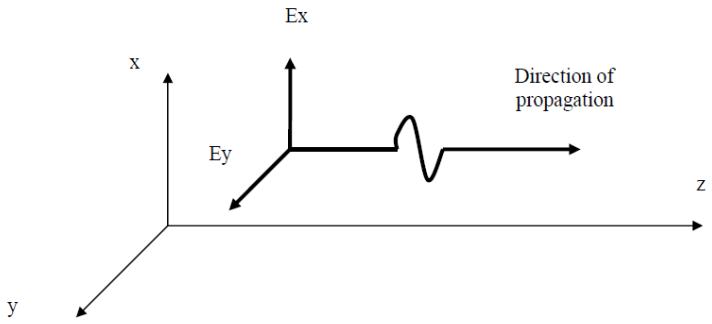
الفصل الاول/الموجات الكهرومغناطيسية

Chapter one/The Electromagnetic waves

(1-2) انتشار الموجات المستوية المنتظمة Propagation of Uniform Plane Waves

تعتبر الموجات المستوية المنتظمة ابسط انواع الموجات الكهرومغناطيسية، وخصائص هذه الموجات تتركز في كيفية انعكاسها وانكسارها وتشتتها وفقدان الطاقة بها. وللتعرف على كيفية انتشار الموجة المستوية في وسط الانتشار الموضحة في الشكل (1-5) وما الذي يحكم بعد او قرب المسافة التي يجب ان يكون عندها المستقبل. ولكي يتم ذلك فانه يجب التعرف على معادلة رياضية تصف حركة انتشار الموجة في وسط الانتشار.



شكل (1-5) الموجة المستوية المنتظمة

$$\frac{d^2E_x}{dz^2} - \gamma^2 E_x = 0 \qquad (1\text{-}1)$$

E_x : مركبة المجال الكهربائي باتجاه X

Z : اتجاه الانتشار.

γ : ثابت الانتشار .(propagation constant)

بحل المعادلة اعلاه يمكن ايجاد المجال الكهربائي كدالة للمسافة وثابت الانتشار. وبهذا يمكن ايجاد المجال الكهربائي عند اي مسافة. وكذلك توجد معادلة للمجال المغناطيسي يمكن حلها لايجاد المجال المغناطيسي عند اي مسافة. وبايجاد المجالين الكهربائي والمغناطيسي عند نقطة معينة فانه يمكن حساب الطاقة عند هذه النقطة.

يعتبر ثابت الانتشار على درجة كبيرة من الاهمية لانه يحدد للموجة المنتشرة الاتي:

a- معدل الاضمحلال في طاقة الموجة. b- سرعة الموجة.

ويعتمد هذا الثابت على الاتي:

a- خصائص وسط الانتشار الكهربائية. b- تردد الاشارة المنتشرة.

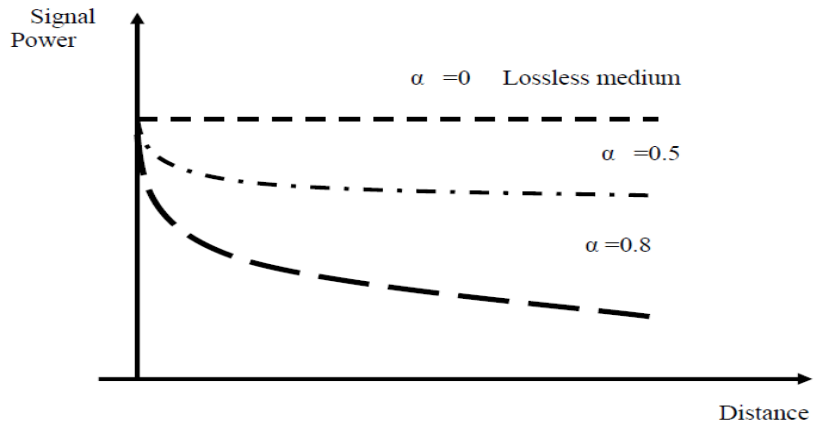
$$\gamma^2 = -\omega^2 \mu\varepsilon + j\,\omega\,\mu\,\sigma \qquad (1\text{-}2)$$

ω : التردد الزاوي للموجة (2πf)
f: تردد الموجة
ε: السماحية لوسط الانتشار (permittivity
μ : النفاذية لوسط الانتشار (permeability
σ : التوصيلية لوسط الانتشار (conductivity)
j : الجذر السالب للرقم واحد.

$$\gamma = \alpha + j\,\beta \qquad (1\text{-}3)$$

α : ثابت الاضمحلال للموجة Attenuation Constant
β : ثابت الطور للموجة Phase Constant

وثابت الاضمحلال يعطي ويبين فقد الطاقة في الموجة اثناء انتشارها.



شكل (1-6) تغير طاقة الموجة مع تغير قيمة ثابت الاضمحلال

من ثابت الطور β يمكن حساب سرعة الموجة وذلك من العلاقات التالية:

$$v_{ph} = \omega / \beta \qquad (1\text{-}4)$$

$$v_g = \partial\omega / \partial\beta \qquad (1\text{-}5)$$

v_{ph} : سرعة الطور (phases velocity)

v_g : سرعة المجموعة (الموجة) (group velocity)

سرعة الطور تمثل سرعة الموجة اذا كان الوسط غير مسبب للفقد اما اذا كان مسببا للفقد فان سرعة الموجة تعين عن طريق سرعة المجموعة.

*** ممانعة وسط الانتشار للموجة الكهرومغناطيسية تحسب بالعلاقة التالية:**

$$Z = \frac{E_x}{H_y} = \sqrt{\frac{j\omega\mu}{\sigma + j\omega\varepsilon}} \qquad (1\text{-}6)$$

وتعتمد الممانعة على خصائص وسط الانتشار الكهربائية وتردد الاشارة المنتشرة.

(1-2-1) الانتشار في الاوساط عديمة الفقد (σ = 0) The propagation in lossless media

تتميز الاوساط عديمة الفقد بان لها توصيلية تساوي صفر وهذا يعني عند الرجوع للمعادلة (1-2) نجد ان :

$$\gamma^2 = -\omega^2 \mu\varepsilon + j\omega\mu\sigma$$
$$\gamma^2 = -\omega^2 \mu\varepsilon + 0$$
$$\gamma = \sqrt{-\omega^2 \mu\varepsilon}$$
$$\gamma = j\,\omega\sqrt{\mu\varepsilon} \qquad (1\text{-}7)$$

$$\gamma = \alpha + j\,\beta \qquad \text{لكن (1-8)}$$

بالمقارنة بين المعادلتين الاخيرة نجد ان

$$\alpha = 0$$
$$\beta = \omega\sqrt{\mu\,\varepsilon}$$

$$v_{ph} = v_g = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_\circ \mu_\circ}} = 3 \times 10^8 m/sec$$

اما ممانعة الوسط عديم الفقد فتحسب من المعادلة (1-6) بتعويض σ = 0 كالتالي :

$$Z = \frac{E_x}{H_y} = \sqrt{\frac{j\omega\mu}{\sigma + j\omega\varepsilon}} = \sqrt{\frac{\mu_\circ}{\varepsilon_\circ}} = 120\pi = 377\Omega$$

مثال/ موجة كهرومغناطيسية مستوية منتظمة تنتشر في وسط عديم الفقد وله معامل نفاذية نسبي يساوي 4 ومعامل سماحية نسبي يساوي واحد. جد: 1- ثابت الاضمحلال 2- ثابت الطور 3- سرعة الطور 4- سرعة المجموعة.

1- $\alpha=0$

2- $\beta=\omega\sqrt{\mu\,\varepsilon}$

3- $v_{ph}=\frac{\omega}{\beta}=\frac{1}{\sqrt{\mu\,\varepsilon}}=\frac{1}{\sqrt{\mu_r\mu_\circ\,\varepsilon_r\varepsilon_\circ}}$

$=1/\sqrt{4\times 8.85\times 10^{-8}\times 1\times 4\pi 10^{-7}}$

$=3x10^8/2$ m/sec

اي ان سرعة الموجة في هذا الوسط تساوي نصف سرعة الضوء.

4- $Z=\sqrt{\frac{j\omega\mu}{\sigma+j\omega\varepsilon}}=\sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}=\sqrt{\frac{\mu_r\mu_\circ}{\varepsilon_\circ\varepsilon_r}}=\sqrt{\frac{1\times 4\pi 10^{-7}}{4\times(\frac{1}{36\pi})10^{-9}}}=120\pi/2$

من هذا يتضح ان ممانعة الوسط للموجة اصبح نصف ممانعة الفراغ عديم الفقد لهذه الموجة.

(1-2-2) الاوساط جيدة التوصيل والاوساط العازلة Conductors and Dielectric Materials

لكي نحكم على ان وسط الانتشار جيد التوصيل او جيد العزل يجب ان نتعرف على كيفية التفرقة بين هذين الوسطين ويتم ذلك بقياس الكمية الاتية:

$\sigma / \omega \varepsilon$

ففي حالة الاوساط الجيدة العزل تكون هذه الكمية تتبع العلاقة الاتية:

$\sigma / \omega \varepsilon << 1$

وفي حالة الاوساط الجيدة التوصيل تكون هذه الكمية تتبع العلاقة الاتية:

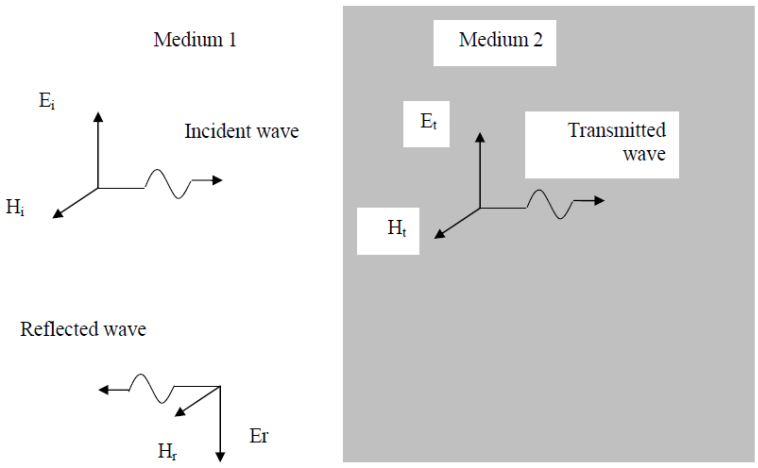
$\sigma / \omega \varepsilon >> 1$

مما سبق يتضح ان التوصيلية او العزل للوسط تعتمد على:

a- خصائص وسط الانتشار الكهربائية. b- تردد الاشارة المنتشرة.

(1-3) السقوط المتعامد للموجات المستوية المنتظمة على اسطح مستوية Normal Incidence of Uniform Plane Waves on Plane Boundaries

عندما تسقط الموجات الكهرومغناطيسية من وسط على وسط اخر يختلف في الخصائص الكهربائية فان هذه الموجات قد تعاني من الانعكاس او الانكسار والتبعثر. وهنا سوف نعين المعاملات الاساسية ونحدد كيف تنعكس وتنكسر الموجة وما قيمة الموجات المنعكسة والمنكسرة وما تاثير الاوساط على قيم هذه الموجات.



شكل (1-7) السقوط المتعامد للموجات المستوية المنتظمة على اسطح مستوية.

ولتعيين قيمة الموجات المنكسرة (Refracted waves) والمنعكسة (Reflected waves) فانه يجب اولا تحديد قيمة الموجات الساقطة (Incident waves) ويتم ذلك بحل معادلة الموجة:

$$\frac{d^2E_x}{dz^2} - \gamma^2 E_x = 0$$

والحل العام لهذه المعادلة هو :

$$E_x = E_m^+ e^{-\gamma z} + E_m^- e^{+\gamma z}$$

الجزء الاول من المعادلة السابقة يسمى الموجة الامامية (Forward wave) وهي التي تنتشر في الاتجاه الموجب لاتجاه Z . اما الجزء الثاني فيسمى الموجة الخلفية (Backward wave) وهي التي تنتشر في الاتجاه السالب لاتجاه Z . وسنكتفي بالجزء الاول من المعادلة السابقة.

المجال الكهربي الساقط:

$$E_i = E_m^+ e^{-\gamma z} a_x$$
$$= E_m^+ e^{-\alpha z} e^{-\beta z} a_x$$

المجال المغناطيسي الساقط:

$$H_i = H_m^+ e^{-\gamma z} a_y$$
$$= H_m^+ e^{-\alpha z} e^{-\beta z} a_y$$

$$H_i = \frac{E_i}{Z_1}$$

المجال الكهربي المنعكس:

$$E_r = E_m^+ e^{-\gamma z} a_x$$
$$= E_m^+ e^{-\alpha z} e^{-\beta z} a_x$$

المجال المغناطيسي المنعكس:

$$H_r = H_m^+ e^{-\gamma z} a_y$$
$$= H_m^+ e^{-\alpha z} e^{-\beta z} a_y$$

$$H_r = \frac{E_r}{Z_1}$$

المجال الكهربائي المنكسر

$$E_t = E_t^+ e^{-\gamma z} a_x$$
$$= E_t^+ e^{-\alpha z} e^{-\beta z} a_x$$

المجال المغناطيسي المنكسر:

$$H_r = H_t^+ e^{-\gamma z} a_y$$
$$= H_t^+ e^{-\alpha z} e^{-\beta z} a_y$$

$$H_r = \frac{E_t}{Z_2}$$

من هذه العلاقات يمكن استنتاج معامل الانعكاس ومعامل الانكسار.

* معامل الانعكاس (Reflection coefficient) : يتحدد بالعلاقة بين الموجة المنعكسة والموجة الساقطة

$$\Gamma = \frac{E_r}{E_i} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \qquad (1\text{-}9)$$

حيث Z_1 : ممانعة وسط السقوط.

Z_2 : ممانعة وسط الانكسار (الانتقال).

من معادلة (1-9) يتضح ان:

1- اذا كان $Z_1 = Z_2$ فان معامل الانعكاس يساوي صفر والموجة تسير في نفس الوسط.

2- اذا كان الوسط الثاني له ممانعة تساوي صفر فان معامل الانعكاس يساوي 1 وهذا يدل على انه حدث انعكاس كلي ولم يحدث انكسار في الوسط الثاني.

* معامل الانتقال (Transmission coefficient) : يتحدد بالعلاقة بين الموجة المنتقلة والموجة الساقطة

$$T = \frac{E_t}{E_i} = \frac{2Z_2}{Z_2 + Z_1} \qquad (1\text{-}10)$$

من معادلة (1-10) يتضح ان:

1- اذا كان $Z_1 = Z_2$ فان معامل الانتقال يساوي 1 والموجة تنتقل كليا الى الوسط الثاني.

2- اذا كان الوسط الثاني له ممانعة تساوي صفر فان معامل الانتقال يساوي صفر وهذا يدل على انه حدث انعكاس كلي ولم يحدث انتقال في الوسط الثاني.

من العلاقات السابقة يتضح انه عندما يكون معامل الانعكاس يساوي واحد يكون معامل الانتقال يساوي صفر والعكس صحيح لذلك فالعلاقة بين هذين العاملين هي:

$$\Gamma + T = 1 \qquad (1\text{-}11)$$

مثال1: موجة كهرومغناطيسية مستوية لها قيمة 100 V/m تسقط عموديا من الفراغ على وسط اخر له سطح مستو وله ممانعة تساوي 70 Ω اوجد: 1- معامل الانعكاس 2-معامل الانتقال 3- قيمة الموجة المنعكسة 4- قيمة الموجة المنكسرة 5- الشرط الذي يحدث عنده انعكاس كلي 6- الشرط الذي يحدث عنده انتقال كلي.

الحل:

1- $\Gamma = \frac{E_r}{E_i} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$

$= \frac{70-377}{70-377} = -0.69$

2- $T = \frac{E_t}{E_i} = \frac{2Z_2}{Z_2 + Z_1}$

$= \frac{2\times 70}{70+377} = 0.31$

3- $\Gamma = \frac{E_r}{E_i}$

$-0.69 = \frac{E_r}{100}$

E_r=-69 V/m

4- $T = \frac{E_t}{E_i}$

$0.31 = \frac{E_t}{100}$

E_t=31 V/m

من العلاقات السابقة يتضح ان حاصل جمع القيمة المطلقة لمعامل الانعكاس والانتقال هي:

$\Gamma + T = 0.69 + 0.31 = 1$

$Er + Et = 69 + 31 = 100 = Ei$

$Et = Ei - Er = 100 - 69 = 31 V/m$

5- Z_2=0

6- $Z_1 = Z_2$

اسئلة الفصل

س1: موجة كهرومغناطيسية مستوية لها قيمة 100 V/m تسقط عموديا من الفراغ على وسط اخر له سطح مستو وله ممانعة تساوي 300 Ω اوجد: 1- معامل الانعكاس 2-معامل الانتقال 3- قيمة الموجة المنعكسة 4- قيمة الموجة المنكسرة .