

أثر رطوبة طبقة تسرب المياه في الأبنية وعمقها في سعة كاشف رطوبة مطبوع على طبقة أساس

الدكتور معين يونس*

(تاريخ الإيداع 12 / 4 / 2011. قُبِلَ للنشر في 29 / 5 / 2011)

□ ملخص □

المكثفات المصنعة على شكل صفيحتين معدنيتين فوق طبقة من الأساس واقعتين في مستوٍ واحد تستعمل استعمالاً واسعاً في هندسة القياسات بوصفها مبدلات قياس أولية في مقاييس رطوبة الهواء و رطوبة المواد الصلبة عند الترددات العالية. الشكل المكثفي المدروس المراد استعماله كاشفاً لتسرب المياه مصنع على شكل دائرة مطبوعة مكونة من قطبين متماثلين في مستوٍ واحد يفصل بينهما فراغ متجانس ومتوضعة على طبقة أساس . تستعمل نظرية التخطيط التناظري (Conformal mapping) لحساب السعة C للوحين معدنيين يقعان في مستوٍ واحد (Two coplanar Plates) متوضعان فوق طبقات من مواد مختلفة الخواص الكهربائية (لها ثوابت عزل نسبية وناقليات نوعية مختلفة). وقد تم استعراض طريقة حساب السعة لمثل هذه المكثفات ذات الألواح محدودة الأبعاد. تمكنا الطريقة المدروسة من تطبيق معادلات التصميم للمكثفات المطبوعة مستطيلة الشكل، وذلك لحساب تغير السعة للشكل المدروس المستعمل كاشف رطوبة (Detector) عند تغير خواص الطبقات التي يتوضع عليها نتيجة تسرب المياه إلى داخلها .

الكلمات المفتاحية: صفائح في مستوٍ واحد على طبقة من الأساس، كاشف تسرب المياه، التخطيط التناظري، سعة المكثف المسطح متعدد الطبقات، ثابت العازلية المكافئ لطبقات متعددة .

*أستاذ مساعد - قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Effect of Moist and the Depth of Water Leak Layer in Building on Capacitance of Coplanar Moist Detector

Dr. Mouin Younes*

(Received 12 / 4 / 2011. Accepted 29 / 5 / 2011)

□ ABSTRACT □

Capacitors consisting of electrodes in the form of coplanar metal plates fixed on a substrate are widely used in engineering for measuring, in particular as primary measuring transducer of humidity and moisture meters at the high-frequency.

Capacitors used as water-leakage detectors for such purposes are made, as a rule, in the form of a flat dielectric rectangular base with coplanar electrodes of equal width and uniformly spaced, imbedded into it.

Conformal mapping method is used to calculate the capacitance of rectangular capacitors with two plates over multi layer materials. The calculating the capacitance of such capacitors with finite dimensions of plates is presented here.

The method proposed here makes it possible to apply the design equations to rectangular printed capacitors in order to calculate the variation of their capacitance by Variation characteristic of the imbedded layer because of the water leak.

Key words: Coplanar Plates on a substrate, Water leakage detector, Conformal mapping, Capacitors of multi layer, Effective permittivity of multi layer .

* Associate professor, Department of communication and electronics engineering, faculty of mechanical and electrical engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

يعاني سكان الشقق الطابقية في المدن والبلدات من تسرب المياه من مصادر داخلية مختلفة مثل أنابيب مياه الشرب- قساطل تصريف المياه المالحة- أنابيب مياه التدفئة المركزية- شقوق في الأرضيات (خاصة الحمامات ودورات المياه)، ومن مصادر خارجية مثل التسرب الناتج عن مياه الأمطار أو المياه الجوفية، تنشأ عن هذا التسرب مهما كان مصدره أضراراً متعددة (مادية- صحية- بيئية- جمالية- اجتماعية). ولكي يتم التخلص من هذا التسرب يجب الكشف عنه أولاً ، ويتم ذلك وفق توقع مصدر التسرب [2]، [15] :

- إذا كان التسرب من أنابيب مياه الشرب، تستخدم طريقة ضغط أنابيب مياه الشرب، أو قياس مقدار التسرب خلال فترة محدودة، أو طريقة ضغط الهواء بدلاً من المياه في الأنابيب وسماع الصوت الناتج عن التسرب لتحديد موقعه.

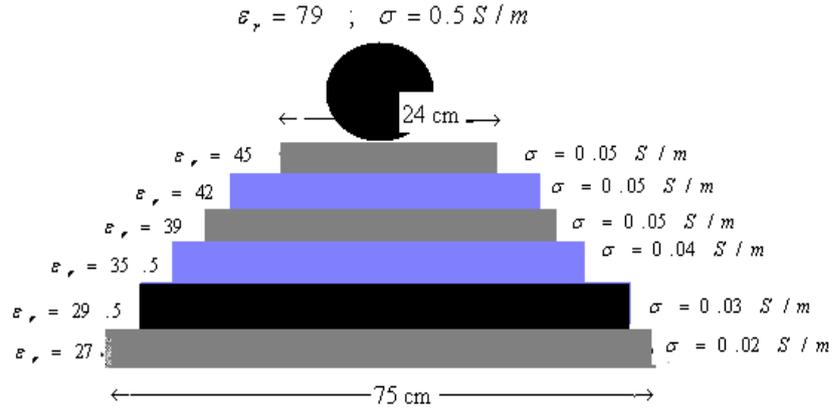
- أما إذا كان التسرب من أنابيب التدفئة المركزية، فتستعمل طريقة التصوير بكاميرات الأشعة تحت الحمراء لمعرفة مكان التسرب الذي تكون حرارته أعلى .

- أما المشكلة الأساسية والأشمل فهي تسرب المياه المالحة من الشقوق أو مصارف هذه المياه ، والتي لا يمكن فيها استعمال الطرائق السابقة، وإنما تستعمل طريقة قياس الرطوبة السطحية (في الهواء الملامس لسطح التسرب) أو رطوبة السطح البيتوني (جدران - أرضيات - سقف) بالطرائق الكهربائية ذات الترددات العالية أو المكروية عن طريق قياس انعكاس أو تخامد الموجات المكروية التي تتغير وفقاً لنسبة الرطوبة في مواد البناء، وهذه الطريقة تحتاج لمرسل ومستقبل راداري (أي تجهيزات مكلفة ولا يمكن الحصول على العناصر المكونة لها بسهولة). لذلك تم في هذا العمل البحث عن طريقة كهربائية تعتمد على قياس مسابرة مكثف التي تختلف بتغير نسبة الرطوبة في مواد البناء. وبالتالي يمكن تحديد مكان الرطوبة العالية وهي المنطقة الأقرب إلى مكان التسرب.

قد تتأثر عملية القياس بسبب عدم تجانس مواد البناء، أو وجود تمديدات كهربائية، أو بوابر تمديدات صحية، أو فراغات، ولكن تأثير ذلك سيكون قليلاً بسبب أن ثابت العازلية لمثل هذه المواد صغير مقارنة بثابت عازلية المياه، ويمكن عدّه ضجيجاً غير منتظم يغير قيمة السعة بشكل عشوائي (زيادة ونقصاناً) وبالتالي يمكن التخلص منه.

أما طريقة تمثيل التسرب [1] فموضحة بالشكل (1) ؛ حيث يتغير ثابت العازلية للطبقة التي تحوي المياه من $\epsilon_r = 79$ (مياه الشرب) إلى $\epsilon_r = 27$ حيث الرطوبة مازالت واضحة المعالم، بينما تزداد مساحة منطقة الرطوبة بالابتعاد عن منطقة التسرب، ويقل ثابت العازلية إلى $\epsilon_r = 9$ في الجدار الأسمنتي الجاف تماماً، بينما تتناقص الناقلية النوعية $\sigma = 0.5 S/m$ لمياه الشرب إلى القيمة $\sigma = 0.02 S/m$ حيث هناك وضوح في الرطوبة، بينما تصل إلى القيمة $\sigma = 0 S/m$ أو قيمة صغيرة جداً على سطح البيتون الجاف تماماً.

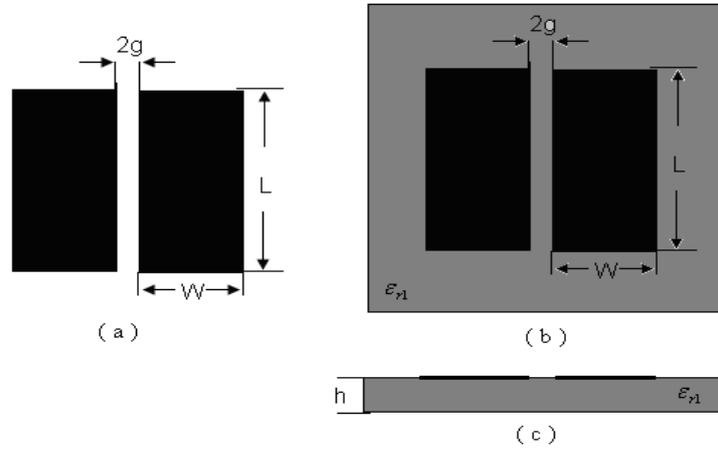
في المواد الرطبة تمتزج ثوابت العازلية والناقلية النوعية للمواد غير المتجانسة بعضها مع بعض [1]، ويتعلق ثابت العازلية والناقلية النوعية بنسبة المزج والتردد، والموديل الصحيح هو الذي يربط بين رطوبة المواد وثابت العازلية والناقلية النوعية، وبما أن هذين الثابتين لا يقاسان مباشرة، وإنما يحددان من خلال قياس بارامترات معينة مثل السعة أو الناقلية المشكلة بين قطبي القياس.



الشكل (1) نموذج تسرب المياه [1]

تتعلق سعة مكثف مطبوع مكوّن من شريطين (لوحين) فوق طبقة الأساس coplanar plates كما هو مبين بالشكل (2) - بأبعاد هذين اللوحين وبمواصفات الحامل العازل Substrate المستخدم في تصنيع هذا الشكل المطبوع، والمتوفر في الأسواق بالمواصفات الفنية التالية:

السماكة : $h = 1.6 mm$ وثابت العازلية النسبي: $\epsilon_{rS} = 2.2$ وسماكة طبقة النحاس $t \approx 1.5 \mu m$.
تتغير هذه السعة مع تغير الخواص الكهربائية ثابت العازلية النسبي وسماكة طبقات المواد المختلفة المستخدمة في الأبنية نتيجة تسرب المياه إلى داخلها والتي تلامسه من جهة واحدة.



الشكل (2) تشكيل اللوحين على شكل دائرة مطبوعة على طبقة أساس عازلة (حامل عازل)

كما تتغير الخواص الكهربائية وفقاً لمحتوى المواد من المياه [2] مكونة منهما حساساً ذا سعة متغيرة وفقاً لمحتوى هذه المواد من الماء، وبالتالي إمكانية تحريكه على جدران الأبنية أو الأرضيات أو الأسقف لمعرفة مكان التوضع الأعظمي للماء تحت هذه السطوح شبه الجافة، لتلامسها المباشر مع الهواء، وعلى مسافة عدة سنتيمترات من هذه السطوح، وبالتالي تحديد مكان تسرب المياه إلى هذه السطوح .

يبين الشكل (2) هذا الحساس المصنع على شكل دائرة مطبوعة على طبقة أساس عازلة، وتكون أبعاد هذا الحامل العازل أكبر بقليل من السطح الكلي للنحاس من جميع الجهات (بحدود 10 مم) لحماية حواف سطح الألواح المعدنية الرقيقة من التلف، والذي يستخدم لتثبيت مأخذي الوصل للوحين [3] و [4] .

أهمية البحث وأهدافه:

تأتي أهمية هذا البحث من إمكانية استخدام المكثفات المصنعة على شكل دائرة مطبوعة مكونة من لوحين معدنيين على طبقة عازلة تعمل مجسّ قياس لتحديد مكان تجمع المياه على مسافة عدة سنتيمترات من جدران الأبنية، وعليه يمكن قياس الرطوبة السطحية في الهواء الملامس لسطح التسرب أو رطوبة السطح البيتوني (الجدران - السقوف) بالطرائق الكهربائية ذات الترددات العالية، عن طريق قياس مسابرة المكثف التي تتغير باختلاف نسبة الرطوبة.

طرائق البحث ومواده:

حساب سعة اللوحين المعدنيين

لحساب هذه السعة ننتقل من الشكل (3a) الذي يمثل مقطعاً عمودياً المماثل للشكل (2c)؛ حيث أبعاد اللوح الواحد (W , L) ويفصل بينهما مسافة 2g ، وثابت العزل النسبي للحامل العازل ϵ_{rs} وارتفاعه h ، ويتم اختيار المحاور كما هو مبين بالشكل (3) . الذي يوضح طريقة تحويل المستويات لكي تتمكن من حساب سعة هذين اللوحين المطبوعين.

نلاحظ أن مستوي التناظر الكهربائي Electric wall يقع في منتصف الفراغ الفاصل بين اللوحين، فيتشكل لدينا مكثف C بين كل لوح ومستوى التناظر، أي أربعة مكثفات اثنان في الأسفل واثنان في الأعلى، والمكثف المكافئ السفلي هو C/2، أما الكلي فهو C (أربعة مكثفات كل مكثفين موصولين على التسلسل وعلى التفرع بآن واحد).

باستخدام التخطيط التناظري Conformal mapping [5] و [6] للشكل (3a) يتم التحويل من المستوي Z إلى المستوي T وفق علاقة التحويل التالية :

$$t = \cos h^2(\pi x / 2h) \quad (1)$$

فنحصل على الشكل (3b) من الجدول (1) أدناه :

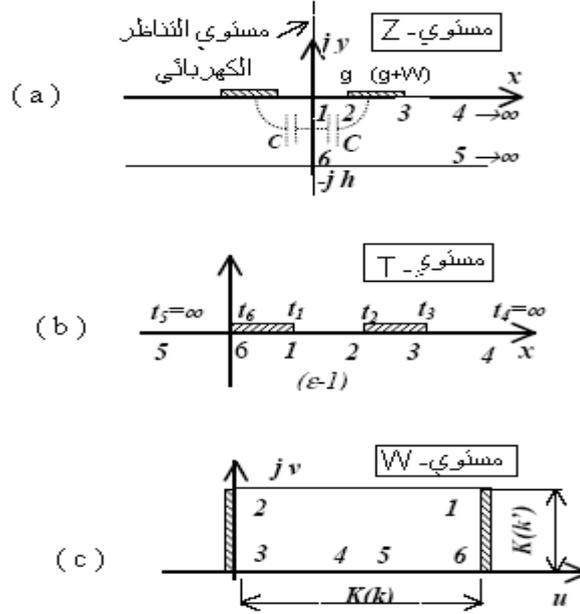
الجدول (1) يبين طريقة التحويل من المستوي Z إلى المستوي T

| النقاط | في المستوي Z | في المستوي T |
|--------|--------------|----------------------------------|
| 1 | $z = 0$ | $t_1 = 1$ |
| 2 | $z = g$ | $t_2 = \cosh^2(\pi g / 2h)$ |
| 3 | $z = g+W$ | $t_3 = \cosh^2(\pi(g + W) / 2h)$ |
| 4 | $z = \infty$ | $t_4 = \infty$ |
| 5 | $z = \infty$ | $t_5 = \infty$ |
| 6 | $z = -jh$ | $t_6 = 0$ |

يحول الجزء السفلي من المستوى T بالتخطيط التطاقي إلى المستوى W باستعمال تحويل شفارتس Schwartz transformation [7] المعرّف بالعلاقة التالية :

$$W(t) = A \int_{t_3}^t \frac{dt}{\sqrt{(t-t_1)(t-t_2)(t-t_3)(t-t_6)}} + B \quad (2)$$

من أجل $t > t_3 > t_2 > t_1 > t_6$



الشكل (3) طريقة تحويل المستويات بالتخطيط التطاقي لحساب سعة اللوحين المطبوعين

المعادلة (2) هي تكامل القطع elliptic integral [8] و [9] ، وبحلها عند النقاط الموضحة في المستوى T ، فإن ناتج التكامل السابق يعطى بالعلاقة التالية للطبقة العازلة :

$$k = \frac{\tan h(\pi g / 2h)}{\tan h(\pi(g+W) / 2h)} \quad (3)$$

إذا تم استبدال جميع النقاط الموضحة في المستوى T بتكامل القطع نحصل على الشكل المبين في (3C) المكوّن من النقاط التالية :

$$w_1 = K(k) + jK(k') , \quad w_2 = jK(k') , \quad w_3 = 0 , \quad w_6 = K(k) \quad (4)$$

$$k' = \sqrt{1-k^2} \quad \text{حيث إن :}$$

تعطى سعة اللوحين المتوازيين في الشكل (3C) بالعلاقة المعروفة التالية :

$$C = \varepsilon_0(\varepsilon - 1) \frac{K(k')}{K(k)} \quad (5)$$

تمثل هذه السعة : السعة التسلسلية في الجانب اليساري من الشكل ، بينما تكون السعة الكلية بين الصفيحتين

هي :

$$C = \varepsilon_0 (\varepsilon - 1) \frac{1}{2} \frac{K(k')}{K(k)} \quad (6)$$

يمكن حساب السعة بين الصفيحتين الشكل (2a) بغياب الحامل العازل من العلاقة (6) من أجل $h = 0$ نستبدل $(\varepsilon - 1)$ بقيمة الواحد [10] و [11] ، أي بثابت العازلية للهواء ، ويتم مضاعفة السعة لتشمل السعة فوق وتحت الصفيحتين ، وبالتالي تكون السعة الكلية ، وبغياب الحامل العازل هي :

$$C_0 = \varepsilon_0 \frac{K(K_0')}{K(k_0)} \quad (7)$$

حيث :

$$k_0 = \frac{g}{g+W} ; \quad k_0' = \sqrt{1 - k_0^2} \quad (8)$$

حساب سعة اللوحين المطبوعين (أثر الحامل العازل)

في حالة تصميم اللوحين على شكل دائرة مطبوعة على طبقة أساس ثابت عازليته النسبي ε_{rs} ، وسماكته h [11] ، [12] ، [13] و [14] ، تعطى السعة الكلية بالعلاقة :

$$C = C_0 + C_s \quad (9)$$

حيث :

$$C_s = \varepsilon_0 (\varepsilon_{rs} - 1) \frac{1}{2} \frac{K(k_s')}{K(k_s)} \quad (10)$$

$$(11) \quad k_i = \frac{\tan h \left(\frac{\pi g}{2h_i} \right)}{\tan h \left(\frac{\pi (g+W)}{2h_i} \right)} ; \quad k_i' = \sqrt{1 - k_i^2} \quad \text{و}$$

حيث $i = s, a, 1, 2, \dots$ لها k دليل يعبر عن الطبقة المراد حساب

باستبدال العلاقة (7) و (10) في العلاقة (9) نحصل على علاقة السعة الكلية :

$$C = C_0 + C_s = \varepsilon_0 \frac{K(k_0')}{K(k_0)} + \varepsilon_0 (\varepsilon_{rs} - 1) \frac{1}{2} \frac{K(k_s')}{K(k_s)} \quad (12)$$

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_{effs} \frac{K(k_0')}{K(k_0)} \quad (13)$$

يعرف ثابت العازلية الفعال ε_{effs} بمعامل الملء المعطى بالعلاقة :

$$\varepsilon_{effs} = 1 + (\varepsilon_{rs} - 1) q_s \quad (14)$$

حيث :

$$q_s = \frac{1}{2} \frac{K(k_s')}{K(k_s)} \frac{K(k_0)}{K(k_0')} \quad (15)$$

سوف ندعو هذين اللوحين المصنوعين على شكل دائرة مطبوعة مع طبقة الأساس بـ " كاشف التسرب" ، لأننا سنستعمله مجسماً قياسياً لتحديد مكان تجمع المياه على مسافة عدة سنتيمترات من جدار الأبنية (المقصود به تحت طبقة التليس أو التليس بالسيراميك) وتحت بلاط الأرضيات.

النتائج والمناقشة:

دراسة تغير سعة كاشف التسرب عند ملامسته لسطح عازل

إذا تم وضع سطح الكاشف على سطح البناء المكون من مادة لها ثابت عازلية نسبي ϵ_{r1} وسماكة h_1 (سماكة الجدران أو السطح البيتوني) ، كما هو مبين بالشكل (4) . تحسب سعة الكاشف بالعلاقة :

$$C_{s1} = C + C_1 \quad (16)$$

حيث C_{s1} : سعة الحساس على سطح مادة البناء.

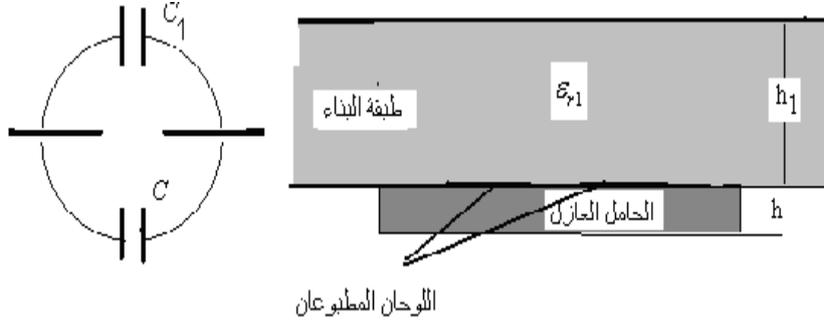
C : سعة الحساس بعيداً عن سطح مادة البناء .

C_1 : الزيادة في السعة الناتجة عن مادة البناء .

تحسب قيمة السعة $C_1 - C$ كما حسبت السعة C_s الناتجة عن الحامل العازل - بالعلاقة (10) المصاغة

بالشكل التالي :

$$C_1 = \epsilon_0 (\epsilon_{r1} - 1) \frac{1}{2} \frac{K(k'_1)}{K(k_1)} \quad (17)$$



الشكل (4) الدارة المكافئة للكاشف Detecror الملامس للجدار البيتوني

باستبدال العلاقة (12) و (17) في العلاقة (16) نحصل على علاقة السعة الكلية :

$$C_{s1} = \epsilon_0 \frac{K(k'_0)}{K(k_0)} + \epsilon_0 (\epsilon_{rs} - 1) \frac{1}{2} \frac{K(k'_s)}{K(k_s)} + \epsilon_0 (\epsilon_{rm1} - 1) \frac{1}{2} \frac{K(k'_1)}{K(k_1)} \quad (18)$$

$$C_{s1} = \epsilon_0 \epsilon_{effs1} \frac{K(k'_0)}{K(k_0)} \quad (19)$$

يعرّف ثابت العازلية الفعال ϵ_{effs1} بمعامل التغطية المعطى بالعلاقة :

$$\epsilon_{effs1} = 1 + (\epsilon_{rs} - 1)q_s + (\epsilon_{r1} - 1)q_1 \quad (20)$$

حيث :

$$q_1 = \frac{1}{2} \frac{K(k'_1)}{K(k_1)} \frac{K(k_0)}{K(k'_0)} \quad (21)$$

دراسة أثر وجود طبقة هواء بين الكاشف والسطح العازل

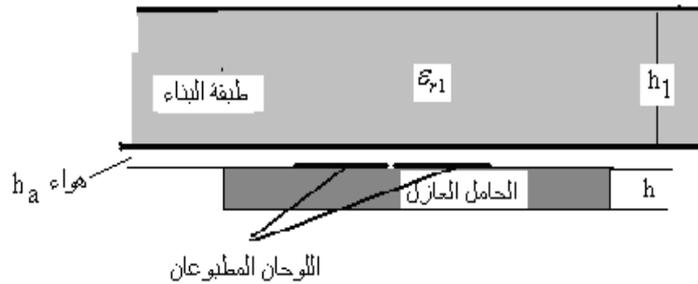
يمكن من العلاقة (20) - التي تشترط أن يكون : $\epsilon_{r1} > \epsilon_{r2} > \epsilon_{r3} > \epsilon_{r4}$ أن نستنتج العلاقة التي نحسب بها ثابت العازلية الفعال في حالة إضافة طبقات أخرى لا تحقق الشرط السابق ، أي في حالة وجود طبقة هواء (أقل عازلية) بين الكاشف والسطح البيتوني العازل :

$$\epsilon_{effs1} = 1 + (\epsilon_{rs} - 1)q_s + (\epsilon_{r1} - 1)q_1 + (1 - \epsilon_{r1})q_{1a} \quad (22)$$

حيث :

$$q_a = \frac{1}{2} \frac{K(k'_2)}{K(k_2)} \frac{K(k_0)}{K(k'_0)} \quad (23)$$

نلاحظ أن السعة نقل بوجود طبقة هواء بين الكاشف والسطح البيتوني العازل .



الشكل (5) الكاشف بتلامس غير مباشر مع الجدار البيتوني

نمذجة كاشف التسرب

تم استخدام برنامج MATLAB لحساب سعة هذا الكاشف المكون من صفيحتين متماثلتين أبعاد الواحدة منهما $L = 105\text{mm}$, $W = 50\text{mm}$ ، يفصل بينهما فراغٌ منتظمٌ مقداره $2g = 5\text{mm}$ مطبوعتين على طبقة الأساس سماكته $h_s = 1.6\text{mm}$ ، وله ثابت عازلية $\epsilon_{rs} = 2.2$ ، ومساحته $125\text{mm} \times 125\text{mm}$ ، وهي طبقة الأساس المتوفرة في الأسواق المستعملة لصناعة الدارات المطبوعة التجارية ، وتم دراسة تغيير سعة هذا الكاشف لنماذج مثالية؛ حيث اعتبر في الحالة الأولى أن يلامس ماءً مقطراً (باعتباره عازلاً مثالياً) ، وفي الحالة الثانية يفصل بينه وبين طبقة الماء هواءً بسماكة 2mm وكانت النتائج كما هي موضحة في الفقرة التالية.

نتائج نمذجة وقياس سعة الكاشف الموضح بالشكل (5)

استخدمت العلاقات المذكورة سابقاً في حساب السعة الكلية ونظمت النتائج في الجدول (2) وباستخدام العلاقات التقريبية التالية ، والتي يكون فيها الخطأ أقل من 3 % في حساب قيم تكامل القطع [5] :

$$\frac{K(k)}{K(k')} \approx \frac{2}{\pi} \ln \left(2 \sqrt{\frac{1+k}{1-k}} \right) \quad \text{for } 1 \leq \frac{k}{k'} \leq \infty \quad \text{and} \quad \frac{1}{\sqrt{2}} \leq k \leq 1$$

$$\frac{K(k)}{K(k')} \approx \frac{\pi}{2 \ln \left(2 \sqrt{\frac{1+k'}{1-k'}} \right)} \quad \text{for } 0 \leq \frac{k}{k'} \leq 1 \quad \text{and} \quad 0 \geq k \geq \frac{1}{\sqrt{2}} \quad (24)$$

تم قياس سعة الكاشف المصنَّع على شكل دائرة مطبوعة مرات متعددة وأخذ المتوسط الحسابي لهذه القيم ، ومع هذا فإن الخطأ المرتكب عند قياس السعات الصغيرة كان كبيراً بسبب سعة أقطاب التوصيل ، وأعطيت هذه النتائج في الجدول (2) لمقارنتها بالقيم المحسوبة ، وقد تم استعمال الكاشف في أثناء التجربة بشكل تكون الطبقة العازلة باتجاه الأعلى بدلاً من الأسفل ، واستعمل الماء المقطر طبقةً عازلة باعتبار أن ثابت عازليته معروف بحدود 80 ، وفي حالة تلامس مباشر مع الماء وبوجود طبقة هواء سماكتها 2 mm . والأختلاف بين القيم المقيسة والقيم المحسوبة ناشئ بسبب صعوبة تحقيق التلامس المطلوب أو الفاصل الهوائي الصحيح بين الكاشف وسطح الماء.

الجدول (2) : نتائج الحساب والقياس لسعة الكاشف في حالات مختلفة

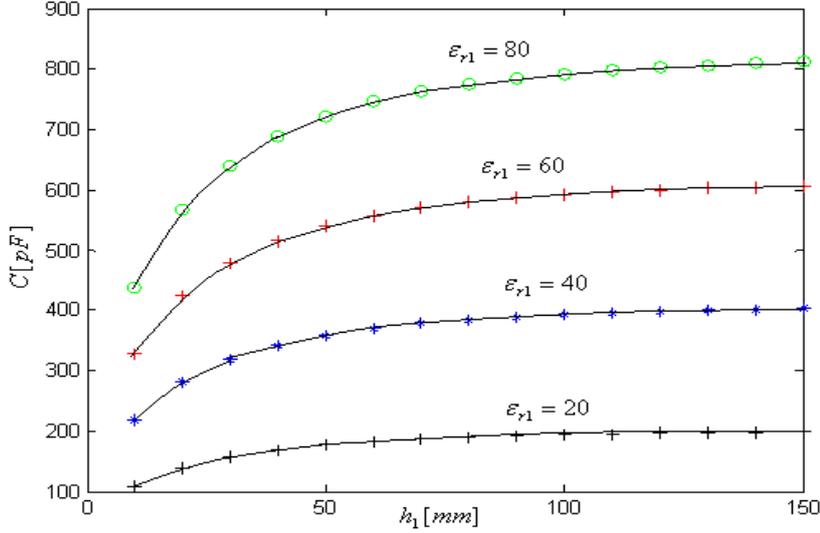
| الحالة المدروسة | ثابت العازلية | أبعاد الكاشف | السعة المحسوبة | متوسط السعة المقاسة | خطأ القياس النسبي التقريبي |
|--|--------------------------|---|----------------|----------------------|----------------------------|
| سعة اللوحين فقط | $\epsilon_r = 1$ هواء | $W = 50mm$ $L = 105mm$ $2g = 5mm$ | 2.8 pF | لا يمكن تصنيع الكاشف | ----- |
| سعة اللوحين المطبوعين | $\epsilon_{rs} = 2.2$ | $h_s = 1.8mm$ سماكة العازل | 4.8 pF | 5.2 pF | + 8.5 % |
| وجود طبقة واحدة من الماء | $\epsilon_{r1} = 80$ | $h_1 = 20mm$ سماكة طبقة الماء | 566 pF | 558 pF | -1.4 % |
| وجود فاصل هوائي بين الكاشف وطبقة الماء | $\epsilon_{ra} = 1$ | $h_a = 2mm$ وجود هواء | 393 pF | 413 pF | + 5 % |

بما أن الهدف ليس قياس قيمة السعة بحد ذاتها، والتي تعبر عن وضع ما لكاشف الرطوبة على جدار بيتوني فيه تسرب ماء، وإنما مقدار زيادة هذه السعة (الاقتراب من موضع التسرب) أو نقصانها (الابتعاد عن مكان التسرب)، لنتمكن من تحديد موقع التسرب . وبالتالي تم التركيز على دراسة أثر تغير السعة بتغير سماكة الطبقات العازلة وثابت العازلية لها.

دراسة أثر تغير سماكة وعازلية الطبقة المختبرة

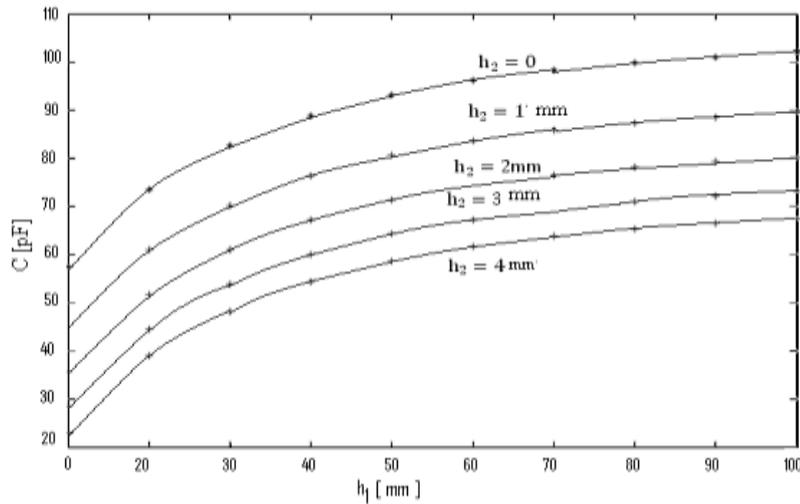
تم من خلال عملية النمذجة تغيير سماكة الطبقة التي تحوي الماء من $h_1 = 10mm$ وحتى سماكة $h_1 = 150mm$ بخطوة مقدارها 10 mm عند ثبات عازلية هذه الطبقة وفقاً لاحتوائها على الماء ، فكانت النتائج كما هي موضحة بالشكل (7) .

نلاحظ من الشكل (7) أن تغير قيمة السعة يكون واضحاً عندما تكون سماكة الطبقة العازلة أقل من رتبة عرض صفيحة الحساس للمواد ذات ثوابت العازلية المنخفضة، بينما يتم تأثيرها في المواد ذات ثابت العازلية المرتفع حتى أكثر من عرض الحساس كاملاً (أي ضعف عرض الصفيحة الواحدة)، لأن خطوط الحقل الكهربائي تمتد امتداداً أبعد. أي يمكننا كشف الماء على بعد حتى 60 mm في الكاشف المصنوع من قبلنا، الذي يبلغ عرضه 100 mm وهذا ناتج عن تغير السعة الواضح في الشكل (7).



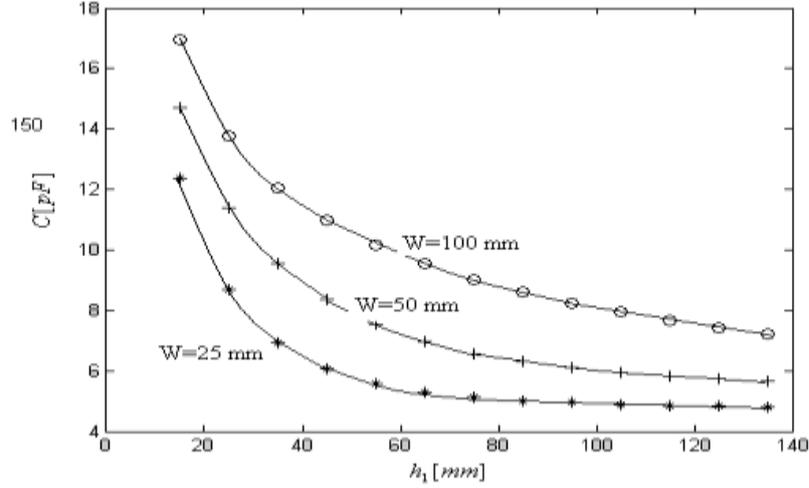
الشكل (7) منحنيات تغير السعة بتغير سماكة طبقة مواد مختلفة ثابت العازلية

كما تم نمذجة أثر وجود فراغ $h_2 = (0 \rightarrow 4) mm$ متغير بين الكاشف وبين سطح الماء المقطر بعمق 150 mm ، فتبين من الشكل (8) أن هناك تغير طفيف يمن إهماله في قيمة المكثف، ولكن السعة الكلية تنقص بزيادة الطبقة العازلة

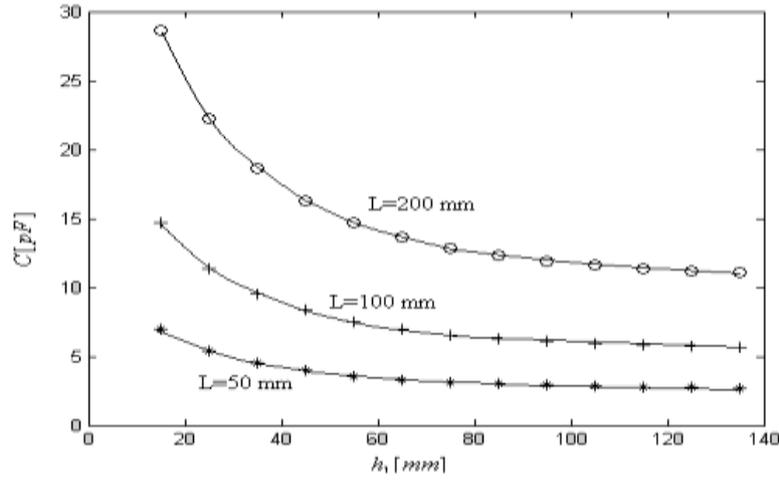


الشكل (8) أثر وجود طبقة فراغ بين الكاشف و سطح الماء

لدراسة أثر تغير عرض وطول الكاشف - الشكل (2) - على عمق كشف طبقة المياه التي فرض أنها بسماكة: 5 mm وتقع ضمن جدار بيتوني سماكته $h_1 = 150\text{mm}$ وثابت العازلية النسبي له $\epsilon_{r1} = 10$ ؛ حيث فرض أن طبقة المياه تغير موقعها من 15 mm وحتى 135 mm ، وكانت النتائج كما هي موضحة بالشكل (9) . أما تغير السعة مع طول الكاشف فمبينة بالشكل (10) .



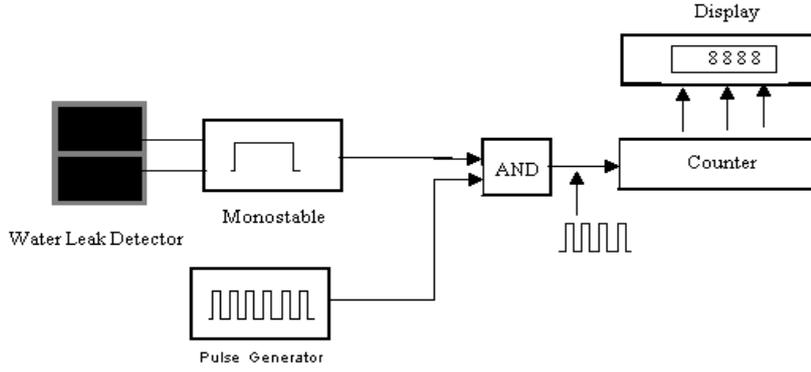
الشكل (9) أثر تغير عرض الكاشف على قيمة السعة



الشكل (10) أثر تغير طول الكاشف على السعة

التنفيذ العملي

استخدمت دائرة القياس المبينة بالشكل (11) المكونة من دائرة مهتز أحادي الاستقرار - عرض النبضة المتولدة $T = f (C , R)$ به تتناسب مع سعة اللوحين المشكلين لكاشف تسرب الماء ، وهذه السعة تتناسب مع رطوبة الجدار كما يمكن ضبط عرض النبضة بمقاومة ضبط متغيرة - ومن مولد نبضات الساعة Clock ، الذي يولد نبضات بتردد 40 kp/s - يمكن التحكم بعدها بتقسيمها على 2^n - ومن دائرة AND التي تمرر نبضات الساعة فقط خلال النبضة المتناسبة مع رطوبة الجدار، ومن دائرة قياس عدد هذه النبضات باستخدام عداد ودائرة إظهار من أربع خانوات عشرية، وهي عبارة عن دائرة تكاملية واحدة لتحديد موقع التسرب ضمن جدار مبني من الخفان المفرغ ، بالطريقة التالية:



الشكل (11) دائرة قياس مكان تسرب المياه

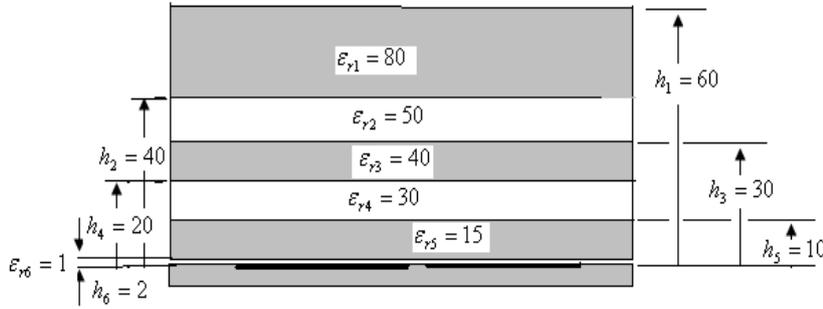
تم ثقب الجدار من الجهة الخلفية للوصول إلى الفراغ الداخلي للخزان، ومن ثم تم إملء هذه الفراغات المتباعدة بعضها عن بعض بالماء ، وتم إغلاق إحداها وترقيمه (1) ، وإعادة إملء الباقي بالماء بعد 6 ساعات وإغلاق إحداها وترقيمه (2) ، وهكذا حتى انتهت الثقوب.

نضع كاشف التسرب في موقع ما على السطح الداخلي للجدار (يفضل أن يكون في موضع أكثر جفافاً) ونضبط تردد المهترز أحادي الاستقرار بمقاومته المتغيرة لكي يظهر رقماً مُحدداً وليكن (500) على شاشة المقياس.

من خلال تحريك الكاشف على السطح الداخلي يزداد الرقم الظاهر على الشاشة ، وبالتالي تم تحديد مكان آخر ثقب تمّ إملأه بالماء؛ حيث أعطى أعلى رقم يظهر على الشاشة المقابل لأكبر سعة أي أكبر نسبة مياه متسربة في الجدار.

نمذجة طبقات تسرب حقيقي للماء:

تمت نمذجة مكان تسرب حقيقي للماء ، كما هو مبين بالشكل (12) ؛ حيث اعتبرنا أن الماء موجود على بعد $h_1 = 60mm$ وثابت العازلية له $\epsilon_{r1} = 80$ ، يليه طبقة رطبة على بعد $h_2 = 40mm$ وثابت عازليتها $\epsilon_{r2} = 50$ ، وطبقة أقل رطوبة على بعد $h_3 = 30mm$ وثابت عازليتها $\epsilon_{r3} = 40$ يليه طبقة رابعة منخفضة الرطوبة على بعد $h_4 = 20mm$ وثابت عازليتها $\epsilon_{r4} = 30$ ، وطبقة خامسة ضعيفة الرطوبة على بعد $h_5 = 10mm$ وثابت عازليتها $\epsilon_{r5} = 15$ ، أما الطبقة السادسة الملاصقة للحساس فهي ذات سماكة $h_6 = 2mm$ واعتبرت هواء $\epsilon_{r6} = 1$ لأن الحساس لا يمكن أن يلامس سطح البيتون بشكل صحيح بسبب خشونة السطح .



الشكل (12) نمذجة طبقات تسرب الماء

حسبت السعة الكلية الناتجة عن هذه الطبقات، المفترض أنها تماثل تسرب الماء في طبقات البيتون بتوسيع البرنامج المستخدم سابقاً، ليشمل جميع هذه الطبقات، كما أن هناك إمكانية تغيير سماكة وثابت العازلية للطبقات التي يريدتها مستثمر هذا البرنامج، وبالتالي الحصول على صورة واضحة لتغير سعة الحساس وفقاً للطبقات التي تحيط به، وبالتالي إمكانية استخدامه لتحديد مكان تسرب المياه ، الذي يقابل زيادة في سعة الحساس .

الاستنتاجات والتوصيات:

- 1 - بينت الدراسة إمكانية استخدام التخطيط التبادلي لتحويل اللوحين الواقعين في مستوى واحد إلى لوحين متقابلين، وبالتالي الحصول على علاقات تحليلية واضحة لحساب سعة وناقلية هذين اللوحين والمحاطين بطبقات مختلفة في سماكتها وخواصها الكهربائية، سواء أكانت واقعة في جهة واحدة أم في الجهتين.
- 2 - من خلال دراسة أثر تغير سعة هذا الحساس عند ملامسته للسطح الرطب يمكن تحديد مكان الرطوبة الأعظمية، وبالتالي تحديد مكان التسرب، كما هو موضح في الشكل (11).
- 3 - أثبتت الدراسة أن وجود فراغ صغير بين الحساس والجدار البيتوني ليس له تأثير يذكر في صحة التحسس بالرطوبة، لأنه يقلل السعة بمقدار شبه ثابت بينما يبقى تغيرها مشابهاً لحالة عدم وجود فراغ ، وخاصة عندما يكون الفراغ صغير ، كما هو مبين بالشكل (8) .
- 4 - زيادة عرض الصفائح يؤدي إلى زيادة التحسس بسماكة الطبقات، أي زيادة التحسس بالرطوبة العميقة. لأن تغير السعة يكون واضحاً بشكل جيد حتى عمق طبقة أكبر بقليل من عرض الكاشف، كما هو موضح بالشكل (9).
- 5 - يمكن زيادة طول اللوح لزيادة السعة المراد قياسها عندما تكون نسبة الرطوبة منخفضة جداً، لأن السعة الناتجة تتناسب طردياً مع طول الكاشف، وبالتالي فإن التغير في السعة يكون أكثر وضوحاً وهذا موضح بالشكل (10).
- 6 - تم قياس سعة الحساس بوضعيات مختلفة وكانت قريبة من القيم المحسوبة ، وخاصة عند القيم الكبيرة .
- 7 - تم تصنيع جهاز كشف متكامل، حيث تم تحويل التغير في السعة إلى تغير في عرض النبضة وقياس عدد النبضات التي تمر خلال هذه النبضة؛ وبالتالي فإن الزيادة في الرطوبة تزيد السعة مما يزيد عدد النبضات المقروءة، وبالتالي معرفة اتجاه تحريك الكاشف باتجاه الرطوبة العالية، الشكل (7) .
- 8 - نوصي بمتابعة دراسة تغيير شكل الكاشف؛ لكي يشكل زاوية قائمة لكشف التسرب بالقرب من السطح الفاصل بين الجدران والأرض، مما يؤدي إلى توسيع البرنامج المستخدم سابقاً ليشمل الحالات المختلفة لتوضع اللوحين.

المراجع:

- [1] Nakhkash ,M. and Mahmood-Zadeh, M.R. - “ *Water Leak Detection Using Ground Penetrating RADAR*” , Tenth Inter. Conf. on Ground Penetrating RADAR - Deft,The Netherlands , 21-24 June 2004 , 525-528.
- [2] Leschnik , W. - *Feuchtemessung an Baustoffen , Feuchtetag 99- BAM, Berlin , 7 - 8 Oktober 1999*, 23.
- [3] Krichevskii, E. S. and Protopopov, O. S. - “ *Monographs for Finding the Capacitance of Coplanar-plate Capacitors* “,Translated from Izmeritel'naya Tekhnika, No. 5, May, 1986 , 38-39.
- [4] Gevorgian, S. and Berg, H. - “ *Line Capacitance and Impedance of Coplanar-strip Waveguides on Substrates with Multiple Dielectric Layers*” , Chalmers University of Technology, Gothenburg ,Sweden. 2005, 4.
- [5] Schinzinger, R. and Laura, P.A.A. - “*Conformal Mapping: Methods and Applications*” ,Amsterdam, The Netherlands: Elsevier, 1991.
- [6] Carlsson, E. and Gevorgian ,S. - “*Conformal mapping of the field and charge distributions in multilayered substrate CPWs,*” IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 47, Aug 1999, 1544-1552.
- [7] Ghione, G. and Naldi, C. - “*Analytical formulas for coplanar lines in hybrid and monolithic MICs,*” Electron. Lett., vol. 20, 1984 ,179-181.
- [8] Gevorgian, S. , Berg, H. , Jacobsson, H. and Lewin, T. - “*Basic Parameters of Coplanar-Strip Waveguides on Multilayer Dielectric/Semiconductor Substrates*” , IEEE microwave magazine , June 2003 , 60-70.
- [9] Abadei1, S. and Gevorgian, S.- “ *Experimental and Theoretical Investigation of Coplanar Plate Capacitors on Layered Dielectric Substrates* ”, Chalmers University of Technology, Gothenburg ,Sweden. 2004, 6.
- [10] Suh,Y.-H and Chang, K. - “*Coplanar strip line resonators- modelling and applications*”, IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 50, May 2002 , 1289-1296.
- [11] Fouad-Hanna, V. - “*Finite boundary corrections to coplanar strip line analysis*” Electron. Lett., vol. 16, 1980 , 604-606.
- [12] Chen,E. and Chu,S.Y. - “*Characteristics of coplanar transmission lines on multilayer substrates: Modelling and experiment,*” IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 45, Jun. 1997 , 939-945.
- [13] Gevorgian, S. and Berg, H. - “*Line capacitance and impedance of coplanar-strip waveguides on substrates with multiple dielectric layers,*” in Proc. EuMC2001, London, 2001, 153-156.
- [14] Tuncer, E. , Lee,B.-E. , Saiful, M. and Neikirk, D.P. -“*Quasi-static conductor loss calculations in transmission lines using a new conformal mapping technique* ”, IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 42, Sept.1994,1807-1815.
- [15] Göller,A.- “ *Moisture Mapping –Flächen und tiefenaufgelöste Feuchtemessung mit dem MOUST –Verfahren*“ , Feuchtetag, Berlin ,1999, 15 .