التداخل الكهرومغناطيسي وقياس الحقول المشعة

د. محمد موسى*

ملخص

لقد أصبحت أبحاث التداخل والإشعاع الكهرومغناطيسي مواضيع ذات أهمية كبيرة وخاصة بعد التطور الهائل في مجال أنظمة الاتصالات والتقنيات الرقمية . يتناول هذا البحث دراسة طرق القياس وآليات توليد وانتشار الحقول الكهرومغناطيسية من مختلف أنواع الأجهزة الكهربائية والإلكترونية . تصدر هذه الأجهزة إشعاعاً كهرومغناطيسياً تتفاعل مع حقولها الذاتية والحقول الكهرومغناطيسية المحيطة مسببة مشاكل وتأثيرات كبيرة تتوقف معالجة هذه المشكلة على درجة دقة أنظمة القياس وتقنيات تحليل النتائج وتقييمها . لقد أجريت هذه الأبحاث في مخبر EMC جامعة UNISA - استراليا .

Abstract

The intreferece from electromagnetic environment and electromagnetic radiation became of practical importance with the development of telecommunication system and digital technologies.

The paper presents the important measuring system and meachams by which electromagnetic fields are generated in an electrical ,electronic products and are propagted to measurement system .

The electromagnetic interface between an .elecrical or electronic system that interacts with its own sub-systems and inevitably also with its environment must be carefully measured and controled in order to avoid a significant mismatches.

1. مقدمة

يشكل موضوع الإشعاع المقترن بالكابلات ومختلف أنواع الأنظمة الكهربائية والإلكترونية أهمية خاصة في البحث العلمي ، حيث تحتوي الأجهزة تقنيات تمثيلية (analogue) ورقمية (digital) ودارات تحكم حساسة بترددات متعددة .

تتخصص الصعوبات التقنية في مثل هذه الأبحاث في طرق متابعة الظواهر الكهرومغناطيسية بين مختلف عناصر الدارات الكهربائية والآثار الناتجة عنها.

يقصد بالتداخل الكهرومغناطيسي (EMI) بأي ظاهرة كهرومغناطيسية مقترنة بنظام عمل جهاز أو تركيب أو نظام يسبب تدنياً في أدائها وهو ممكن أن يكون إضطراباً كهرومغناطيسياً (Electromagnetic disturbance) أو ضجيجاً كهرومغناطيسياً (Electromagnetic noise) أو أية إشارة كهرومغناطيسية غير مرغوبة .

تستدعي إجراءات التنبؤ بفعالية تأثير التداخل و حل هذه المشكلة دراسة مبادئ الإشعاع وتقنيات الترابط وتأثير التردد وظاهرة الرنين [2]

تكمن المشكلة الأساسية للتداخل الكهرومغناطيسي في أن الحقول الكهرومغناطيسية للأجهزة والأنظمة تتفاعل مع العناصر المحيطة لتشكل معها نظاماً واحداً بتشابه كهرومغناطيسي.

تأخذ طرق اقتران هذه الحقول صوراً متعددة فهي يمكن أن تتحقق بآليات تحريضية أو سعوية أو تتبادل الأنظمة فيما بينها الطاقة الكهرومغناطيسية المناسبة موجياً عن طريق الإشعاع الكهرومغناطيسي .

إن الحلول الرياضية المباشرة لمعادلات ماكسويل غير ممكنة بسبب صعوبات تحديد الشروط الحدية للتأثير المتبادل بين العناصر كهرومغناطيسياً وعليه لابد من إجراء الأبحاث العلمية التجريبية في دراسة التداخل الكهرومغناطيسي وتقنيات قياس الإشعاع لتحديد التوافق الكهرومغناطيسي (Electromagnetic Compatibility-EMC) في الأنظمة الهندسية الكهربائية والإلكترونية والتي تساعد في تحديد درجة مناعتها للتعرض الكهرومغناطيسي وبالتالي تحسين الأداء وزيادة وثوقية النظام .

يتناول هذا البحث دراسة تقنيات وأنظمة قياس التداخل الكهرومغناطيسي وتحديد مستويات الإشعاعات الكهرومغناطيسية الصادرة من مختلف أنواع الأجهزة الكهربائية والإلكترونية .

لقد أجريت هذه الأبحاث في مخبر EMC جامعة UNISA - استراليا .

2. الأمواج الكهربائية على الأسلاك Electric Waves on Wires

بتطبيق توتر متناوب جيبي في مدخل ناقلين متوازيين بطول أكبر من طول الموجة (λ) يمكن اعتبار النواقل المتوازية كمجموعة محارضات مربوطة على التسلسل ومكثفات على التفرع عندئذ فإن صورة الموجة مبينة في الشكل (1).

الشكل (1)

تدعى أقصر مسافة بين الشحنات المتماثلة بطول الموجة (λ)، وجدأؤها مع تردد الإشارة يعطي سرعة انتشار هذه الموجة في الوسط المحيط بالأسلاك وإذا كان الوسط هو الهواء فإن هذه السرعة تساوي سرعة الضوء في الخلاء ($C = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$) [4].

بشكل عام فإن سرعة الموجة الكهرومغناطيسية في وسط ما تحسب بالعلاقة التالية :

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \mu_r \epsilon_r \epsilon_0}} = \lambda \cdot f \dots\dots\dots (1)$$

حيث :

μ_0 : عامل النفاذية المغناطيسية للخلاء ويساوي $4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$

μ_r : عامل النفاذية المغناطيسية النسبي (للمواد) .

ϵ_r : عامل النفاذية الكهربائية النسبي للوسط ويساوي $8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$.

f : تردد الإشارة Hz .

λ : طول الموجة m .

تعطى سرعة انتشار الموجة في خط النقل بالعلاقة التالية :

$$v = \frac{1}{\sqrt{LC}} \dots\dots\dots(2)$$

حيث :

L : المحارضة بالنسبة لوحد طول الخط H/m .

C : السعة بالنسبة لوحد طول الخط F/m .

يبين الشكل (1) توزيع الشحنة الكهربائية في صورة خطوط قوى كهربائية والتي في الحالة المثالية تكون متعامدة مع سطح الناقل ومركزة عند الكثافة العالية للشحنة الكهربائية وعلى التعاقب ، تبدل الشحنة قطبيتها .

تؤثر التيارات الكهربائية داخل النظام وجزئياً تجري في ناقل السلك وفي الفراغ العازل بين الناقلين المتوازيين .

وهكذا يوجد الحقل المغناطيسي المولد من التيارات حول الناقل ويجري في الفراغ بين الناقلين وهذا التيار يدعى بتيار الإزاحة الكهربائية (Displacement Current) .

عندما الدارة الكهربائية مفتوحة ستؤثر الموجة الواقفة (Standing wave) على طول مسار الخط بسبب إنعكاس الموجة من نهاية الخط المفتوح .

تكون مركبة الحقل الكهربائي داخل الناقل صغيرة لأنها تخضع للعلاقة التالية :

$$|E| = |J| \cdot \sigma \dots\dots\dots(3)$$

حيث :

J : كثافة التيار الكهربائي داخل الناقل A/m² .

σ : الناقلية الكهربائية النوعية للناقل S/m .

مثلاً ناقل نحاسي بسمك مقطع 1mm² وناقلية نوعية S / m 5.7 × 10⁷ يمر فيه تيار كهربائي 1mA سيكون بكثافة تيار 10³ A/m² وحسب العلاقة (3) ستؤثر شدة حقل داخل الناقل بمقدار 1.8 × 10⁻⁵ v / m .

يتضح أن مقدار شدة الحقل صغيرة جداً وفي الحقيقة تقارن بشدة حقل كهربائي على مسافة 1cm من شحنة الكترول وعلى الرغم من القيمة المنخفضة لشدة الحقل فإنها قادرة أن تسبب جريان تيار ملحوظ في الناقل النحاسي ولو عدنا إلى قانون فاراداي : [3] .

$$\int_C \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = \frac{\partial \phi}{\partial t} \dots\dots\dots(4)$$

حيث :

ϕ : الفيض المغناطيسي Wb .

C : المسار المغلق المختار .

واخترنا المسار المغلق حول الناقل فإن القوة المحركة الكهربائية (emf) المتحرضة تحسب بمساعدة العلاقة (4) ويمكن أن تأخذ قيمة عالية عند الترددات منخفضة عند قيم معينة لكثافة الفيض المغناطيسي (B) ولكن بتوسيع سطح المسار المغلق أو بزيادة عدد مساراته المحاطة بالناقل . تشير هذه النتيجة أن الحقول الكهربائية والمغناطيسية في جميع الحالات يمكن أن تتداخل مع النظم المجاورة تبعاً لعوامل عديدة .

3. الإشعاع الكهرومغناطيسي Electromagnetic Radiation

عند إجراء تعديلات على دائرة الناقلين المتوازيين [الشكل (1)] وذلك بتغيير درجة التوازي بينهما وتصبح بزاوية قدرها 180° كما هو مبين في الشكل (2) .

21

a

b

الشكل (2)

لنصغر طول خط النقل بحيث أن تصل موجة التيار إلى نهاية الخط خلال مدة أقل بكثير من دور موجة التيار، و بعبارة أخرى فإن خط النقل يصبح بمثابة هوائي (Antenna) بطول أقل من طول الموجة وهكذا فإن موجة التيار على طول كل طرف للهوائي متوافقة وبالتالي فإن الحقول الكهرطيسية الصادرة عنها ستتعزيز أو سيكون هناك إشعاع كهرطيسي [الشكل (2b)].

ولتوضيح فكرة الإشعاع سنعتمد على النظرية الكهرطيسية لديبول هيرتز (Hertzion dipole) المثالي ويطول لامتناهائي في الصغر. وكما نعلم فإن النواقل والعناصر ومكونات الأنظمة الكهربائية الهندسية العملية تكون بأطوال معينة و بترددات محددة .

تلعب مكونات الأنظمة الكهربائية عند دراسة التداخل الكهرطيسي دور هوائيات متنوعة تصدر إشعاعاً كهرطيسياً وللتوصل إلى نتائج واقعية أكثر سنعتبر أن العنصر موضع الاهتمام مكون من ديبولات هيرتز كما هو مبين في الشكل (3) وأن الإشارة المطبقة عليه جيبية ويتناقص التيار إلى قيمته الصفرية عند نهايتي الهوائي [2] .

يمثل توزيع التيار الكهربائي على الهوائي بطول معين توزيع التيار على نواقل نقل القدرة ، حيث $\hat{I}_Z$ يتناسب طردياً مع $|\sin \beta_0 Z|$.

الشكل (3)

بفرض أن مركز الديبول يتوضع في مبدأ المحاور الإحداثية الكروية ، بحيث يتطابق الهوائي ذو الطول (ℓ) على محور (Z) ، عندئذ ممكن كتابة التعابير الملائمة لتوزيع التيار على طول السلك كما يلي :

$$I(Z) = \begin{cases} I_m \sin[\beta_0(\frac{1}{2}\ell - Z)] \text{ for } 0 < Z < \frac{1}{2}\ell \\ I_m \sin[\beta_0(\frac{1}{2}\ell - Z)] \text{ for } -\frac{1}{2}\ell < Z < \frac{1}{2}\ell \end{cases} \dots\dots\dots(5)$$

يمكن بعد هذا الافتراض إجراء حسابات الحقل للناقل المعتبر اعتماداً على مبدأ التراكب (Superpositions) للحقل المولد من ديبولات هيرتز بطول (dZ) وذو التيار الثابت $\hat{I}_{(Z)}$ في النقطة المختارة كما هو مبين في الشكل (3a) . يقسم الفراغ المحيط بأي مشع للحقل الكهرومغناطيسي إلى منطقتين : منطقة الحقل البعيد (far field) ومنطقة الحقل القريب (Near field) وبفرض أن المسافة بين مركز الديبول والنقطة (p) موضع الاهتمام تساوي (r) فإن الحد الحرج في دراسات التوافق الكهرومغناطيسي يوجد وفق العلاقة التالية {2} :

$$r = \frac{\lambda}{2\pi} \dots\dots\dots(6)$$

$$r > \frac{\lambda}{2\pi} \quad \text{Far field}$$

$$r < \frac{\lambda}{2\pi} \quad \text{Near field}$$

وعند اختيار النقطة (p) في المنطقة البعيدة فإن شدة الحقل الكهربائي ستساوي التالي :

$$dE_{\theta} = j\eta_0\beta_0 \frac{I_{(Z)} \sin \theta'}{4\pi r'} e^{j\beta_0 r} dZ \dots\dots\dots(7)$$

وبدراسة هذه المعادلة نجد أنه في المناطق المحيطة $r = r'$ وكذلك $\theta \cong \theta'$ بسهولة نتوصل إلى أن القيم ستتوازن في النصف الموجب والسالب وبالتالي ستخضع لقانون الإقناء وليس هناك إشعاع ولكن الاعتبارات السابقة صحيحة بالنسبة لجميع مقادير المعادلة (7) باستثناء $e^{j\beta_0 r}$ ، لأن قيم هذا العامل لا تعتمد على المسافة الفيزيائية فحسب بل على المعامل $\frac{r'}{\lambda}$. على سبيل المثال إذا كانت المسافة $r = 1000m$ و $r' = 1000.5m$ وتردد الإشارة 300MHz فإن $\beta_0 r = 360.000^\circ$ فيما $\beta_0 r' = 360.180^\circ$. تدل هذه النتيجة أن الحقل على مسافة 1000.5, 1000m . يشكلان زاوية فرق طور 180° أو غير متطاورين كاملة . وهكذا فإن دراسة الإشعاع تتطلب مراعاة القيم بدقة لتأثيراتها على خصائص إشعاع الحقول الكهرطيسية .

4. انسياب الطاقة الكهرطيسية حول الأسلاك القصيرة

Electromagnetic Energy flow around a short wires

يُدرس تدفق الطاقة الكهرطيسية باستخدام شعاع يونتينغ (Poynting Vector) (S) ويعرف

بالعلاقة التالية :

$$S = E \times H \quad J / m^2 \dots\dots\dots(8)$$

حيث :

E : شدة الحقل الكهربائي V/m .

H : شدة الحقل المغناطيسي A/m .

وتحسب الطاقة الكهرومغناطيسية المناسبة بتكامل شعاع يونتينغ على السطح (A) :

$$W = \int_A \vec{S} \cdot d\vec{A} \dots\dots\dots (9)$$

تشير هذه المعادلة أن هناك طاقة مناسبة بكثافة $\vec{E} \times \vec{H}$ ترافق الحقل الكهرومغناطيسي في كل نقطة من الفراغ على الرغم من أن الطاقة المناسبة والمحسوبة عادةً تكون على سطح معين .
نجد بدراسة الحقل الكهرومغناطيسي في المناطق البعيدة أن شدة كلا الحقلين الكهربائي والمغناطيسي متلازمين ومتعامدين ومتطاورين وحساباتها تتوافق مع الرؤية النظرية ، ولكن مركبات الحقل في المناطق القريبة من المشع لا تحقق الخواص المذكورة آنفاً ، حيث تمتاز بمركبات تشكل زاوية معينة .

وهكذا فإن شعاع يونتينغ أ . في المناطق القريبة سيكون بمركبة حقيقية وأخرى تخيلية [الشكل (4)] بمعنى أنها جزيئياً ستتبادل الطاقة مع المنبع.

الشكل (4)

وتدعى بالطاقة الكهرومغناطيسية الردية (Reactive energy flow) والجزء الآخر الحقيقي سيمثل الطاقة المشعة المناسبة (Radiated energy flow) [3] كما هو مبين في الشكل (4).
تمثل مقاومة الإشعاع (Radiation resistance) تلك المركبة التي تساهم في إشعاع الطاقة الكهرومغناطيسية من الهوائيات أو أجزاء النظام و ستكون الطاقة المشعة تقريباً منتظمة في كل الاتجاهات

ومن خلال كل سطح محاط بالمشع في الفراغ . يمثل شعاع يونتينغ وسيلة ملائمة للتعبير عن انتشار وانتقال الطاقة الكهرومغناطيسية من مكان إلى آخر في الفراغ .

تحتسب طاقة الحقل في المناطق البعيدة بمساعدة الممانعة الموجبة (Wave Impedance) حيث كما أشرنا سابقاً تكون شدتنا الحقل متعامدتين و تقعان في مستوى عمودي على مسار الانتشار وعليه تدعى بموجة (Transverse Electromagnetic) TEM أو الموجة المستعرضة . وفي مثل هذه الحالة فإن :

$$S = EH = \frac{E^2}{Z_w} \dots\dots\dots (10)$$

حيث :

$$Z_w = \frac{E}{H} \text{ الممانعة الموجبة } \Omega$$

يفرض أن استطاعة الدخل للعنصر المشع (P_{in}) فإن الكثافة السطحية للطاقة ستساوي :

$$W = \frac{P_{in}}{4\pi r^2} \text{ } w / m^2 \dots\dots\dots (11)$$

يتضح من العلاقة الأخيرة أن عنصر الإشعاع يرسل الطاقة المناسبة من خلال سطح كروي $4\pi r^2$ [3] .

5. الانبعاث الإشعاعي والقياسات

Radiated Emmissions and Measurments

من المهم دراسة آليات إصدار الحقول الكهرومغناطيسية من مختلف الأجهزة الكهربائية والإلكترونية وانتشارها من أجل استقبالها وقياسها . يجب الإشارة إلى أن الانبعاث الكهرومغناطيسي من الأجهزة الداخلية يكون ضمن النطاق الترددي $30MHz \div 1GHz$ وتساوي مسافة القياس نحو 3m بمراعاة طول الموجة فإن النقاط التي تنتمي إلى المسافة التي تبعد 3m عن المنبع تمثل الحد الفاصل بين المنطقة القريبة والبعيدة .

لقد أشرنا آنفاً أن دراسة الإصدار الكهرومغناطيسي في المنطقة القريبة من المرسل أصعب بكثير مقارنة مع دراسات الحقل الكهرومغناطيسي في المنطقة البعيدة .

يهدف البحث إجراء القياسات العملية للخصائص الإشعاعية غير المتعمدة للعناصر ومكونات النظام بما فيها الأسلاك والدوائر المطبوعة وغيرها من البنى المعدنية ووصف العوامل التي تسبب الانبعاث الإشعاعي .

يمكن إجراء الاختبارات والقياسات الميدانية في الفراغ المفتوح أو في حجرة عديمة الصدى (Anechoic chamber) ولكن مثل هذه الحجرة مكلفة اقتصادياً لذلك أجريت القياسات في الحجرة المحجبة كهربيّاً عند الأخذ بالحسبان عامل التصحيح (Correction factor) بسبب تأثيرات انعكاسات الموجة الكهربية .

يبين الشكل (5) نظام الاختبار والقياس للجهاز موضع الاختبار (Equipment under test EUT) حيث يتم تثبيت هوائي الاستقبال على مسافة 3 m من الجهاز .

الشكل (5)

ينتج خطأ القياس كما ذكرنا سابقاً بشكل رئيسي من انعكاسات الأمواج الكهربية من جدران الحجرة وأرضيتها وسقفها وبحسب عامل التصحيح عند كل تردد من المنحني التجريبي المبين في الشكل (6) والذي يقدر العامل في واحدة dB كتابع للتردد عندما المسافة بين الهوائي والجهاز موضع الاهتمام [2] 3m .

الشكل (6)

تعتبر كثير من الكابلات العملية والأسلاك أو أي تشكيلة بنيوية هندسية في الأنظمة الكهربائية ديبولات هوائية مشعة للقل الكهرومغناطيسي سواء كانت عمودية أو أفقية . يحدث الإشعاع في الأنظمة الرقمية وخاصة كابلات المعلومات (Data bus) ، التي تربط بين جهازين رقميين ، حيث يؤثر الضجيج الكهرومغناطيسي بين الدارات المطبوعة (PCBS) كما هو مبين في الشكل (7) .

الشكل (7)

تمر التيارات الكهربائية بين ناقل الطور والغلاف المعدني المؤرض بنقطة مشتركة Common mode (C/M) وتتغلق الدارة عبر النقطة الأرضية المشتركة وتحدث بالتالي الإشعاعات الكهرومغناطيسية تبعاً لترددات الإشارة بالإضافة إلى تأثير الإشعاعات الكهرومغناطيسية الخارجية على النظام الإلكتروني .

وهكذا فإن جميع الدارات المغلقة والنواقل الكهربائية والتقنيات الرقمية تشكل عناصر الإشعاع أو مستقبلات للتأثير الكهرومغناطيسي .

تشكل تقنيات قياس التداخل الكهرومغناطيسي (EMI) أهمية كبيرة في الأبحاث العلمية بسبب عدم توفر أجهزة القياس الكهربائية والإلكترونية المتخصصة في إجراء اختبارات التداخل الكهرومغناطيسي وعليه فإن أنظمة القياس تعتمد بشكل رئيسي على رواسم الإشارة (Oscilloscope) و محلل الطيف (Spectrum analyzer) .

تتمثل إحدى صعوبات قياسات التداخل في أن الأجهزة والتقنيات المستخدمة في النظام يمكن أن تزيد أو تقلل من ظاهرة التداخل ويسبب أخطاء في القياس . على سبيل المثال فإن الاختيار غير الدقيق لموضوع هوائي القياس وعدم تحقيق نظام التأريض بالمواصفات المطلوبة سوف يسبب تداخلاً إضافياً يؤثر في النظام. ويتضح ذلك من خلال الصيغ المختلفة المستعملة :

1- الصيغة التفاضلية : Differential –mode .

2- الصيغة الشائعة : Common –mode .

يولد الإشعاع ذو الصيغة التفاضلية من التيارات الكهربائية المارة في الدارات المغلقة أو من تيارات الحلقات والتي تكون بمثابة هوائيات وتمثل أبسط الأنواع بالنسبة للقياس والتنبؤ والتحكم . ينشأ الإشعاع ذو الصيغة الشائعة من التيارات الكهربائية غير المقصودة والتي تجري في نفس الاتجاه للنواقل التي تربط الأجزاء المختلفة للنظام والتي يجب مثاليًا أن تكون عند كمون ثابت . يمثل هذا المصدر المنبع الأساسي للإنبعاث الإشعاعي لأن التيارات غير المرغوبة تجري عادةً على طول أسلاك التوصيل وأحجبة الكابلات وغيرها .

تتطلب اختبارات التداخل الكهرومغناطيسي وضع الأجهزة المراد اختبارها في بيئة كهرومغناطيسية خاصة وإظهار وتحليل نتائج القياس ، تعني مثل هذه الشروط اختيار تقنيات ملائمة تعالج الحقول لتصبح بخواص معروفة .

تتنوع التقنيات العلمية في مثل هذه الأبحاث ويمكن استخدام الهوائيات الخاصة في استقبال الإشعاع الكهرومغناطيسي والتي عادةً تكون في مجال عدة مئات من الميغا هرتز . وتجري مثل هذه الأبحاث في حجرات محجبة كهرومغناطيسياً لتقليل التأثيرات المحيطة على نظام القياس والدراسة وكذلك الانعكاسات المتعددة من الجدران والسقف والأرضية لذلك يتم استخدام خلية خاصة بالاختبار والقياس

الشكل (9-a)

الشكل (9-b)

الشكل (9-c)

يتكون نظام القياس كما أشرنا آنفاً من الهوائي المخروطي المزدوج والمعروف بمنحنيات خواصه ضمن المجال الترددي ومقياس راسم الإشارة Oscilloscope أو محلل الطيف (Spectrum analyzer) وترتبط هذه الأجهزة بعد موائمتها مع تقنية القياس بالحاسب لتحليل النتائج [1.2] .

أ- راسم الإشارة (The Oscilloscope)

يعد راسم الإشارة من أجهزة القياس الرئيسية في نظام دراسة التداخل الكهربي حيث يمتاز بدرجة تشويه منخفضة للإشارة بالإضافة إلى حساسيته الجيدة ولكن محدود بمجاله الترددي و يؤدي وظائفه في تحليل الإشارة في المجال الزمني ويحول الصيغة الشائعة للضجيج إلى الصيغة التفاضلية عبر الرواسم بممانعة دخل عالية .

يمكن أن تكون هبوطات التوتر المقاسة على شاشة الراسم ناتجة من الإشعاع الكهرومغناطيسي المستقبل من قبل الحلقة المشكلة بين مسبار (Probe) وناقل التأريض .

تشكل محارضة المسبار وسلك التأريض والسعة الكهربائية للمسبار دائرة رنين والتي تغير شكل موجة الدخل أو مطالها .

تخفف محارضة سلك التأريض إلى القيمة الأدنى بدراسة الحل الأمثل لتوضع التجهيزات بحيث نجعل عمليات التوصيل تحتاج إلى أسلاك قصيرة قدر الإمكان .

يتم التوصل إلى مستوى عالي في دراسات ضجيج الصيغة الشائعة باستخدام المسبار التفاضلي وعند عدم توفره يمكن استخدام راسم إشارة بقناتين والذي يقيس فرق التوتر . تربط القناة الأولى بسلك التوتر بينما القناة الثانية توصل مع الخط العائد وهكذا فإن مستوى مساهمة الصيغة الشائعة في القياسات تنفذ بربط مأخذ القناتين بإشارة الأرض .

تعتبر ممانعة الخرج للهوائي أو مجس التيار المستخدم مع الراسم صغيرة عادةً وعليه فإن استعمال المكبر الأولي (Pre-Amplifier) يصبح ضرورياً [5] .

ب- محلل الطيف (The Spectrume analyzer) :

يشكل محلل الطيف جهاز قياس وإظهار وتشخيص التداخل الكهرومغناطيسي وعند ربطه مع الحاسب يمكن بسهولة تحقيق معالجة وتحليل النتائج .

يمتاز المحلل بإمكانيته على إظهار الانبعاثات الإشعاعية خلال فترة قصيرة لزمن المسح .

يسمح المحلل بدراسة الإشارة في المجال الترددي مقارنة مع الراسم الذي يعطي فقط إمكانية الدراسة الزمنية . يبين الشكل (10) المخطط الصندوقي لمحلل الطيف ذو المجال الترددي

$$10kHz \div 1.3GHz$$

الشكل (10)

يتم مزج إشارة الدخل مع إشارة الهزاز (Oscillatron) وعندما تكون الإشارة الناتجة في المجال الترددي لمرشح الدخل (IF) تمر عندئذ وتصل إلى مكشاف الغلاف (Envelope detector).

تسمح اللوحة الأمامية للمحلل بالتحكم بالمجال الترددي وزمن المسح (sweep time)، والتمييز (Resolution) تتبع درجة دقة القياس للمجال الترددي ودرجة التمييز.

إن التوصيف النموذجي لدرجة الدقة يكون بحدود 3% من المجال [2].

تعتمد درجة إظهار المحلل في نطاق ترددي واسع أو ضيق على درجة التمييز الترددي ويعالج كل مركبة طيف للإشارة بشكل إفرادي ويظهرها في المجال الترددي كما هو مبين في الشكل (11).

الشكل (11)

6. الاختبارات وتحليل النتائج Tests and analysis of results

لقد أجريت الأبحاث العلمية للإشعاعات الكهرومغناطيسية الصادرة لعدة أجهزة كهربائية في جامعة دمشق - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية بالاشتراك مع جامعة UNISA استراليا في مخبر EMC

ومن هذه الأجهزة - المولد الأوزوني Ozon Generator المستخدم في أجهزة التكييف.

تكمن أهمية هذا الجهاز في حساسيته بالنسبة للبيئة ، حيث يثبت في داخل أجهزة التكيف التي تغذى بالهواء في المواقع والمناطق المؤهلة بالسكان .

لقد أشارت أبحاث عديدة في الآونة الأخيرة أن الحقول الكهرومغناطيسية بترددات متنوعة تأثيرات ملحوظة على البيئة والكائنات الحية وخاصة تلك التي دلت أن الحقول الكهرومغناطيسية بترددات منخفضة يمكن أن تسبب سرطان الدم عند الأطفال المعرضين لهذه الحقول [6] .

انطلاقاً مما سبق فإن جميع الأجهزة الكهربائية والإلكترونية يجب أن تخضع للاختبارات التي يمكن أن تحدد على الأقل سوية الانبعاث (Emission) لاتخاذ إجراءات هندسية ملائمة .

إن الأبحاث العلمية في مجال التوافق الكهرومغناطيسي (EMC) و منابع التداخل الكهرومغناطيسي (EMI) وقياس وتقدير الإشعاعات الكهرومغناطيسية تشكل أهمية خاصة في العصر الحالي بسبب زيادة انتشار توزيع شبكات التغذية الكهربائية وشبكات المعلومات وأجهزة الاتصالات والأجهزة الكهربائية والإلكترونية .

ما زالت تقنيات وأنظمة القياس وتحليل النتائج في مجال الأبحاث المذكورة قيد التطور والدراسة وذلك لتمييزها بعدة نواحي هامة :

أ- يسبب الانبعاث الكهرومغناطيسي مصدراً أساسياً للتشويش disturbance على الأنظمة الأخرى وتؤدي إلى تدنياً في أدائها أو تعطيلها .

ب- تأثيرات الإشعاعات الكهرومغناطيسية على البيئة وعلى الإنسان بشكل خاص .

يجب الإشارة إلى أن الدول الأوروبية والولايات المتحدة الأمريكية وكندا وأستراليا أصدرت كودات (Standard Codes) و معايير للقياس ونظم لتوصيف التداخل والتوافق الكهرومغناطيسي مثل : AS / NZS 1044 – 1995 .

تعتمد الجهات الصانعة عند تصميم مختلف الأنظمة والأجهزة الكهربائية والإلكترونية في اختبارات التداخل والتوافق الكهرومغناطيسي على أنظمة اختيار معينة لتوصيفها ولكن ما زالت مثل هذه التقنيات قيد البحث لأن التجربة برهنت أن كثير من الأجهزة السابقة عند التداول تصدر إشعاعات خطيرة وملحوظة .

يختبر المولد الأوزوني وفق نظام القياس الوارد في الشكل (5) ، حيث تطبق التغذية الكهربائية على المولد 220 V بتردد 50 HZ ويتم تثبيت الهوائي على مسافة 3 m من الجهاز و

المربوط مع محلل الطيف والحاسب لتحليل النتائج وذلك ضمن حجرة اختبار تحقق المواصفات المذكورة آنفاً .

أجريت التجارب الأولية في حجرة محجبة كهرومغناطيسياً وتم تصوير وتحليل منحنى الطيف الكهرومغناطيسي لتمثل القيم المرجعية الأساسية لمراقبة مستوى الإشعاع .
يتم تخزين المعايير القياسية وفقاً للنظام EN55022 لتحديد المستويات المسموح بها للانبعاث الكهرومغناطيسي .

تجرى الاختبارات عند ربط المولد الأوزوني بالتغذية الكهربائية وعند نظام التشغيل الطبيعي وتكرر التجارب لخمس مرات وتعالج النتائج بالطرق الإحصائية بواسطة الحاسب .
تصور منحنيات الإشعاع الكهرومغناطيسي الصادر من المولد المذكور بواسطة نظام القياس المكون من الهوائي ومحلل الطيف والحاسب .

يرسم محلل الطيف مطال إشارة الانبعاث الكهرومغناطيسي مقدرة بـ dB تبعاً للتردد .
يبين الشكل (12) المنحنيات العملية التي تم إظهارها على شاشة المحلل عند تشغيل المولد الأوزوني ويتضح أن هذه الإشارة تتجاوز الحد المسموح به في عدة نقاط مشارة إليها بواسطة الأسهم .
تحتسب قيم مطالات التجاوز من المنحني المقاس والمبين في الشكل (12) وتحتسب مقدار الفرق في التجاوز بمساعدة العلاقة (12) ويؤخذ عامل التصحيح من المنحني المبين في الشكل (6) .
تدون النتائج في الجدول (1) .

تجرى اختبارات وقياسات إضافية عندما المسافة بحدود 6 m بين الهوائي والجهاز تحت الاختبار وتدون النتائج في الجدول (2) .

الشكل (12)

يتم استخدام نظام قياس لاستكمال القياسات التشخيصية (diagnostic measurments) باستخدام هوائي حلقي (Loop antenna) وديبولي وذلك بالإضافة إلى مسبار التيار (Current probe) لإجراء أبحاث دقيقة في دراسة الانبعاث والإشعاع الكهرومغناطيسي كما في الشكل (13) .

الشكل (13)

إن التقنية المقترحة في البحث قادرة على تحقيق قياسات الحقل الكهرطيسي القريب السائد حول المصادر . تكمن أهم أفضليات قياسات الحقل الكهرطيسي القريب في أن هذا الحقل قليل التأثير بالحقول الكهرطيسية المحيطة ويعطي الفرصة لإجراء تحليل دقيق في احتمالات الإشعاعات الكهرطيسية . تمتاز شدة الحقل المغناطيسي (H) بعدة أفضليات مقارنة مع شدة الحقل الكهربائي من أهمها : حساسية منخفضة بالنسبة للانعكاسات وحدوث الرنين (resonance) وضعف تأثيرات التجاور (Proximity effects) وسهولة تقنية القياس حيث يتم وضع الهوائي الحلقي بحيث أن مستويته يكون عمودياً على مستوي الانتشار .

عند إجراء القياسات على الصعيد الهوائي الحلقي والهوائي الديبولي وبمراعاة أن لتيار الإزاحة (Displacement Current) والتيار الحلقي صور (Image) فإن الحقل المغناطيسي الكلي سيكون محصلة الحقول الناتجة من المولد والصورة كما في الشكل (14) .

الشكل (14)

وهكذا فإن حساب الحقل الناتج بدقة بعد إجراء القياسات الميدانية المذكورة آنفاً يتطلب حساب شدة الحقل المغناطيسي وصورته في الأرض والأخذ بالحسبان عامل التصحيح (Correction factor) الذي يعبر عن الانعكاسات من سطح الأرض ويؤخذ من المنحني المبين في الشكل (6) . يوجد عندئذ شدة الحقل الكهريائي الناتج بالعلاقة التالية :

$$\begin{aligned} |E_C|_{dB\mu V/m} = & |V_{SA}|_{dB\mu V} - |Z_T|_{dB\Omega} + 20 \log fMHz \\ & + |F|_{dB} + Cabel loss_{dB} - 13.58 \end{aligned} \quad (12)$$

حيث :

VSA : التوتر المقاس على شاشة محلل الطيف $dB\mu V$

$Z_T = \frac{V}{I}$: ممانعة التحويل Transfer Impedance $dB\Omega$.

F : عامل التصحيح .

يتم انطلاقاً من المنحنيات المقاسة وبمراعاة العلاقة (12) حساب مقدار التجاوز لقيم الانبعاث الكهريائي في عدة نقاط مختارة مبينة في الشكل (12) وتدون النتائج في الجدول (1) . تبين النتائج أن الانبعاث الكهريائي في أغلب النقاط يتجاوز المستوى المحدد من المعايير الدولية .

يعطي الجدول (2) قيم الانبعاث الكهرومغناطيسي الإضافي المقاس في المنطقة المحيطة بالمولد المذكور يتضح أن الإشعاع الناتج قادر على التشويش والتداخل مع الأنظمة المجاورة وقد تسبب تدني في أدائها . كما وتشكل مصدراً إشعاعياً بطيف كهرومغناطيسي واسع يسبب تلوثاً في البيئة .

الجدول رقم (1)

Marker	Trace		Measured				
	Freq (MHz)	Peak (dBuV/m)	Freq (MHz)	Peak (dBuV/m)	Q-P (dBuV/m)	Average (dBuV/m)	Delta QP (dB)
3	58.483	58.96 *	58.477	63.29 *	55.66 *	40.78	9.60
4	63.331	56.24 *	63.426	60.64 *	53.11 *	38.46	6.87
1	31.818	48.55 *	31.871	55.14 *	47.95 *	33.31	2.87
5	69.107	53.08 *	68.947	57.74 *	49.18 *	34.12	2.74
2	42.207	49.23 *	42.132	55.55 *	47.87 *	33.19	2.41
6	121.90	41.61	121.84	49.17 *	38.17	21.80	-10.23
7	180.64	35.27	180.98	38.63	29.65	13.44	-20.94

الجدول رقم (2)

Marker	Trace		Measured				
	Freq (MHz)	Peak (dBuV/m)	Freq (MHz)	Peak (dBuV/m)	Q-P (dBuV/m)	Average (dBuV/m)	Delta QP (dB)
1	31.818	10.63	-	-	-	-	-
2	42.207	6.56	-	-	-	-	-
3	58.483	7.51	-	-	-	-	-
4	63.331	7.73	-	-	-	-	-
5	69.107	7.52	-	-	-	-	-
6	121.90	7.37	-	-	-	-	-
7	180.64	28.71	-	-	-	-	-

يتم قياس قيم الذروة (peak Value) للمنحني المصور عند التردد والمعتبر وكذلك القيم المماثلة والقريبة من الذروة (Quasi-peak) وتحسب متوسط القيمة بعد تكرار القياس لعدة مرات وتعالج النتائج بالطريقة الإحصائية .

ترتب النتائج وفقاً لقيم التجاوز مقارنة بالسويات المعيارية .

7. الاستنتاج

تشكل الحقول الكهرومغناطيسية تحدياً كبيراً في العصر الحالي حيث تعد من ناحية أساساً لتقانة المعلومات والاتصالات ونقل الطاقة ومن ناحية أخرى فإنها تسبب تشويشاً للأنظمة الأخرى وخطراً على البيئة والكائنات الحية وخاصة الإنسان .

وهكذا فإن تطوير تقانات وأجهزة وأنظمة قياس وتحليل ومعالجة الحقول الكهرومغناطيسية أصبح في هذا العصر ضرورة لكشف الجوانب الإيجابية والسلبية لتمكن الباحث من تصميم تلك الأنظمة المفيدة بأدنى ضرر ممكن .

تحتاج أنظمة قياس الحقول الكهرومغناطيسية إلى الأجهزة الرقمية الحديثة وإلى طرق وتقنيات التحليل والمعالجة لتحقيق أدائها بدقة عالية وبالتالي إتاحة الفرصة لتجنب التأثيرات السلبية والحد منها . تساعد نتائج مثل هذه الأبحاث في اتخاذ الإجراءات الهندسية والعلمية للوقاية والحماية من الحقول الكهرومغناطيسية التي يمكن أن تشكل خطراً على البيئة .

لقد بينت النتائج الحاصلة أنه من الضروري دراسة وقياس الحقول الكهرومغناطيسية في المناطق القريبة والتي تشكل قاعدة بيانات لتقييم درجة الإشعاعات الكهرومغناطيسية المنبعثة من مختلف أنواع الأجهزة الكهربائية والإلكترونية .

تمثل تقنيات الاختبار وقياس الانبعاث والإشعاع الكهرومغناطيسي أنظمة ضرورية هامة في عصر المعلوماتية والأجهزة الكهربائية والإلكترونية والرقمية المنزلية منها والصناعية. يحدد خيارات نظام القياس درجة دقة مستويات الإشعاع وبالتالي احتمالات تأثيراته على الكائنات الحية فضلاً عن إمكانيته في التشويش على الأنظمة الأخرى .

8. References

- [1] A.Nofalski and K.Goldsmis ,Electromagnetic compatibility ,University of South Australia Adelaide 2003.
- [2] D.Weston "Electromagnetic Compatibility "Marcel Dekker Inc.New York 1995.
- [3] W,Hayt , J.Buck,Engineering Electromagnetic McGraw Hill ,Boston 2001.