نموذج جديد من أجل حساب تردد الرنين للهوائي المطبوع الدائري الشكل بوجود طبقة هواء وبعدم وجودها

الدكتور فريز عبود[١]

الملخص

نقدم نموذجاً جديداً من أجل حساب تردد الرنين للهوائي المطبوع الدائري الشكل بوجود فجوة هواء بين القاعدة و الأرضي وبعدم وجودها.

على خلاف النماذج السابقة، هذا النموذج له تطبيقات واسعة على كل أقطار الهوائيات بدءاً من الكبيرة وانتهاء بالصغيرة، مقارنة مع سماكة الطبقة العازلة في أسفل الهوائي وأيضاً على كل القواعد التي تغطي مجال ثابت العازلية.

وقد قورنت القيم المحسوبة من أجل الأبعاد المختلفة للهوائي ولأنماط الرنين مع القيم المقاسة حيث لوحظ التوافق التام بينهما.

[١] كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة دمشق.

١. مقدمة :

اقترح العالمان Dahele and Lee حديثاً إدخال طبقة هواء إلى الهوائي المطبوع الدائري الشكل كما هو مبين في الشكل (١) كهوائي مطبوع عريض المجال قابل للتوليف [١-٢]. إن هذا الهوائي الدائري القابل للضبط، بوجود طبقة هواء بين القاعدة العازلة والأرض، لاقى الاهتمام الكبير في السنوات الأخيرة في مختلف تطبيقات الهوائي [٣-٤].

كما أن للهوائي المطبوع الدائري الشكل التقليدي دون وجود طبقة هواء(الشكل(١) مع $H_A = 0$) أهمية كبرى في تطبيق تقانات جديدة بهدف تحسين خواص الهوائي[5].

وقد طورت نماذج تحليلية من أجل حساب تردد الرنين، ممانعة الدخل للهوائي المطبوع الدائري الشكل بوجود طبقة هواء وبعدم وجودها [٦] واستخدمت في تصميم بعض الأجهزة التي تحتوي بداخلها الهوائي المطبوع [٣].

إن المعادلات المستخدمة في الأعمال السابقة [٦-٧-٨] أدخلت نتائج محسنة تصلح من أجل محددات الهوائي $\frac{a}{H_T} > 2$ و $\varepsilon_r < 10$ حيث $H_T = H_D + H_A$. في هذا البحث نقترح تحسينات للمعادلات بهدف حساب تردد الرنين بشكل دقيق ومطابق للقيم النظرية المحسوبة لتردد الرنين من أجل أي قيمة لـ a/H_T للهوائي المطبوع ومغطياً كامل مجال ثوابت العازلية.

إن الدراسة النظرية التي ثبتت صحتها قورنت مع نتائج مقاسة صالحة متوافرة في المجلات العلمية من أجل الهوائيات متعددة الأقطار ($a/H_T > 2$) و ارتفاعات فجوة الهواء تحت القاعدة. وقد كانت القيم النظرية قريبة جداً من القيم المقاسة، كما درسنا الحالات التي يكون فيها $a/H_T < 2$ و لقيم لـ ε_r بين ١-١٥.

٢. الدراسة النظرية :

إن نموذج الفجوة الرنانة للهوائي المطبوع الدائري الشكل أعطي بواسطة Watkins[٩] وعدل بواسطة Wolff and Knoppik[٧] اللذين أدخلا أثر الحقول المتهدبة في شـكل سعة إلى الهوائي وأيضاً بإدخال مفهوم ثابت العازلية الديناميكي $\varepsilon_{r,dyn}$ المعرف مـن البحثين[٣-٤]. إن البحث الأخير ومن خلال النتائج التي حصل عليها بواسطة[٨] Chew and Kong من أجل الحقول المتهدبة لسعة الهوائي المطبوع الدائري الشكل تم تطبيقها في البحث [٦] لحساب تردد الرنين للأنماط TM للهوائي المطبوع الـدائري بوجـود فجوة هواء وبعدم وجودها.

إن أثر فجوة الهواء تحت القاعدة, المبينة بالشكل (١) ,أخذ بالحسبان بواسـطة ثابـت العازلية المكافئ للوسط تحت الهوائي المطبوع الدائري بالمرجع[٦] المعادلة١.

$$\varepsilon_{re} = \frac{\varepsilon_r (H_D + H_A)}{(H_D + H_A \cdot \varepsilon_r)} \qquad (١)$$

حيث ε_r ثابت العازلية النسبي للقاعدة العازلة. من أجل الهوائي المطبـوع الـدائري الشكل دون فجوة هواء, $H_A/H_D = 0$ ومن ثَم $\varepsilon_{re} = \varepsilon_r$.

٣. الدراسة التحليلية:

بعد النموذج التحليلي لـ Wolff and Knoppik[٧], عرضت صيغة محسـنة وذلـك بإدخال ثابت عازلية فعال جديد $\varepsilon_{r,eff}$ عوضاً عن ثابت العازلية الـديناميكي $\varepsilon_{r,dyn}$ [٧,eq ١٨] بالنسبة للوسط تحت الهوائي من أجل حسـاب تـردد الـرنين للهـوائي المطبوع الدائري الشكل كما يأتي:

$$f_{r,nm} = \frac{\alpha_{nm} \cdot c}{2\pi \cdot a_{eff} \cdot \sqrt{\varepsilon_{r,eff}}} \qquad (٢)$$

حيث: $\alpha_{n,m}$ هو الجذر الذي رتبته m لتابع بيسل $j_n(x)$. والتي قيمها ($\alpha_{31} = 4.201$, $\alpha_{21} = 3.054$, $\alpha_{11} = 1.841$, $\alpha_{01} = 3.832$) تحدد النمط الأدنى TM_{110} , والأنماط العليا مثل TM_{210} , TM_{010} , TM_{310}.

c سرعة الضوء في الخلاء.

a_{eff} نصف القطر الفعال للهوائي المطبوع الدائري الشكل المعرف من خلال المعادلة (١٧).و $\varepsilon_{r,eff}$ يعرف كما يأتي :

$$\varepsilon_{r,eff} = \frac{4\varepsilon_{re} \cdot \varepsilon_{r,dyn}}{(\sqrt{\varepsilon_{re}} + \sqrt{\varepsilon_{r,dyn}})^2} \qquad (٣)$$

إن الحد $\varepsilon_{r,eff}$ أدخل للأخذ بالحسبان أثر ε_{re} ثابت العازلية المكافئ للوسط تحت الهوائي بالإضافة إلى ثابت العازلية الديناميكي $\varepsilon_{r,dyn}$ (٧) المتضمن أثر الحقول المتهدبة في أطراف الهوائي وذلك لتحسين النموذج. $\varepsilon_{r,eff}$ استنتجت كما في المعادلة (٣) للحصول على تردد الرنين على نحو متناسب مع الترددات الناتجة من المعادلة (٢) وذلك باستبدال ε_{re} و $\varepsilon_{r,dyn}$ بشكل منفصل مكان $\varepsilon_{r,eff}$.

إن تقييم ε_{re} يكون دقيقاً كما هو معطى بالمعادلة (١), وإن $\varepsilon_{r,dyn}$ يكون تابعاً للسعة الستاتيكية الأساسية للمكثف المشكل بالعنصر المشع و الأرضي والسعة الستاتيكية المعزاة لأثر الحقول المتهدبة للهوائي المطبوع ولنمط الرنين كما هو معطى بالعلاقة:

$$\varepsilon_{r,dyn} = \frac{C_{dyn}(\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_{re})}{C_{dyn}(\varepsilon = \varepsilon_0)} \qquad (٤)$$

حيث: C_{dyn} هي السعة الديناميكية الكلية المعرفة كما يأتي:

$$C_{dyn} = C_{0,dyn} + C_{e,dyn} \qquad (٥)$$

$C_{0,dyn}$ السعة الديناميكية الأساسية المحسوبة بدءاً من السعة الستاتيكية[٧] $C_{0,stat}$ لمختلف الأنماط كما يأتي:

$$C_{0,dyn} = \gamma_n C_{0,stat} \qquad (٦)$$

$\gamma_n = 1.0$ من أجل n=٠

$\gamma_n = 0.3525$ من أجل n=١

$\gamma_n = 0.2865$ من أجل n=٢

$\gamma_n = 0.2450$ من أجل n=٣

$C_{e,dyn}$ السعة الديناميكية[٧] " المتهدبة ", وتعطى بالعلاقة :

$$C_{e,dyn} = \frac{1}{\delta} C_{e,stat} \qquad (٧)$$

حيث: $\delta = 1$ من أجل n=٠

$\delta = 2$ من أجل n#٠

بمقارنة العلاقة الحديثة من أجل السعة الستاتيكية للهوائي المطبوع التي حصل عليها بواسطة wheeler[١٠] والتي طبقت لحساب $C_{0,stat}$, $C_{e,stat}$ حيث إن النتائج تحسنت تحسناً كبيراً بالنسبة للدراسات السابقة [٧],[٨],[١١],[١٢] ولها تطبيق واسع على كل قيم ثابت العازلية ولكل قيم النسبة a/H_T للهوائي. وإن تعبير السعة المعطى بواسطة wheeler[١٠,eq١٥] يمكن أن يكتب بشكل ضمني كما هو مبين بالمعادلة (٨):

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_{re} \pi \quad a^2}{H_T}(1+q) \qquad (٨)$$

حيث: a نصف القطر الفيزيائي للهوائي المطبوع و:

$$q = u + v + uv \qquad (٩)$$

$$u = \frac{1+\varepsilon_{re}}{\varepsilon_{re}} \cdot \frac{4}{\pi \, a/H_T} \qquad (١٠)$$

$$v = \frac{2}{3t} \cdot \frac{\ln(p)}{8+\pi \, a/H_T} + \frac{1/t - 1}{g} \qquad (١١)$$

$$t = 0.37 + 0.63\varepsilon_{re} \qquad (١٢)$$

$$P = \frac{1+0.8(a/H_T)^2 + (0.31a/H_T)^4}{1+0.9\,a/H_T} \qquad (١٣)$$

$$g = 4 + 2.6\,a/H_T + 2.9\,H_T/a \qquad (١٤)$$

في المعادلة (٨) الحد الأول يساوي السعة الستاتيكية الأساسية $C_{0,stat}$ والحد q ينشأ نتيجة الحقول المتهدبة على أطراف الهوائي المطبوع الدائري الشكل. إن السعة الستاتيكية الناتجة عن الحقول المتهدبة $C_{e,stat}$ تعرف كما يأتي:

$$C_{e,stat} = C_{0,stat}(\varepsilon) \cdot q \qquad (١٥)$$

حيث:

$$C_{0,stat}(\varepsilon) = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_{re} \pi \cdot a^2}{H_T} \qquad (١٦)$$

إن المعادلة (٨) تعرف أيضاً نصف القطر الفعال للهوائي الدائري المطبوع كما يلي:

$$a_{eff} = a \cdot \sqrt{(1+q)} \qquad (١٧)$$

٤. النتائج الحسابية:

قورنت القيم المحسوبة مع القيم المقاسة المتوافرة من خلال مجموعة الأعمال المنشورة سابقاً وذلك من أجل بعض الهوائيات.

الشكل ٢ يبين تبعية العامل q للحقول المتهدبة على حافات السعة للهـوائي المطبـوع تبعاً للعامل a/H_T من أجل قيمتين لـ ε_{re}. يتبين من المنحني أن الحقل المتهدب هو تابع مهم لثابت العازلية للقاعدة العازلـة وللعامـل a/H_T وبشـكل خـاص عنـدما $a/H_T < 3$.

الشـكل ٣ يبـين القـيم المحسـوبة لـ ـ $\varepsilon_{r,eff}$ و $\varepsilon_{r,dyn}$ كتـابع لأبعـاد الهـوائي المطبوع a/H_T مع ε_{re} كعامل متغير.

إن القيمة $\varepsilon_{r,eff}$, تصبح مطابقة لـ $\varepsilon_{r,dyn}$ عند كثير من القيم لـ ـ a/H_T وتختلـف بشكل واضح كلما صغرت النسبة a/H_T.

إن قيم ترددات الرنين المحسوبة من أجل بعض الهوائيات المطبوعة الدائرية الشـكل دون وجود طبقة هواء مبينة بالجدول I وقورنت مع بعض القيم المقاسة والمحسـوبة سابقاً. تبين أن القيم الحالية المحسوبة تتطابق أكثر مع القيم المقاسة[١٣].

الجدول II يقارن ترددات الرنين المحسوبة والمقاسة من أجل النمط الرئيسي واثنـين من الأنماط العليا للهوائي المطبوع الدائري الشكل بوجود فجوة هواء وذلك من أجـل ثلاث قيم لسماكات هذه الطبقة. إن الدراسة الحالية تظهر توافقاً أكبر مع القيم المقاسة من أجل كل الأنماط الثلاثة.

الجدول III يظهر بعض قيم الترددات المحسوبة والمقاسة للنمط الرئيسي عندما تحقق أبعاد الهوائي المطبوع الدائري الشكل الشرط $a/H_T < 2$ أي عندما يصبح الهـوائي المطبوع الدائري الشكل ذو قاعدة سميكة كهربائياً.

٥. النتيجـة:

طورنا نموذجاً تحليلياً دقيقاً يعتمد على نموذج الفجوة الرنانة للهوائي المطبوع الدائري الشكل المغذى بواسطة مجس محوري بوجود طبقة هواء وبعدم وجودها مـن أجـل حساب تردد الرنين. إن الصيغة الحالية تتغلب على الصعوبات الموجودة في النمـاذج

السابقة ويتوقع تردد رنين من أجل الأقطار الصغيرة للهـوائي $a/H_T < 2$ وثوابـت عازلية مرتفعة للقواعد $(\varepsilon_r > 10)$ ومن ثم فهو سهل التطبيق على مجال واسع مـن أبعاد الهوائي بدءاً من القيم الكبيرة إلى القيم الصغيرة لـ ـ a/H_T المطبوعـة علـى قواعد تغطي كامل مجال ثوابت العازلية. إن هذه الدراسة تم التحقق منها مـع القـيم المقيسة في البحوث السابقة من أجل الأبعاد المختلفة للهوائي مع
$a/H_T > 2$, بوجود سماكات مختلفة لفجوة الهواء, ومن أجـل الأنمـاط المختلفـة للرنين.

References

[١] - LEE K.F., HO K.Y., DAHELE J.S.," Circular Disc Microstrip Antenna With an Air Gaps," IEEE Trans., vol.AP-٣٢,No.٨, pp.٨٨٠-٨٨٤, ١٩٨٤

[٢] - LEE K.F., HO K.Y., DAHELE J.S.," Theory and Experiment on Microstrip Antenna With Air Gaps," IEE proceeding , vol.١٣٢,pt.H, No.٧, pp.٤٥٥-٤٦٠, ١٩٨٥

[٣] – NAVARRO J.A., FUN L., CHANG K.," Active Integrated Stripline Circular Patch Antenna for Spatial Power Combining," IEEE Trans.,Vol.MTT-٤١,pp.١٨٥٦-١٨٦٣،١٩٩٣

[٤] – MONTIEL C.M., FUN L., CHANG K.," A Novel Active Antenna With Self-Mixing and Wideband Varactor-Tuning Capabilities for Communication and Vehicle Identification Applications," IEEE Trans., Vol.MTT-٤٤,pp.٢٤٢١-٢٤٣٠،١٩٩٦

[٥] – WONG K.L., JAN J.Y.," Broadband Circular Microstrip Antenna With Embedded Reactive Loading," Electron. Letters, Vol.٣٤, No.١٩, pp.١٨٠٤-١٨٠٥, ١٩٩٨

[٦] – ABBOUD F.," A New Model for Calculating the Input Impedance of Coax-Fed Microstrip Antennas With and Without Air Gaps," Damascus University Journal, Vol.١٤,No.١,pp.٨-٢٠،١٩٩٨

[٧] – WOLFF I., KNOPPIK N.," Rectangular and Circular Microstrip Disk Capacitors and Resonators," IEEE Trans., Vol.MTT-٢٢, No.١٠,pp.٨٥٧-٨٦٤،١٩٧٤

[٨] – CHEW W.C., KONG J.A.," Effects of Fringing Field on the Capacitance of Circular Microstrip Disk," IEEE Trans.,Vol.MTT-٢٨,No.٢,pp.٩٨-١٠٤،١٩٨٠

[٩] – WATKINS J.," Circular Resonant Structures in Microstrip ," Electron.Letters,Vol.٥,pp.٥٢٤-٥٢٥, ١٩٦٩

[١٠] – WHEELER H.A.," A Simple Formula for the Capacitance of a Disc on Dielectric on a Plane," IEEE Trans., Vol.MTT-٣٠,pp.٢٠٥٠-٢٠٥٤, ١٩٨٢

[١١] –Derneryd A.G.," Analysis of Microstrip Disc Antenna Element," IEEE Trans.,Vol.AP-٢٧, No. ٢٥, pp.٦٦٠-٦٦٤،١٩٧٩

[١٢] – LEONG M.S ET AL.," Determination of Circular Microstrip Disc by Noble's Varitional Method," IEEProceeding,Vol.١٢٨,pt.H,pp.٣٠٦-٣١٠, ١٩٨١

[١٣] – ITOH T., MITTRA R.," Analysis of Microstrip Dick Resonator," Arch.Eleck. Ubertragung,Vol.٢٧,No.١١,pp.٤٥٦-٤٥٨, ١٩٧٣

[١٤] – ABBOUD F.,DAMIANO J.P.,PAPIERNIK A," New Determination of Resonant Frequency of Circular Disk Microstrip Antenna: Application to Thick Substrate ," Electron. Letters, Vol.٢٤, No.١٧, pp.١١٠٤-١١٠٥, ١٩٨٨

الجدول ١ : القيم المحسوبة والمقاسة لتردد الرنين للنمط الرئيسي لهوائي مطبوع دائري الشكل دون فجوة هواء. H_D = ١,٥٨٧٥mm, H_A=٠mm, ε_r =٢,٦٥

a (mm)	القيم المحسوبة GHz				القيم المقيسة GHz[١٣]
	Abboud [٦]	Wolff[٧]	Derneryd[١١]	Our Model	
١١,٥	٤,٦٠٩	٤,٥٧٦	٤,٣٤١	٤,٣٩	٤,٤٢٥
١٠,٧	٤,٩٣٨	٤,٩٠٣	٤,٦٤٥	٤,٧٠	٤,٧٢٣
٩,٦	٥,٤٧٣	٥,٤٣٦	٥,١٤٣	٥,٢٠	٥,٢٢٤
٨,٢	٦,٣٤٦	٦,٣٠٧	٥,٩٥٦	٦,٠١	٦,٠٧٤
٧,٤	٦,٩٨١	٦,٩٤١	٦,٥٤٩	٦,٥٩٥	٦,٦٣٤

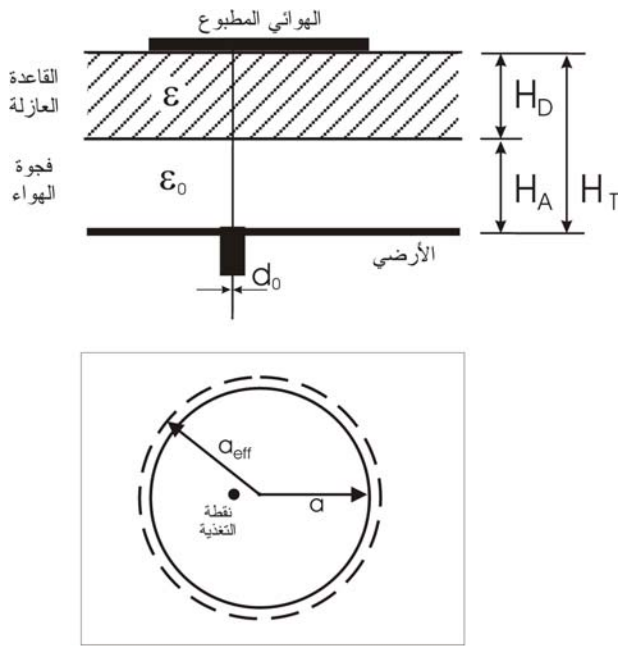
الجدول ٢ : القيم المحسوبة والمقاسة لتردد الرنين لهوائي مطبوع دائري الشكل بوجود فجوة هواء وبعدم وجودها. HD = ١,٥٩mm, εr =٢,٣٢ a = ٥٠mm,

سماكة فجوة الهواء H_A (mm)	النمط	القيم المحسوبة [MHz]		القيم المقيسة[٢] [MHz]
		Abboud [٦]	Our model	
٠	$TM_{١١}$	١١٥٣,٩	١١٣٠,٦	١١٢٨
	$TM_{٢١}$	١٩٢٧,٠	١٨٨١,٢	١٨٧٩
	$TM_{٣١}$	٢٦٦٥,٣	٢٥٩٤,١	٢٥٩٦
٠,٥	$TM_{١١}$	١٢٥٨,٩	١٢٧٤,٦	١٢٨٦
	$TM_{٢١}$	٢١٦٧,٠	٢١١٩,٧	٢١٣٦
	$TM_{٣١}$	٢٩٩٤,٩	٢٩٢١,٩	٢٩٥١
١,٠	$TM_{١١}$	١٣٦٨.o	١٣٤٤,٥	١٣٥٠
	$TM_{٢١}$	٢٢٨٠,٨	٢٢٣٥,٣	٢٢٥٦
	$TM_{٣١}$	٣١٥٠,٢	٣٠٨٠,٤	٣١٠٦

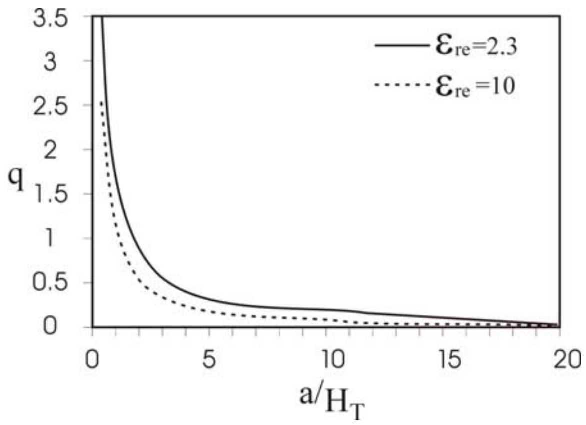
الجدول ٣ : القيم المحسوبة لتردد الرنين لهوائي مطبوع دائري الشكل بوجود وعدم وجود فجوة هواء

HD = ٠,٥٠٨mm, HA=١,٠٩٢mm, HT=١,٦mm , εr =٢,٢

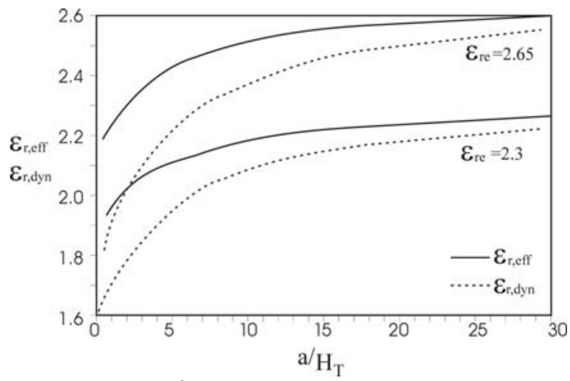
a (mm)	a / H_T	القيم المحسوبة GHz	القيم المقيسة GHz
٣	١,٨٧٥	١٨,٠٢	-
٧,٧	٣,٢٧٦	٤,٩٤	٤,٩٤٩
١٠,٤٠	٤,٤٢٥	٣,٧٤٦	٣,٧٥٠
٢٠	٨,٥١	٢,٠٠٦	٢,٠٠٣



الشكل (١) : مقطع عرضي لهوائي مطبوع دائري
الشكل بوجود فجوة هواء بين القاعدة العازلة والأرضي



الشكل (٢) : العامل q ممثلاً السعة الستاتيكية للحقول المتهدبة لهوائي دائري مطبوع مع أبعاده المنسوبة a / HT



الشكل (٣) : εr,eff و εr,dyn للوسط الذي أسفل الهوائي المطبوع الدائري الشكل مع أبعاده المنسوبة a / HT ولقيم مختلفة لـ εre

تاريخ ورود البحث إلى مجلة جامعة دمشق٢٠٠٤/١/٢١.