات السابقة، يمكن رسم مقدار العزل $I(\theta)$ وتحديدده بين مأخذ المفرّع الميكروي (aL) ، حيث $=const$ وهو ثابت التخامد على طول مقطع المفرّع الميكروي، كما يظهره الشكل (3) وبالاستفادة من المرجعين [5، 6] والذين تمّ تحقيقهما مخبرياً لدى تصميم نظام (QAM) ميكروي (Quadrat Amplitude Modulation).



الشكل (3) خواص العزل لمفرّع قدرة غير متجانس

يسمح الشكل السابق بتحديد خواص العزل الموافقة للشرط $(Iq \min)$ ، والتي تستخدم كمعيار جيد لمعرفة التابع الحقيقي $R(x)$ [6]. من الناحية العملية تم تنفيذ المفرّع الميكروي بمقاطع نقل شرائحية غير متناظرة، باستخدام مادة الزجاج الليفي كعازل (fiber glass)، وله معامل نفوذية كهربائية نسبية (ثابت عزل كهربائي) قدره $\epsilon_r = 4.23$ ، والسماكة $h=2m$ ، كما اعتبرت القيم التالية الأكثر شيوعاً للمتطلبات.

$$f = 0.8GHz, VSWR_{\max} \leq 1.2$$

$$I(q) \min \approx 20dB, Z_0 = 50W$$

حيث يتم عند ذلك:

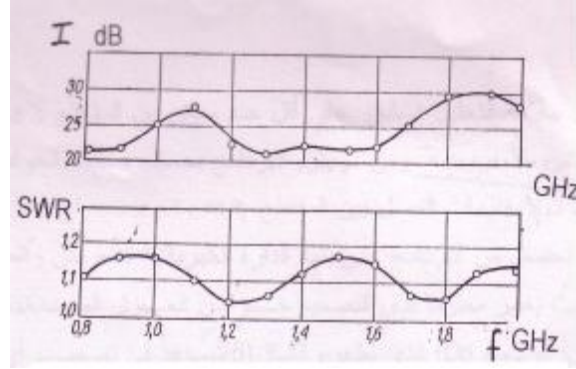
$$Z(x) = 100 \exp[- \ln 2 \left(\frac{x}{L} - 0.134 \sin\left(\frac{2\pi x}{L}\right) \right)] \quad (12)$$

L - الطول الهندسي لمفرّع القدرة الميكروي.

والنتيجة العملية من المنحنيات السابقة أن شرط العزل $I(q) > 20dB$ محقق من أجل $aL = 8.7dB$ ، حيث $a = 75.65dB/m$ ، والمفرّع الذي تمّ إنجازه، فإن قيم المقاومات وممانعة الخط يظهره الجدول (1). أكدت القياسات التجريبية في المجال الترددي المطلوب صحة النتائج النظرية والمخبرية، التي تمّ قياسها لكامل العزل ونسبة الأمواج المستقرة في المجال الترددي (L, S) ، والذي يظهره الشكل (4).

الجدول (1) قيم المعلومات والممانعة $Z(x)$ على طول المفرّع الميكروي

x/l	$Z(x)$ Ω	$R(x)$ Ω
1,0	50,00	152
0,9	50,74	154
0,8	52,58	160
0,7	56,35	171
0,6	62,47	190
0,5	70,71	216
0,4	80,03	243
0,3	88,72	269
0,2	95,09	289
0,1	98,53	299
0,0	100,00	—



الشكل (4) يظهر خواص العزل ونسبة الأمواج المستقرة لمفزع قدره ميكروي.

تنفيذ الدارة وخوارزمية البرنامج المستخدم:

يستخدم البرنامج (DP) المنفذ من أجل تصميم قدرة ميكروي في تقنية النواقل الشرائحية. والذي نضع في ذاكرة الحاسوب المعلومات التالية:

Z_0 . الممانعة المميزة لخط الحمل في W .

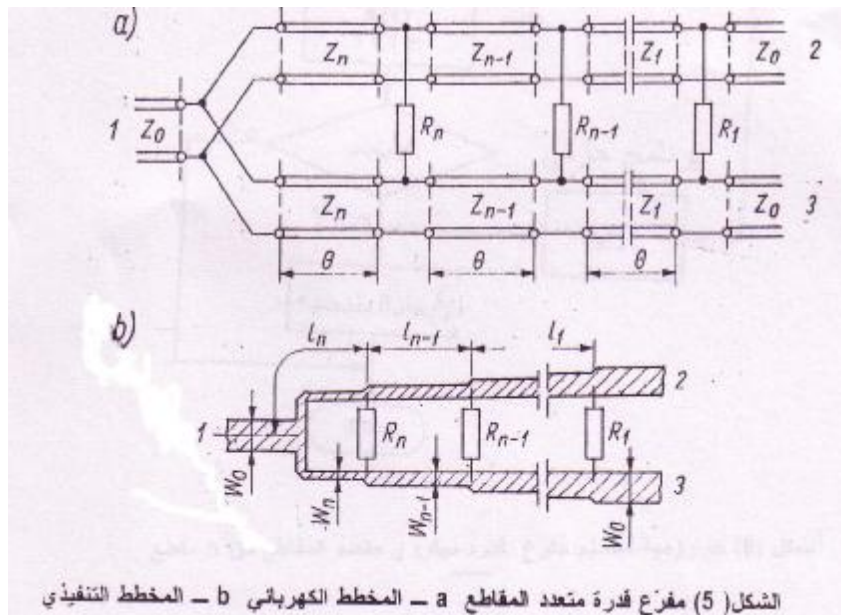
F_0 . التردد الوسطي لعرض الحزمة في Hz .

W . عرض حزم النقل النسبية (w £ 1.2)

$(VSWR)_{max}$. نسبة الأمواج المستقرة الأعظمية.

وبعد ذلك، يختار الحاسوب أقل عدد للمقاطع الممكنة من النواقل الشرائحية، وتحديد أطوال هذه المقاطع التي يتم تصميم المفزع وفقها.

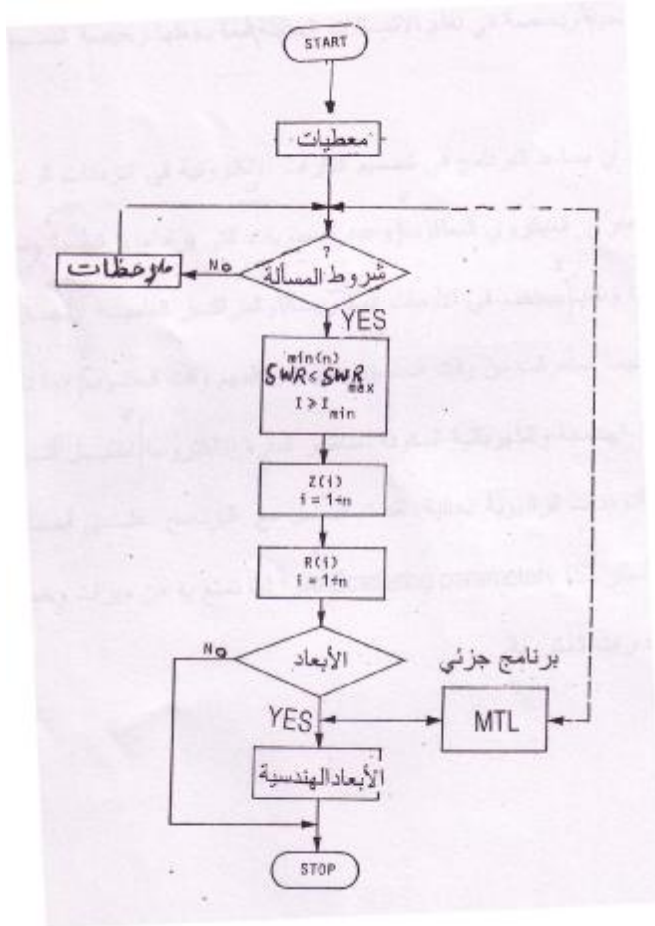
كما أنّ البرنامج يساعد في تحليل خواص مفزع قدرة ميكروي متعدد المقاطع، والذي تظهره الأشكال (5) و [8]، [7] كما أن هذه الحالة يمكن تعميمها من أجل N مقطع؛ أي أننا نحتاج إلى $N-1$ مفزع للحصول على N خرج، وذلك بتكرار حالة المفزع الثلاثي.



الشكل (5) مفزع قدرة متعدد المقاطع a - المخطط الكهربائي b - المخطط التنفيذي

ونحصل بنتيجة التحليل السابق على أقل عدد ممكن من المقاطع $2^3 n$ لمفّرَع قدرة ميكروي، يحقق شروطاً مفروضة. ومن ثم يقوم البرنامج بحساب ممانعة الخواص لكل مقطع من مقاطع الخط Z_i ، ومقاومات الفصل بين المقاطع R_i ($i = 1, n$).

وعندما نحصل من البرنامج على بنية الدارة الكهربائية كالعرض والطول الهندسي لمقاطع الخط، حيث يعتبر معلوماً لدى التصميم خواص العازل المستخدم، فإن مخطط (خوارزمية عمل البرنامج **Dp**) الذي يظهره الشكل (6)، يساعد في تصميم أي مفّرَع قدرة ميكروي شرائحي متعدد المقاطع من المرتبة n .



الشكل (6) خوارزمية تصميم مفّرَع قدرة ميكروي متعدد المقاطع من n مقطع

الاستنتاجات والمقترحات:

من الممكن بسهولة استخدام البرنامج لأغراض مختلفة، ليس فقط لإنجاز مفّرَعات القدرة الميكروية التي تعمل كمحولات ممانعة عريضة المجال، وإنما أيضاً لتصميم الخطوط الشرائحية التي تستخدم في تصميم الدارات الميكروية بواسطة الحاسوب، وباستخدام تقنية النواقل الشرائحية، وبخاصة في نظم الاتصالات الحديثة، مما يجعلها رخيصة الثمن، وخفيفة الوزن.

يمكن أن يساعد البرنامج في تصميم الدارات الإلكترونية في الترددات الراديوية، مهما تكن درجة المفّرَع الميكروي المطلوب، وعدد المستويات التي يراد منها التقسيم، مما يجعله برنامجاً علمياً وتقنياً، يستخدم في الأبحاث المخبرية والمراكز العلمية لإنجاز الدارات الإلكترونية، مهما استغرقت من وقت الحاسوب. إذ ليس المهم وقت الحاسوب، إنما دقة العمل، وتقانة الأبعاد الهندسية والكهربائية المكونة لعناصر الدارة الإلكترونية، لتقليل أثر الساعات الطفيلية في الترددات الراديوية العالية. لقد تم التعامل مع البرنامج على أساس معامل (الثوابت) الانتثار **(S) Scattering parameters**، نظراً لما تمتع به من ميزات وخصائص في تحديد أداء الدارات الميكروية.

المراجع:

-
1. د. وليد حبال. هندسة الأمواج الميكروية منشورات جامعة حلب. 1981.
 2. د. شحادة موسى. هندسة الأمواج المكروية. منشورات جامعة دمشق. 1999.
 3. د. شحادة موسى. التصميم الأمثلي لدارات الأمواج الميكروية باتتباع استراتيجية الارتقاء. مجلة باسل الأسد للعلوم الهندسية. العدد (11) 1999.
 - 4 – Petera. R.” Microwave Engineering Passive Circuits”. Hall international Editions, 1988.
 - 5 – Wilkinson E. J: “An n – way hybrid power dividier.” IRE trans microwave theory teach. MTT. 8, January 1990. S – 116 – 118.
 - 6 – Kirschning M., Janen R. H: “Accurate wide – range design equation for the frequency – dependent charracteristic of parallel coupled microstrip lines”. IEEE trans. Microwave theory tech. MTT – 33. March 1985. S. 288.
 - 7 – Himmelblau D. M: “Applied nolinear programming; “Mcgraw Hill, New york, texas. 1972, 1996.
 - 8 – Rostoniecs. D: “A computer algorithm for automatic design of R – Transformers”. A rchir fur Electronik. Jul / Aug. 1997. S. 193 – 197.