الفصل الخامس

اجهزة قياس
مكونات الموجات اللاسلكية

5 – 1 المقدمه:

يمكن قياس الكميات المتعلقة بالموجات الراديوية في الزمن الحقيقي لغرض تقييم إرسال المحطة القاعديه ومن أهمها شدة المجال الكهربائي والمغناطيسي E وH. ومنها يمكن حساب الحدود المشتقة ، والتي تعطى بدلالة كثافة تدفق القدرة S (W/m^2) ، شدة المجال الكهربائي E (V/m) ، و شدة المجال المغناطيسي H (A/m). وعند الترددات المستخدمة في المحطة القاعديه للهوائي في اتصالات الهاتف الجوال ، فان منطقة المجال البعيد جدا (far-field region) يبدأ على مسافة قصيرة من الهوائي ، وبالتالي فان قياس شدة المجال الكهربائي ، تكون كافية بوجه عام.

طريقة القياس تأخذ في الاعتبار الهدف من المعلومات التي يتم الحصول عليها وخاصة عندما لا توجد معرفة مسبقة بمصادر الانبعاث. ألتحقق من الامتثال للمعايير الدولية للوقاية من الإشعاعات غير المؤينه لا يمكن تتبعها بالكامل ، نظرا لعدم عمل محاكاة قبل القياسات ولا يوجد مقياس مسبق بواسطة هوائي الحزمة العريضة. تفعيل القياسات يمكن تحقيقه في المواقع التي تعتبر من الناحية النظرية ذات الانتشار المثالي بواسطة جهاز انتقائية التردد ، وتلك القياسات ينبغي أن تندرج في مجال الحد الأقصى لمستوى التوقعات. اختيار نقاط القياس (الموقع وعدد النقاط) تتم وفقا للتوصيات الدولية للإشعاعات غير المؤينه. وعلى أساسها تجهيز البيانات المقاسة والتقرير النهائي.

5 – 2 خواص الموقع

تستخدم الطرق الثلاثة التالية لتقيم التعرض في موقع الهوائي.

الطريقة الأولى رصد المجال Field monitor:

تستخدم هذه الطريقة عندما تكون مستويات شدة المجال الكهربائي غير معروفة أو كانت معروفة ولكن لم يتم التأكد بان بعض خواص الموقع قد تغير أم لا هذا يعني أنه لا حاجة إلى إجراء الحسابات قبل دخول الموقع. ينبغي أن يستخدم الرصد الميداني بواسطة الأجهزة الحرارية لقياس خواص الموجات الكهرومغناطيسية .

ويمكن أيضا أن تستخدم هذه الطريقة إذا كانت شدة المجال معروفة ولكن حدود المسافة لم تحدد بعد لغرض تقييم التعرض. خيارات المعدات المستخدمة لهذا الغرض ينبغي أن تعتمد على أساليب تقييم التعرض والترددات المستخدمة وهذا قد يعني استخدام نوعين أو أكثر من الأجهزة . هذا الأسلوب لا يمكن استخدامه إذا كان التردد غير معروف ويقسم رصد المجال إلى ثلاثة أنواع:

1 – المراقبة الشخصية Personal monitors

المراقبة الشخصية توفر وسيلة مستمرة لرصد مجال الترددات اللاسلكية التي يتعرض لها الشخص و توفر تغطية لمدى واسع من الترددات. ويمكن استخدام أكثر من جهاز واحد لتغطية جميع الترددات في المواقع المتعددة الاستخدام مثل الموجات المايكروية في الاتصالات الاعتيادية ، الهاتف الجوال ، وبث الترددات العالية جدا UHF والبث التلفازي. المراقبة الشخصية مناسبة بشكل مثالي لمواقع متعددة الاستخدام ، لأنها توفر قياسات تلقائية لمكونات المجال لمدى الترددات المستعملة ، وبالتالي توفير إنذار يقوم على أساس كثافة الطاقة لجميع المجالات. هذا الأسلوب يلغي الحاجة لأية مقاييس أو حسابات معقدة.وتجدر الإشارة إلى أن المراقبة الشخصية قد لا توفر دقة كافية ، نظرا لقربها من الجسم .

بالنسبة للأشخاص الذين يعملوا في مناطق يكون احتمال التعرض لمجالات الترددات الراديوية تتجاوز التوصيات ذات الصلة للهيئة الدولية للإشعاعات غير المؤينه ،فان الرصد الشخصي قد يكون خيارا مناسبا لأنه يتيح الرصد الحقيقي بشكل مستمر لمجالات الترددات الراديوية ، ويمكن للمستخدم التنقل بحرية في مناطق مختلفة تكون فيها شدة المجال غير معروفة ، مع العلم إن الجهاز يوفر تحذيرا قبل أن يتم تجاوز المستوى المرجعي. وعند تلقي ألتحذير يجب على المستخدم أن ينسحب فورا إلى منطقة آمنة.

2 – مراقبة المنطقة Area monitors

يمكن قياس شدة مجال الترددات اللاسلكية باستمرار بواسطة أجهزة مراقبة ثابتة مرتبطة بنظام إنذار.

3 – أجهزة المسح Survey instruments

أجهزة المسح تقيس المكونات الكهربائية أو المغناطيسية للمجالات االكهرومغناطيسية . ويمكن استخدامها لتحديد تسرب الترددات اللاسلكية من الكابلات المغذية وغيرها من المصادر ، وذلك باستخدام المجسات التي يمكنها القياسات في أماكن يصعب الوصول إليها نسبيا.حيث يوضع المجس ويكون المقياس بعيدا عن المجس.

تقييم التعرض Exposure assessment

تقييم التعرض يختلف باختلاف المجال والبعد عن الهوائي :

أ) إذا كانت شدة المجال معروفة ولكن حدود المسافة لم تحسب فان قيم شدة المجال يتم مقارنتها مع التوصيات ذات الصلة. إذا كانت القيم اقل من الحدود العالمية الموصى بها للتعرض تتم مواصلة العمل دون اتخاذ أي احتياطات من التعرض. وعندما تكون القياسات اكبر من الحدود العالمية الموصى بها للتعرض فلا يسمح الدخول إلى المنطقة دون اتخاذ تدابير وقائية

ب) إذا كانت شدة المجال غير معروفة فينبغي ان يكون هناك مبرر للقيام بمسح كامل للترددات اللاسلكية (مثل وجود عدد كبير من الهوائيات أو أن هوائيات البث ذات قدرة عالية). إذا كان الأمر كذلك ، فيتم تنفيذ مسح الترددات اللاسلكية للحصول على معلومات عن شدة المجال .

ت) إذا تبين من الحسابات البسيطة بأن مستويات شدة المجال لا تتجاوز الحدود العالمية الموصى بها ، تتم مواصلة العمل دون اتخاذ أي احتياطات من التعرض.

ث) في الحالات الجدية ، أي أن شدة المجال غير معروفة ولكن المؤشرات توضح بان القيم غير مرتفعة بما يكفي لتبرير إجراء دراسة استقصائية ،فعلى أولئك الذين يعملون في الموقع استخدام أجهزة الشخصية.

ح) على افتراض أن التعرض اكبر من الحدود العالمية الموصى بها ذات الصلة ، فينبغي تحديد مجموعة الترددات في الموقع ؛ تحديد احهزة الرصد الشخصية المناسبة لكل عامل من المحتمل أن يتعرض ؛و العمل على إيقاف العمل عندما تشغيل نظام الإنذار لأي من الأجهزة المستخدمة.

الطريقة الثانية حدود المسافات Limit distances

الشركة المسؤولة عن إي هوائي في الموقع ينبغي أن توفر حد المسافة ذات الصلة. المعلومات عن حد المسافة يجب تتوفر في الموقع من خلال العلامات التحذيرية. وإذا لم تكن المعلومات متوفرة في الموقع فيجب الحصول عليها من الشركة المسؤولة عن كل هوائي في الموقع وان تكون ضمن المعايير الدولية أو التوصيات لتقييم المسافات. ينبغي أن يؤخذ في الاعتبار وجود هوائيات أخرى في المنطقة المجاورة للموقع عند تحديد حدود المسافات. المبادئ التوجيهية للهيئة الدولية للوقاية من الإشعاعات غير المؤينه تعطي بعض الصيغ التي يمكن أن تستخدم عند تقييم التعرض لمجالات تحتوي على أكثر من عنصر واحد للتردد.

الطريقة الثالثة تقسيم المنطقة zoning

يستخدم مفهوم تقسيم "المنطقة" لتبسيط التعامل مع المجالات الكهرومغناطيسية وتوضيح احتمال التعرض عند دخول منطقة معينة. تقسيم المناطق يتحقق من خلال مقارنة القيم المقاسة للحدود وتصنيف القيم وفقا لجوانب السلامة التي ينبغي التقيد بها. هذه الفئات المختلفة يتم تعريفها باستخدام مخطط للمنطقة. تعريف منطقة معينة يرتبط بالقدرة الخارجة للإرسال والهوائي. أية تغييرات(تنصيب هوائي جديد ، والتغيرات في القدرة الخارجة) قد يؤثر على فئة المنطقة.هذا الأسلوب يتطلب عددا من القياسات أو الحسابات لتحديد معدل الطاقة الممتصة أو شدة المجال

الكهربائي. معظم العمليات الحسابية لشدة المجال الكهربائي والمغناطيسي ومعدل الطاقة الممتصة تستخدم طريقة التحليل العددي. هذه الحسابات تتطلب النظر يعدد من العوامل (مثل الطاقة المنبعثة ، المسافة المقاسة ، المسافة بين الهوائيات ، الارتفاع العمودي للهوائي ...الخ). التحليل العددي يمكن أن يسفر عن نتائج سريعة ودقيقة بدون الحاجة لإجراء قياسات طويلة. ولكن قد تكون هناك حالات تكون فيها أنماط المجال معقدة مما يستوجب إجراء قياسات ميدانية فعلية. لتحديد المناطق المختلفة فمن الممكن استخدام القيم المحسوبة لمعدل الطاقة الممتصة (والمستويات المرجعية لمعدل الطاقة الممتصة) بدلا من حسابات شدة المجال (والمستويات المرجعية المناظرة).

حدود التعرض تكون على نوعين:

- تلك التي تستند إلى متوسط التعرض على الجسم كله (التعرض الكلى للجسم) .
- تلك التي تستند لامتصاص اكبر من الطاقة عندما تتعرض أجزاء من الجسم (التعرض جزئي للجسم). هذه المجموعة يمكن تقسيمها إلى مزيد من الحدود للرأس والعنق والجذع ، والاطراف. لكن المستويات المرجعية لا تميز بين التعرض الكلى للجسم والتعرض الجزئي للجسم. الامتثال للمستويات المرجعية كقيمة قصوى على كامل الجسم يضمن قيود أساسية لتعرض الجسم الكلي والجزئي.

تقسم المنطقة إلى أربعة أصناف :

المنطقة صنف A

هي المنطقة التي تكون عندها قيم التعرض الكلي أو الجزئي لجسم العاملين يتجاوز قيم المبادئ التوجيهية للهيئة الدولية للوقاية من الإشعاعات غير المؤينه.

المنطقة صنف B

هي المنطقة تكون التي تكون عندها قيم التعرض الكلي أو الجزئي لجسم العـــاملين لا تتجاوز قيم المبادئ التوجيهية للهيئة الدولية للوقاية من الإشعاعات غير المؤينه ،في بعض النقاط والزمن عندما يأخذ المعدل في زمن محدد (مثل قاعـــدة الســـتة دقائق عن طريق الانتقال المكاني).

إن مصطلح "قاعدة الدقائق الستة عن طريق الانتقال المكاني" تصف الوضع الـــذي فيه يكون التعرض لجزء من الجسم كبيرا ولكن لفترة زمنية محدودة. فـــإذا كـــان الشخص يتحرك في الموقع ، فان المعدل من خلال تطبيق قاعدة الدقائق الســـت ، يكون أقل من حدود التعرض الموصى بها للعاملين للجسم باجمعة أو جزا منـــة . إذا كان الشخص واقف فان التعرض الجزئي للجسم قد تتجـــاوز التوصـــيات ذات الصلة للعاملين. إذا كان وجود الشخص في منطقة محدودة لفترة زمنية تقل عـــن ست دقائق ، فان معدل الوقت ينبغي أن يتضمن أحكاما تتعلق بمستويات التعرض الفعلية في المناطق المجاورة C و D .

المنطقة صنف C:

هي المنطقة تكون التي تكون عندها كل من قيم التعرض الكلي أو الجزئي لجســـم ألعاملين اقل من أو مساوية لقيم المبادئ التوجيهية للهيئة الدوليـــة للوقايـــة مـــن الإشعاعات غير المؤينه ذات الصلة للعمال والتي تتضمن التعرض الجزئي والكلي الجسم.

المنطقة صنف D:

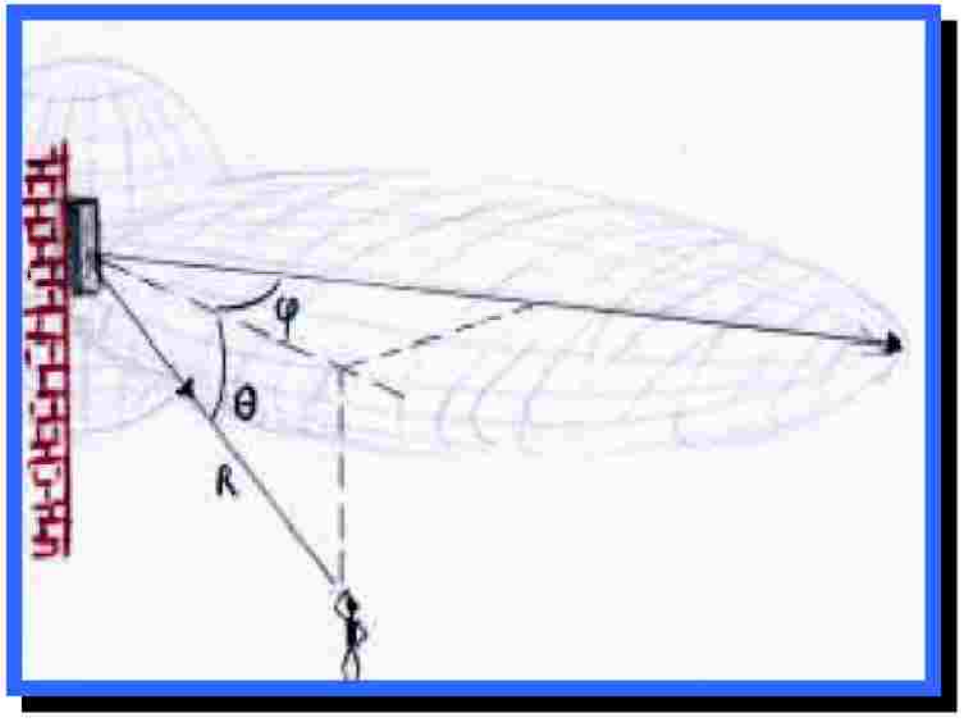
هي المنطقة تكون التي تكون عندها جميع قيم التعرض ضمن قيم التعرض للمبادئ التوجيهية للهيئة الدولية للوقاية من الإشـــعاعات غيـــر المؤينـــه ل ذات الصـــلة بالجمهور.

5 . 3 – الحسابات النظرية

يمكن أن تحسب كثافة الطاقة power density في ذلك الموقع بدلالة المقادير (R، θ و φ) شكل (5 –1) من العلاقة التالية:

$$S = 0.08 \frac{P}{R^2} 10 .G / 10 \quad [W/m^2]$$

شكل (5 – 1) تعرض الإنسان الناتج عن المحطات القاعديه للهاتف الجوال ذات المجال البعيد



حيث P هي القدرة المنبعثة من الهوائي (مقاسه بالواط) ، وG هو كسب الهـوائي (في ديسي ببل) في اتجاه موقع الشخص نسبة للهوائي.

عندما يكون هناك عدد N من الهوائيات الموجودة في نفس الوقت ، فان مجمـوع كثافة الطاقة التي تم الحصول عليها هو حاصل جمع كل Si الفردية لكل هـوائي في نقطة الاهتمام. وهذه هي أبسط طريقة لتقدير التعرض فـي المجـال البعيـد

للمحطات القاعديه ، ولكن النتائج ليست سوى نتائج توجيهية ، نظرا لأنها لا تأخذ في الحساب الظروف الواقعية للتعرض والآثار البيئة. صيغة التنبؤ يمكن تقديرها من متوسط كثافة الطاقة في المجال القريب للمحطات القاعديه أو ذروة كثافة الطاقة.

وقد تبين أن مجموعة العناصر على خط واحد للهوائي (إما أحادي الاتجاه أو قطاعي الاتجاه) يؤدي إلى أن متوسط كثافة الطاقة يصبح اسطوانيا نتيجة إلى الاضمحلال في المنطقة ذات المجال القريب ($d > \lambda$) للهوائي ويكون الاضمحلال كرويا في المجال البعيد. تقنية التحليل تسمح للتحليل المكاني لتوزيع المجال وآليات الإشعاع الدورية و غير الدورية للمصفوفات الخطية في المجال القريب للمحطات القاعديه . تقدم النتائج معلومات مفيدة للغاية عند تقييم مدى الامتثال لحدود السلامة للترددات اللاسلكية وخاصة بالنسبة للتعرض المهني ، حيث أن الإشعاع في المجال القريب يكون ذات خواص أسطوانية بالقرب من المجال القريب والذي يتحول إلى خواص كروية على مسافة من الهوائي القطاعي:

$$\rho_0 = \frac{\phi_3 dB}{6} D_A . L \quad \text{---------1}$$

حيث φ_3dB هو نصف القدرة ألأفقي أو عرض الحزمة

D_A الاتجاهيه العريضة للهوائي

L هو ارتفاع الهوائي.

في حالة هوائيات القطاع ، كما في معظم هوائيات المحطات القاعديه ، فان متوسط كثافة ألقدرة في المجال القريب (الاسطواني) ، في حالة المسافة الأفقية من مركز الهوائي تكون العلاقة بين ρ ، وزاوية السمت φ ، هي :

$$S_\rho(\rho,\phi) = \frac{W_{rad}.2^{-(\phi/\phi_{3dB})^2}}{2.\phi_{3dB}.\rho.L\sqrt{1+(\frac{\rho}{\rho_0})^2}} \quad \text{--------2}$$

حيث أن :

W_{rad} القدرة الكلية المشعة التي يمكن التعبير عنها على النحو التالي:

$$W_{rad} = eA \,.W_{fwd}$$

eA هو كفاءة الهوائي و W_{fwd} هي القدرة بالاتجاه الأمامي في الهوائي.

ويمكن أن حساب مسافة الامتثال لهوائي المحطات القاعديه على النحو التالي :

$$\rho = \rho(S) \approx \rho_0 \cdot \frac{q}{\sqrt[4]{1+q^2}} \quad \text{--- -------3}$$

حيث أن

$$q = \frac{3.W_{rad}.2^{-(\phi/\phi_{3dB})^2}}{\phi_{3dB}.L^2.D_A.S} \quad \text{---------4}$$

العلاقات (2) و (3) توفر طريقة بسيطة ودقيقة لحساب مستوى التعرض ومسافة الامتثال للتعرض المهني ، وللمقارنة مع المستويات القصوى المسموحة للتعرض ، حسب,توصيات ICNIR للمستويات المرجعية ، ذروة كثافة الطاقة يتم حسابها بالمقارنة مع القيم المعيارية. في هذه الحالة ، فان ذروة كثافة الطاقة في منطقة المجال القريب للمحطات القاعديه تعطى بالعلاقة التالية :

$$S^{peak}{}_{\rho}(\rho,\phi) = \frac{W_{rad}.2^{-(\phi/\phi_{3dB})^2}}{\phi_{3dB}.\rho.L\sqrt{1+(2.\frac{\rho}{\rho_0})^2}}$$

و مسافة الامتثال

$$\rho^{peak} = \rho(S^{peak}) \approx \rho_0 \cdot \frac{2.q}{\sqrt[4]{1+(4q)^2}}$$

حيث أن مقدار q موضح في المعادلة 4 مع ملاحظة استبدال S بالمقدار S^{peak}

5 –4 القياسات العملية

عمل معدات قياس الترددات اللاسلكية تستند على متطلبات المبادئ الارشادية للهيئة الدولية للإشعاع غير المؤين. الحاجة الرئيسية لمنظومة القياس تعتمد على انتقائية التردد ، وذلك بسبب الاعتماد على حدود التردد ، لكي يتسنى تقييم أسوأ حالة للتعرض من مجالات الترددات الراديوية المنبعثة من المحطة القاعديه.

ويجب أن تكون معدات القياس حساسة بما فيه الكفاية ، و أن تسمح بقياس متوسط القيم لزمن أكثر من 6 دقائق ، مع الأخذ بنظر حجم الجسم البشري في المناطق المثيرة للاهتمام. من الضروري استخدام الإجراءات التي تسمح لقياسات تكون فيها عدم الدقة في القيم منخفضه وتكرار نتائج القياس جيدة.

المنظومة الحرارية للقياس والتي تستخدم لقياس المجالات الكهرومغناطيسية تتألف من جهاز تحليل الطيف الكهرومغناطيسي مع هوائي ذات خواص متماثلة وتعمل المنظومة ببرنامج يتيح الحصول على البيانات.

في حالة الرصد الميداني لمستوى الموجات االكهرومغناطيسية EMF تستخدم أجهزة لقياس القيمة الفورية في الوقت الحقيقي وعلى مدى واسع من الترددات ،

القيمة المقاسة يمكن بعد ذلك مقارنتها مع المستويات المرجعية التي تحددها ICNIRP.

يجري تشغيل النظام و السيطرة عليه بواسطة برمجيات خاصة وهو مصمم لإجراء قياسات لشدة المجال الكهربائي ويتم للحصول على ذلك من خلال تحديد الحزمة وقياسها وهذا يضمن الاستخدام الأمثل والذي يسمح للتقييم وفقا لترددات منفردة ، وانبعاث كلي. بسبب مكونات المنظومة يمكن إجراء قياسات دقيقة بسهولة لان المتحسس ثلاثي المحور وله خواص متماثلة لذلك فان القياس لا يعتمد على الاتجاه أو استقطاب ألباعث وهذا يجعل القياسات سهلة و لا حاجة لنقل الهوائي لتغطية جميع الاتجاهات والاستقطاب.

ترتيب القياس يمكن انجازه باختيار الحزمة ذات الاهتمام في البرنامج وخاصة حزمة ،"GSM 900 " و حزمة "GSM 1800". حساب قيم شدة المجال المتجانس الخواص يتم تلقائيا من خلال القياسات في المحاور الثلاثة. والحد من البيانات عن طريق برنامج القياس ممكنا من أجل تقليل كمية بيانات القياس.

من الممكن عرض البيانات لقياسات الانبعاث شدة المجال ، وكثافة القدرة والنسبة المئوية لحدود التعرض التي أوصت بها الهيئة الدولية للوقاية من الإشعاعات غير المؤينهICNIRP ،كقيم كلية و إلى حزم التردد إذا لزم الأمر.لتحقيق أفضل دقة في القياس ، فان منظومة القياس ينبغي أن تكون معايرة للمجالات الكهرومغناطيسية . و قيم المعايرة مخزنة في البرمجيات و تحسب نتائجها تلقائيا في القياس.

منظومة قياس المجالات الكهرومغناطيسية TS-EMF يتم تعيرها من الشركة وتخزن قيم المعايرة في البرنامج RFEX وقيم المعايرة يتم احتسابها تلقائيا في نتائج القياس . ولتحقيق أفضل دقة في القياس ،ينبغي إجراء بعض التعيير أثناء القياس وهي:

1 - عامل الهوائي Antenna-factor:

عوامل الهوائي تأخذ من جدول بيانات خواص الهوائي ثلاثي المحور وهذه العوامل تدخل في جدول البرنامج RFEX. عامل الهوائي متاح لكل محور من المحاور الثلاثة.

خسارة الكيبل النمطية تحسب من قبل الشركة المصنعة ويتم نقلها إلى البرنامج RFEX بواسطة جدول تحرير.إذا اقتضى الأمر فان خسارة الكيبل يمكن قياسها بمنظومة مناسبة. الجداول داخل البرنامج RFEX يمكن تحديثها بواسطة النتائج الفعلية. في القياس تكون الخطوة لوغاريتمية وعرضها حوالي 10 ٪.

بعد تنصيب البرنامج RFEX لأول مرة فان قاعدة البيانات لا تحتوي على قيم لعوامل الهوائي.و بعد التنصيب يتم نسخ العوامل الفردية للهوائي من القرص المضغوط RFEX (الدليل "Cal Data Antenna"). وبعد ذلك ينبغي انجاز معايرة العتبة.

2 - الخسارة في كيبل الهوائي Cable-loss .

الخسارة في كيبل الهوائي ثلاثي المحور تكون ضمن مدخلات تحليل الطيف والتي تؤثر على تحليل الطيف والذي يكون جزء من عامل الهوائي لان السلك جزء منه . ولذلك يوجد داخل ألبرنامج RFEX ملف وهمي dummy file يستخدم (صفر دبسي ببل) لهذا المسار. وعند وجود تغير أو إضافة (تمديد الكيبل) أي وصل سلك أخر إلى السلك الأصلي والذي يربط إلى المجس ثلاثي المحور ، فان هذا السلك الإضافي يجب أن يضاف إلى عوامل الهوائي في البرنامج.

عوامل الهوائي ذي الثلاثة محاور تحسب من قبل الشركة المصنعة ويتم نقلها إلى البرنامج RFEX بواسطة جدول تحرير. عوامل الهوائي يتم تخزينها في الدليل... \RFEX\Data\Antennas..وتشمل الفقدان في الكيبل المحوري التي هي جزء من الهوائي الثلاثي.

المسألة الأخرى الحاسمة والحساسة فيما يتعلق بإعداد محلل الطيف. فإنه من الأهمية بمكان تصحيح فصل عرض الحزمة لغرض قياس معدل المرور (S_R)، شدة المجال ،أو كثافة الطاقة. قياس الحزمه يحدد مسبقا من خلال برنامج حاسوبي (في نظام GSM). هذا يضمن الاستخدام الأمثل والذي يسمح بالتقييم وفقا لتردد منفرد بالإضافة إلى الانبعاث إلاجمالي. ولان الهوائي يقيس بإبعاد ثلاثيه ذات خواص متماثلة، والقياسات لا تعتمد على الاتجاه أو استقطاب ألانبعاث وهذا يسهل القياسات. على النقيض فان الهوائيات المتجهة لم تعد ضرورية لنقل الهوائي لتغطية جميع الاتجاهات والاستقطاب.طريقة قياس متوسط الزمن مع تقيم عدم الدقة يمكن أن تنجز على نقطة واحدة وحيدة في مجال الاهتمام.

5 – 5 طرق القياس:

أ) القياس المنفرد Single Measurement :

هذا القياس يستخدم في الغالب للحصول على فكرة سريعة أو لإظهار القيم الفعلية كأساس للمناقشة. عند اختيار القياس المنفرد يتم اختيار كل حزم التردد وقياسها و تعرض النتائج.في أعلى التقرير يتم عرض مجموع قيم كل حزمة والمجموع الكلي للحزم هذا يتيح المقارنة السهلة بين النتائج. بعد ذلك تعرض النتائج التفصيلية بين 80 ميجاهرتز و 2.5 جيجاهرتز. هذا يضمن بان جميع الترددات المنبعثة ذات الصلة قد تم عرضها وقياس شدة مجالها الكهربائي.

(ب) قياس المتوسط Average Measurement :

عدة معايير تتطلب قياس زمن المتوسط (معدل 6 دقائق) تتم هذه القياسات عندما يكون الهوائي ثلاثي المحاور مهيأ لقياس الذروة/ المتوسط واختيار متوسط الوقت المناسب .

(ت) القياس على المدى الطويل Long term Measurement :

يستخدم هذا الأسلوب من القياس لتقييم التغيير في شدة المجال بمرور الزمن والذي يعتمد على قياس قيم زمن البدء والتوقف والذي يمكن أن يستمر من عدة دقائق إلى عدة أشهر. ويختار القياس على المدى الطويل في القياسات الروتينية فبالإضافة إلى الحزم ينبغي تعيين زمن البدء والتوقف، بالإضافة إلى ذلك يتم كذلك تحديد الزمن الكلي. ولكل مدي يتم تخزين الذروة ، المتوسط ، والحد الأقصى لكل حزمة. وبالرغم من الاختزال في البيانات فان تفسير المعلومات ممكنا ، حتى خلال القياس في الزمن الطويل. خلال فترة لقياس الطويلة ينبغي الحرص على أن محلل الطيف FSH3 والكمبيوتر الجوال ينبغي تشغيلها في بيئة جافة. يوصى دائما بربط الهوائي ثلاثي المحور إلى كيبل إضافي لكي يسمح لوضع محلل الطيف والكمبيوتر داخل السيارة مثلا. ولقياس المجال لمحطات ثابتة فتوجد في المنظومة خيارات إضافية مثل للتحكم عن بعد ونقل البيانات إلى شاشة طرفية.

ث - القياس الكلي (المسح) Scanning Measurement

تستخدم هذه الطريقة للبحث عن أقصى شده للمجال في منطقة معينة. وفي البدء يتم قياس الخلفية للمجالات في تلك المنطقة لان ألانعكاسات في شدة المجال يؤدي إلى اختلاف التوزيع المكاني للمجالات. ولقياس الحد الأقصى للمجال نحرك ألهوائي الجوال ببطء في المنطقة ذات الاهتمام. هذا الأسلوب مفضل لإجراء قياسات في الأماكن المغلقة ، ولكن يمكن أن يستخدم أيضا في المناطق المفتوحة. للقياس في منطقة معينة يتوقع أن يكون المجال الكهربائي في قيمته العظمى (قريبا من المرسل) يتم اختيار قياس الذروة أو المتوسط ثم تحدد الحزمة ذات الصلة. ويفضل قياس دورة واحدة مداها على الأقل دقيقة واحدة، خلال هذا الوقت ، تكرر حزمة القياسات المحددة بشكل مستمر. ولأن أي قياس يتم تنفيذه على ثلاثة محاور وبشكل متتالي ، فينبغي توخي الحذر خلال القياس المتنقل حيث أن القياسات الفردية تتم بأسرع وقت ممكن، وهذا يضمن تماثل أفضل للقياس. ولذلك فإن البرنامج RFEX

يجب أن يصمم للحصول على الحد الأدنى لزمن البقاء dwell time (عامل قياس الحزمة = ٠).

يتم تحديد الزمن المطلوب لإجراء عملية المسح وعندها يتم البدء بالقياس ونقل هوائي المنظومة ببطء فوق المنطقة بحيث يكون بعيدا عن الجسم ولا ينبغي أن يقف الشخص بين الباعث و هوائي المنظومة. في حالة الانتهاء من المسح قبل الوقت المحدد للقياس يتم إيقاف المسح.

خلال زمن المسح يتم اختيار زمن البقاء بأقل قيمة ممكنة . وينبغي أن يتم اختيار حزمة واحدة فقط لتقليل وقت القياس. حتى و لو كان زمن القياس المطبق قصير فان هوائي المنظومة ينبغي تحريكه ببطء فوق المنطقة ، لكي يتم القياس بالإبعاد الثلاثة المحاور على التوالي.

عند القياس ضمن ترددات تقل عن 200 ميجاهرتز ، فان طريقة المسح تستخدم لإعطاء قياسات عامة غير دقيقة. في هذه الترددات ، يؤثر وجود الشخص الذي يقيس على القياسات االكهرومغناطيسية المحلية إلى درجة بحيث أن الاختلافات بعدد من الديسي ببل لأخذ القياسات بهوائي ثابت لا يكون امرأ شائعا.

قياسات ألمعدل و الذروة تحقق أفضل دقة للقياس لان منظومة قياس المجالات الكهرومغناطيسية لديها معايرة فردية , قيم المعايرة تخزن في البرنامج تلقائيا ويتم احتساب نتائج القياس. لزيادة حساسية المنظومة ، فان تطبيق عتبة المعايرة يمكن استخدامه في جميع القياسات. في حالة نظام GSM900 يتم تحديد الحزمة مسبقا بحيث أن قدرة التحليل لعرض الحزمة يساوي 200 كيلو هرتز ويوضع المتتبع عند القيمة العظمى و يكون زمن القياس 5000 مللي ثانية وفي حالة قياس معدل القيم فان زمن القياس يكون 6 دقائق.وفي حالة نظام GSM1800 فان قدرة التحليل لعرض الحزمة يساوي 200 كيلو هرتز ، وزمن القياس 10000 مللي ثانية. تظهر جميع القياسات بشكل آلي باستخدام برامج خاصة . ولا يتم تغيير المسافة عن المصدر فقط وإنما يتم قياس ارتفاع الهوائي .

ج - القياسات في نقاط مختلفة Measurements at different points:

بهذه الطريقة يمكن اجراء القياسات في أماكن مختلفة وعلى مسافات متساوية من الهوائي ثلاثي المحور. ويمكن تقييم النتائج وفقا لأعظم قيمة أو متوسط القيم فعند القياسات خارج المبنى على ثلاثة ارتفاعات مختلفة (1m، 1.5m، 2m) وتقييمها وفقا إلى أعظم حد فان النتائج تكون مماثلة إلى طريقة القياس الكلي (المسح) . وميزة هذه القياسات هو قياس مجموعة من الحزم في وقت واحد.

ح - قياس توزيع شدة المجال Measurement of Field Strength Distribution

في هذه الطريقة يتم إجراء قياسات متتالية تلقائية لتوزيع شدة المجال عند الانتقال من نقطة إلى أخرى. نوع القياس هو قياس طويل الأجل ثم تكامله من الزمن الصفري . وهذا يعني ، أن كل قياس منفرد يتم خزنة بزمنه المحدد. ينبغي إجراء احتياطات مماثلة لتلك التي تأخذ عند قياس ألمسح.

5 – 6 أنواع أجهزة القياس

هناك عدة نماذج مختلفة موجودة في الأسواق ويمكن تصنيفها إلى نوعين مختلفين وهي الأجهزة التي توضع على الجسم والأجهزة الحرارية باليد. شكل (5 –2) تمتاز أجهزة الرصد التي توضع على الجسم بقدرتها على الرصد المستمر .جسم الإنسان قد من يكون كعائق لاستلام الموجات من المرسل في اتجاه معين ، لهذا السبب فان الرصد المناسب يكون بدون عائق بين الهوائي وجهاز الرصد . في بعض الأحيان قد يكون من الضروري الدوران للحصول على القراءات المناسبة.

إما الأجهزة الحرارية باليد فيمكنها القياس بدون وجود عائق الجسم . دقة القياس للأجهزة الحرارية أفضل في العادة من أجهزة الرصد التي توضع على الجسم وعادة ما تعطي القيم العددية لمستوى الموجات الكهرومغناطيسية EMF. معظم الأجهزة الحرارية باليد لها تحذير مسموعة / أو اهتزاز التي يمكن أن تعير على الحدود المسموحة بحيث تطلق التحذير عند تجاوزها حدود التعرض. استخدام أجهزة الرصد الميداني يضمن الامتثال لحدود التعرض EMF ، ويجب أن تغطي

مدى الترددات للموجات المستخدمة في البلد و يدرب العاملين لاستخدامها علـــى النحو الموصى به من قبل المصنع.

يمكن لهذه الأجهزة قياس عناصر المجال بالإحداثيات الثلاثة المتعامدة في نقطـــة قياس يتم عندها اخذ المجموع الهندسي للمجال. في هذه الحالة ، تكون النتيجة غير معتمدة عن اتجاه الموجة الساقطة المستقطبة.

أكثر الأجهزة شيوعا لقياس المجال الكهربائي للموجات االكهرومغناطيسية وكثافة القدرة هو الجهاز الجوال نوع TS- EMF من شركة(Rohde and Schwarz) لقياس المجال الكهربائي وكثافة القدرة من المحطة الارضيه للهاتف الجوال.

شكل (5 –2) أنواع أجهزة قياس الموجات االكهرومغناطيسية

الأجهزة الحرارية باليد **ألأجهزة التي توضع على الجسم**

نظرا لتصميمها المضغوط ،يمكن استخدامها كأجهزة ثابتة أو محمولة و هو يتألف من العناصر التالية :

- مجس(الهوائي) الكاشف بالمحاور الثلاث ، له خواص متماثلة في المحاور الثلاث ، بحيث يستخدم لقياسات دقيقة للمجال الكهربائي و يكـــون القيـــاس

مستقلا عن اتجاه الاستقطاب أو لانبعاث لذلك فليس ضروريا نقل الهـوائي ليشمل جميع الاتجاهات والاستقطاب ، على عكس الهوائيات الاتجاهيه.

- جهاز محلل الطيف FSH3 يقـوم بتحليـل مـدى واسـع مـن الطيـف الكهرومغناطيسي وباختبار الموجات المستلمة وتحليل الموجات الاسلكية
- البرمجيات نوع RFEX، والتي تم تحميله على كمبيوتر محمول. كما مبين في ألشكل 5 - 3.

يعمل الجهاز على مدى واسع من الترددات يتراوح بين 300 كيلو هرتز إلـى 3 جيجا هرتز تغطي جميع الترددات الراديوية للهـاتف الجـوال نـوع (GSM, CDMA and UMTS)، بلوتوث(Bluetooth™), البـث الإذاعـي والبـث التلفازي والشبكة المحلية اللاسلكية ، جهاز القيـاس مصـمم لقياسـات المجـال الكهرومغناطيسي على المدى القصير والطويل .

الشكل 5 - 3. جهاز TS –EMF

مجس الكاشف (الهوائي) بالمحاور الثلاث يوفر قياسات سريعة لإعطاء فكرة من المجال الكهرومغناطيسي وكذلك قياسات لنقاط متعددة توضح متوسط ذروة القيم كدالة للزمن وكذلك قياسات متوسط القيمة المكانية والذروة على المدى الطويل لقياس . تحتوي المنظومة على إشارة تحذير ضوئية وصوتية تفعل عندما تصبح القياسات في قيمها القصوى .يمكن استخدام هوائيات أخرى بديلا من الهوائي ثلاثي المحور . من اجل الحصول على قياسات مفيدة فمن المستحسن عدم استخدام المنظومة خارج البناية عند تساقط المطر.الهوائي ثلاثي المحور قادرا على تحمل المطر ، ولكن المكونات الأخرى، وخصوصا الكابلات والتوصيلات ينبغي أن تكون محمية من الرطوبة قدر الإمكان.أما محلل الطيف FSH3 والحاسب الجوال فيجب أن تعمل في بيئة جافة.الحد الأقصى لشدة المجال إلتى يمكن قياسها تساوي 100 فولت /متر ومع ذلك لا يجوز تعريض محلل الطيف والكمبيوتر الجوال إلى مجال شدته أكثر من 10 فولت /متر. عندما يتم تعرض المنظومة لمجال شدته أكثر من 10 فولت /متر كما يحصل في حالة القياس على مقربة من هوائي ذات قدرة عالية فان محلل الطيف يجب وضعه في علبة محمية أو أن القياس ينبغي يتم باستخدام كيبل إضافي لنبتعد عن الهوائي.

ويوضح الجدول (5 -1) مواصفات المجس.

المجس ذات المحور الثلاثي هو أداة قياس حساسة ، وبالتالي فإنه ينبغي التعامل معه بحذر. فلا ينبغي سقوط المجس وينبغي وضعة في الحقيبة بعد كل استعمال. استخدام المجس على مقربة من هوائيات الإرسال قد يسبب قياسات غير صحيحة بسبب التشكيل البيني او الحمل الزائد.

الجدول (5 - 1) مواصفات المجس

الكمية	المقدار
التردد	للترددات من 80 ميجا هرتز إلى 2.5 جيجا هرتز
مدى القياس لشدة المجال الكهربائي	من 1mV/m الى 100 V/m
مدى القياس لدرجات الحرارة	من – 10° C إلى 50 °C
الرطوبة	85%
التيار المستهلك	أقصى تيار يصل الى 500 mA

ا قبل البدء في القياس في بيئة غير معروفة ينبغي القيام بقياس سريع لإعطاء نظرة عامة للقيم العالية المرجعية ومستوى مدخلات التوهين.

لمجس ذات المحور الثلاثي يربط مع كبيلي توصيل احدهما كابل متحد المحور للترددات اللاسلكية RF مع موصل نوع N موصول إلى مدخلات الترددات اللاسلكية لتحليل الطيف. والأخر كابل ألسيطرة مع 9 رؤوس pin والمفتاح الفرعي– D يربط مع الصندوق المحول USB. هذا المحول يتمكن من فتح المحاور الثلاثة X, Y, و Z للمجس.

يربط محلل الطيف إلى كيبل الموائمة interface cable والذي يستخدم لربط محلل الطيف إلى COM للكمبيوتر. البرنامج RFEX يستخدم عادة 115200 بايت / ثانية للتحكم عن بعد.

أما محلل الطيف فيتم التحكم بة عن طريق GPIB بواسطة بطاقة موائمة نوع (PCI-GPIB) لأجهزة الكمبيوتر المكتبية أو PCMCIA – GPIB للكمبيوتر الجوال).

محلل الطيف الجوال مصمم لقياسات الهاتف الجوال ،القياس في داخل البنايات وخارجها ومقارنة النتائج بالقيم المعيارية،و المقارنة بين عدة محطات. يستخدم البرنامج RFEX لتحليل إلاشارة الدخلة وبثلاث أنواع وهي القياسات المنفردة (بمعدل 2 دقيقة)، ومعدل ذروة الإشارة (بمعدل 6 دقيقة)،والقياس على المدى الطويل (تحديد الزمن في تغيرات في الإشارة) . يتصل المجس مع محلل الطيف والكمبيوتر الجوال الذي يضبط على 6 دقائق

قياس المجالات الكهربائية و كثافة القدرة بواسطة المكتبة المركزية للجهاز للإشارات نوع GSM 1800 تظهر كما في الشكل 5 - 4. و الشكل 5 - 5 ومن هذه القياسات والخوص العازلية ألكهربائية الموضحة في الجدول (5 -2) و استخدم المعادلة (2)يمكن تقدير وحساب معدل الامتصاص النوعي(SAR) في الدماغ وتقارن مع القيم المقاسة في الشكل 5 - 6 .

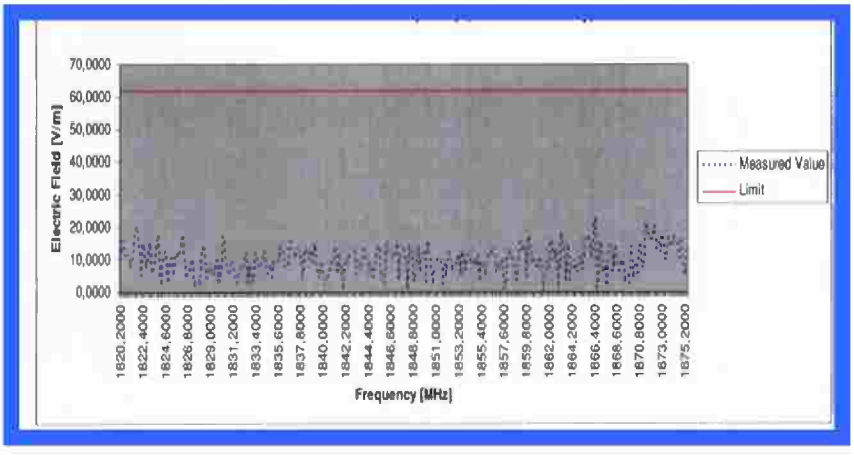
معدل الامتصاص النوعي هو مقياس الحرارة التي تمتصها الأنسجة. وتوصف بأنها انتقال الطاقة من المجالات الكهربائية والمغناطيسية إلى الجسيمات المشحونة في الوسط الماص. أو تعرف عند نقطة في الوسط الماص بأنها معدل ألتغيير في الطاقة المنقولة إلى الجسيمات المشحونة في حجم متناهي الصغر في تلك النقطة ، مقسومة على كتلة من ذلك الحجم المتناهي في الصغر.

$$SAR = \frac{\partial W_C / \partial t}{\rho_m}$$

حيث ان:

ρ_m الحجم المتناهي في الصغر في تلك النقطة .

شكل (5 - 4) شدة المجال الكهربائي كدالة للتردد (GSM 1800)



علاقة المجال الكهربائي معدل الامتصاص النوعي SAR تعطى بالعلاقة التالية

$$SAR = \frac{P}{\rho_m} = \sigma E^2 / \rho_m$$

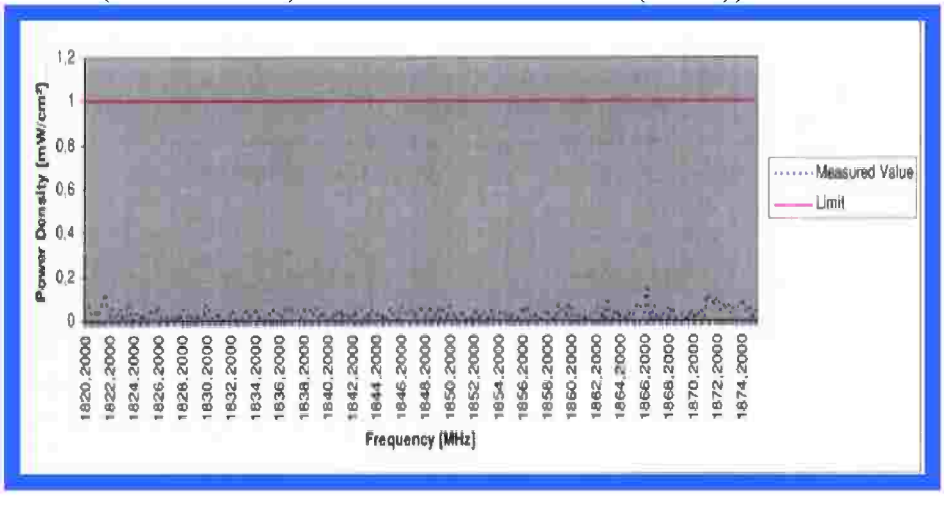
$$SAR = \omega \varepsilon_0 \varepsilon E^2 / \rho_m$$

حيث أن P هو كثافة الطاقة الممتصة

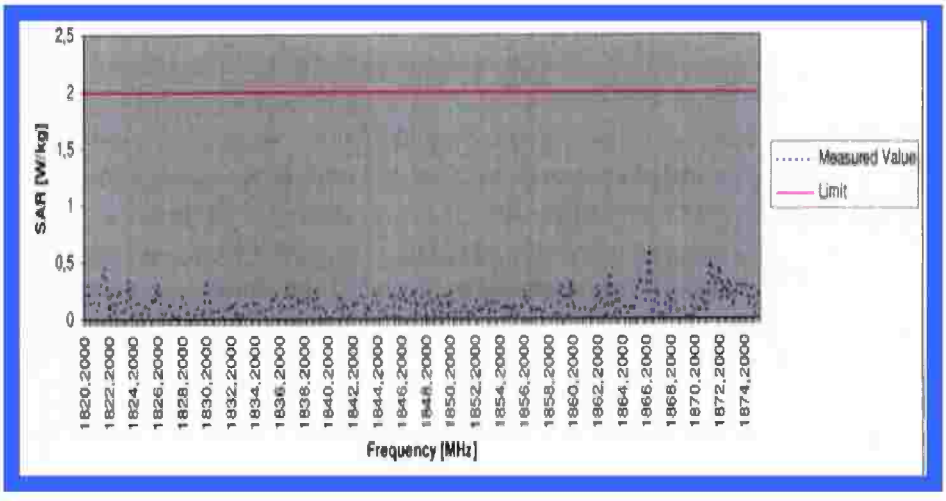
σ هو الموصلية

ε السماحية

شكل ((5 - 5) كثافة القدرة كدالة للتردد (GSM 1800)



شكل ((5 - 6) SAR كدالة للتردد (GSM 1800)



فإذا علمت شدة المجال الكهربائي والموصلية عند نقطة داخل الجسم ، مثل الدماغ ،فان معدل الامتصاص النوعي عند هذه النقطة يمكن حسابه بسهولة. جميع معلومات عن العازلة وألسماحية للدماغ موضحة في الجدول (5 -2).

الجدول (5 -2) الخواص الكهربائية لدماغ الإنسان

التردد ميجا هرتز	السماحية ε	الموصلية σ /Ωm	كتلة وحدة الحجم ρ_m كغم/م^3
900	45.8055	0.7665	1030
1800	43.5449	1.1531	1030

لزيادة حساسية منظومة القياس لمجالات الكهرومغناطيسية ، فان وظيفة عتبة المعايرة يمكن إدخالها في البرنامج ، وتطبيقها في جميع القياسات.في حالة حزمة GSM900يتم اختيار قدرة الفصل لعرض الحزمة 100 كيلو هرتز وطريقة التتبع تكون في قيمتها العظمى. وزمن البقاء (dwell time) يساوي5000 مللي ثانية وفي حالة متوسط القيم فان فترة القياس من 6 دقائق. المستوى المرجعي يثبت

على المقدار 91 dBµV وعتبة المعايرة يثبت على المقدار 71 dBµV / m لحزمة GSM1800 ، وقدرة الفصل لعرض الحزمة هو 200 كيلو هرتز وزمن البقاء 10000 مللي ثانية. المستوى المرجعي يثبت على المقدار 100 dBµV وعتبة المعايرة يثبت على المقدار 96 dBµV / m

بعد القياس يتم تحويل النتائج مباشرة لعرضها بنظام اكسل Excel بشكل جداول ورسوم بيانية. كما يمكن القيام بهذا التحويل في وقت لاحق باستخدام قائمة التصدير menu export ، لاسترداد نتائج القياس إلى تطبيقات أخرى ويمكن خزن البيانات في ملفات ASCII. للحصول على تقرير ألاختبار فمن المستحسن تنصيب نوع من أللإكسل MS-Excel على كمبيوتر محمول. في حالة التصدير غير التلقائي إلى الإكسل Excel XP والذي يسند من قبل RFEX يمكن فتح التقرير يدويا بواسطة دليل التقارير RFEX .

قياس معدل الامتصاص النوعي SAR عمليا

لقياس معدل الامتصاص النوعي SAR يتم وضع الهاتف النقال قريبا من نموذج لرأس الإنسان. يملا نموذج الرأس بسائل له خواص كهربائية مشابهة لرئس الإنسان. بواسطة ربوت يسيطر علية من خلال كمبيوتر يتم قياس المجال الكهربائي في السائل شكل (5 - 7) من هذه القياسات يمكن حساب معدل الامتصاص النوعي. كذلك يمكن قياس معدل الامتصاص النوعي أيضا بوضع الهاتف بالقرب من نموذج الجسم ، والسماع من خلال سماعة بحيث أن الهاتف يكون بعيدا عن الجسم كوضعه في مع حقيبة أو ما شابه ذلك. قياسات SAR يتم إجرائها عند المستوى الأقصى للقدرة الخارجة ، لعدد من المواقع ، و لجميع نطاقات التردد التي يعمل بها ألهاتف . القيمة القصوى لمعدل الطاقة الممتصة التي يتم الحصول عليها من جميع هذه القياسات يجب أن تكون ضمن حدود الامتثال. الاختبارات الكاملة للهاتف الجوال قد تستغرق فترة تصل إلى ثلاثة أسابيع.

شكل ((5 - 7) قياس معدل الامتصاص النوعي SAR عمليا