Chapter Seven الفصل السابع

خطـوط النقــل

Transmission Lines

Sequence:58

- المقدمة.
- حــل معادلــة خــط النقل.
- خطوط النقل ذات الخسارة الواطئة.

المقدمة

- تعتبر خطوط النقل الكهربائية بمثابة الشرايين لمنظومات القوة الكهربائية حيث أمكن عن طريقها نقل الطاقة الكهربائية عبر مسافات طويلة من اماكن التوليد الى مرتكز الاستهلاك بتكلفة اقتصادية وتقنيات فنية عالية . وخطوط النقل غالبا ما تكون في صورة خطوط نقل هوائية فوق الرأس ، ويطلق عليها الخطوط الهوائية لكون الهواء هو العازل الرئيسي بين الموصلات. وتصنف خطوط النقل الكهربائي بانواعها المختلفة وتصنيفاتها الى خطوط قصيرة ومتوسطة وطويلة حسب طول الخط النقل الكهربائي
- خطوط النقل القصيرة: هي الخطوط التي لا تتعدى أطوالها 80 km وغالبا لا يزيد جهدها عن 33 kv وتعتبر معظم الخطوط في الدول العربيه كانت حكرا على هذا المستوى. وتمثل كفاءة خط النقل النسبة بين القدرة الفعالة المنقولة على الخط والتي تصل للمستهلك والقدرة الفعالة المولدة عند الإرسال.
- خطوط النقل المتوسطة: هي الخطوط التي أطوالها تتراوح مابين Km (240 – 80) وفي مثل هذه الخطوط يتم فيها اهمال الرادة السعوية للخط نظرا لقيمتها الضعيفة.
- خطوط النقل الطويلة: وهي الخطوط التي اطولها تزيد عن 240 km ويكون ثوابته موزعة على طول الخط وليست مجمعة في نقطة أو نقطتين وذلك لضمان دقة الحسابات .

Solution of Equation of Transmission Line حـل معادلة خط النقل

- عند ملاحظة المعادلتين (7) و (8) وهما وكا قلنا معادلتان تسميان بمعادلتي خط النقل لكل من الفولتية والتيار.
- وكما تسميان ايضاً بمعادلتي التلغراف وهما معادلتان تفاضليتان خطيتان من الدرجة الثانية يحققان الحلان ($e^{+\gamma z}$ و $e^{-\gamma z}$) ، على أعتبار أن :

$$\gamma = \sqrt{ZY} \quad \text{..... (9)}$$

- وتسمى (γ) بثابت الانتشار على خط النقل وهو مقدار عقدي لان كل من Z و Y مقداران عقديان. وبما ان الحلين السابقين يحققان المعادلتين التفاضليتين (7) و (8) لذلك فأن الحل الكامل للمعادلة (7) يكون مجموع هذين الحلين أي أن :

$$V = c_1 e^{-\gamma z} + c_2 e^{+\gamma z} \quad \text{..... (10)}$$

- أذ أن (c_1 & c_2) هما مقداران ثابتان لا على التعيين بالنسبة للمحور (z) ، ويمكن معرفة قيمتها بأستعمال الشروط الحدودية . وبأستعمال المعادلة (10) في المعادلة التفاضلية (3) نحصل على الحل الخاص بالتيار وكالآتي:

$$I = \frac{\gamma}{z}\left(c_1 e^{-\gamma z} - c_2 e^{+\gamma z} \right) \quad \text{..... (11)}$$

- ومن ملاحظة المعادلة (9) نجد ان قيمة كاما تكون عقدية لأن كلاً من (Z) و (Y) عقديتان.

- إن طبيعة الممانعة لوحدة الطول z تكون أعتيادياً حثية كما أن طبيعة السماحية لوحدة الطول Y تكون سعوية، ويمكن كتابتهما بالشكل التالي :

$$Z = R + jwL \quad \text{..... (12)}$$

$$Y = G + jwC \quad \text{..... (13)}$$

- حيث R و L و G و C تمثل المقاومة والمحاثة والتوصيلية والسعة وجميعها لوحدة الطول لخط النقل ، على التوالي.

وبذلك تكون قيمة كاما كالآتي:

$$\gamma = [(R + jwL)(G + jwC)]^{\frac{1}{2}} \quad \text{..... (14)}$$

- ويمكن كتابة كاما كمقدار عقدي كالآتي:

$$\gamma = \alpha + j\beta \quad \text{..... (15)}$$

- وتسمى الفا (α) ثابت المضاءلة او ثابت الأضمحلال وتمثل بيتا (β) ثابت الطور لخط النقل . ومن المعادلتين الأخيرتين نجد أن :

$$\alpha^2 - \beta^2 = RG + w^2 LC \quad \text{..... (16)}$$

$$2\alpha\beta = (LG + RC)w \quad \text{..... (17)}$$

ومن حل المعادلتين الأخيرتين آنيا نحصل على:

$$\alpha = \left[\frac{(RG - w^2 LC) + \{(R^2 + w^2 L^2)(G^2 + w^2 C^2)\}^{\frac{1}{2}}}{2}\right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{..... (18)}$$

$$\beta = \left[\frac{-(RG - w^2 LC) + \{(R^2 + w^2 L^2)(G^2 + w^2 C^2)\}^{\frac{1}{2}}}{2}\right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{..... (19)}$$

- **********

- **ولأيجاد قيم الثابتين (*c1 & c2*) ي المعادلتي (10) و (11) فأننا نعوض قيمة فرق الجهد (V) في المعادلة (10) عندما تكون (z=0) فنحصل على :**

$$V_{z=0} = c_1 + c_2 \quad \text{..... (20)}$$

- **وبما أن هذه القيمة للجهد تكون عند بداية الخط (z=0) لذلك يمكننا القول أن (V) تتكون من فولتيتين غير متساويتين ومتغيرتين مع الزمن لذلك يمكننا أن نعوض عن الثابتين (*c1 & c2*) بالمقدارين التاليين:**

$$c_1 = V_1 e^{jwt} \quad \text{..... (21)} \qquad c_2 = V_2 e^{jwt} \quad \text{..... (22)}$$

- **وبهذا تأخذ المعادلتين (10) و (11) الشكل التالي :**

$$V = V_1 e^{j(wt-\beta z)} e^{-\alpha z} + V_2 e^{j(wt+\beta z)} e^{\alpha z} \quad \text{..... (23)}$$

$$I = \frac{\gamma}{Z}(V_1 e^{j(wt-\beta z)} e^{-\alpha z} - V_2 e^{j(wt+\beta z)} e^{\alpha z} \quad \text{..... (24)}$$

- **من ملاحظة العلاقتين (23) و (24) نجد انهما يمثلان موجتين منتقلتين احدهما باتجاه (z) (ويمثلها الحد الأول) والاخـرى باتجاه (-z) (ويمثلها الحد الثاني) . ويمثل المقدار $(wt - \beta z)$ طور الموجة وتبقى قيمته ثابتة عندما يرصد من قبل راصد يتحرك بسرعة الموجة نفسها وهذا معناه أن مشتقة المقدار $(wt - \beta z)$ بالنسبة الى الزمن تكون مساوية للصفر.**

$$\frac{d}{dt}(wt - \beta z) = 0 \qquad \text{..... (25)}$$

$$\therefore \frac{dz}{dt} = \frac{w}{\beta} = v_p \qquad \text{..... (26)}$$

- **وتمثل (v_p) سرعة الطور للموجة. هذا بالنسبة للموجة المتحركة باتجاه (z).**
- **أما بالنسبة للموجة المتحركة باتجاه (-z) :**

$$\frac{d}{dt}(wt + \beta z) = 0 \qquad \text{..... (27)}$$

$$\therefore \frac{dz}{dt} = -\frac{w}{\beta} = -v_p \qquad \text{..... (28)}$$

- **وتكون السرعة سالبة القيمة لأنها في التجاه (-z) لذلك فأن القيمة المطلقة لسعة الطور تكون مساوي الى**
- **((w/β))، وبما أ، السرعة تكون مساوية الى حاصل ضرب التردد في الطول الموجي لذلك فأننا نحصل على:**

$$\frac{\omega}{\beta} = \upsilon_p = f\lambda$$

$$\therefore \beta = \frac{\omega}{f\lambda} = \frac{2\pi}{\lambda} \qquad \text{..... (29)}$$

- **********

خطوط النقل ذات الخسارة الواطئة

- **********

- **بما ان كلا من الفا وبيتا يعتمد على التردد، لذلك عند انتقال موجات مختلفة التردد أو حزمة من الترددات في خط نقل يصبح هناك تشويه في الموجة. وللتخلص من هذا التشويه يجب أن تكون المضاءلة أو سرعة الطور في الخط لاتعتمد على التردد. ويتم ذلك بتصميم خط نقل وجعل المقدارين ($\frac{G}{wC}, \frac{R}{wL}$) فيه صغيرين جدا" بالنسبة للواحد ، أي فأن:**

$$\frac{G}{\omega C} << 1 \quad , \quad \frac{R}{\omega L} << 1$$

$$\gamma = [(RG - w^2 LC) + j(LG + RC)w]^{\frac{1}{2}}$$

$$= [(1 - w^2 LC)\{1 - \frac{RG}{w^2 LC} - j(\frac{G}{wC} + \frac{R}{wL})\}]^{\frac{1}{2}}$$

- **وبهذا يمكن كل من المقدارين $\frac{RG}{W^2 LC}$ وكذلك $\frac{G}{WC}$ بالنسبة للواحد. وبالرجوع الى المعادلتين (18) و(19) فأن كلا من الفا وبيتا تأخذ الشكل التالي :**

$$\alpha = \sqrt{\frac{\omega^2 LC}{2}[\frac{RG}{\omega^2 LC} - 1 + \sqrt{1 + \frac{R^2}{\omega^2 L^2} + \frac{G^2}{\omega^2 C^2}}]}$$

-

$$\therefore \alpha = \left[\frac{\omega^2 LC}{2}\left(\frac{RG}{\omega^2 LC} - 1 + 1 + \frac{R^2}{2\omega^2 L^2} + \frac{G^2}{2\omega^2 C^2}\right)\right]^{1/2}$$

- وبأهمال المقدارين $\frac{RG}{\omega^2 LC}, \frac{G^2}{\omega^2 C^2}$ لصغرهما نحصل على :

$$\alpha = \frac{R}{2}\sqrt{\frac{C}{L}} \quad \ldots\ldots (30)$$

- أما المقدار بيتا فيأخذ الشكل التالي:

$$\beta = \sqrt{\frac{\omega^2 LC}{2}\left[-\frac{RG}{\omega^2 LC} + 1 + \sqrt{1 + \frac{R^2}{\omega^2 L^2} + \frac{G^2}{\omega^2 C^2}}\right.}$$

$$\beta = \sqrt{\frac{\omega^2 LC}{2}\left[-\frac{RG}{\omega^2 LC} + 1 + 1 + \frac{1}{2}\frac{R^2}{\omega^2 L^2} + \frac{1}{2}\frac{G^2}{\omega^2 C^2}\right]}$$

- وبأهمال المقدارين $\frac{G^2}{2\omega^2 C^2}, \frac{R^2}{2\omega^2 L^2}, \frac{RG}{\omega^2 LC}$ لصغرهما نحصل على :

$$\beta = \omega\sqrt{LC} \quad \ldots\ldots (31)$$

- **وبذلك فأن سرعة الطور تأخذ الشكل التالي:**

$$v_p = \frac{\omega}{\beta} = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \text{..... (32)}$$

- **وللتخلص من التشويه للأشارة في خط النقل يجب أن تكون المضاءلة أو سرعة الطور في الخط لاتعتمد على التردد، ويمكن تحقيق ذلك عملياً كما يلي :**

- **1- أن المقدار (G/wC) يكون أعتيادياً صغيراً لاسيما للترددات العالية.**

- **2- لكي نجعل المقدار (R/wL) صغيراً فأننا لايمكن أن نجعل قيمة المقاومة (R) أصغر من قيمة معينة لذلك نعمد الى زيادة قيمة الحث الذاتي للملف (L) ويكون ذلك بأضافة ملفات صغيرة وبصورة دورية على خط النقل حيث تضاف عدة ملفات لطول من الخط يعادل طول الموجة. أن هذه العملية تقلل من قيمة ثابت المضاءلة الفا ايضاً**

مثـــــــال : خط نقل ذو خسارة واطئة فيه ($L=0.6\mu H/m$) و ($C=240\ PF/m$) ينقل موجة ترددها الزاوي ($w=2\pi\times10^{8}rad/\sec$). احسب كلا من ثابت الطور بيتا و ثابت المضائلة ألفا والطول الموجي وسرعة الطور. علما ان قيمة المقاومة تساوي ($R=300\ \Omega$)

الحـــــل:

$$\because \beta = w\sqrt{LC}$$

1- حساب قيمة بيتا من المعادلة (31) :

$$\therefore \beta = 2\pi\times10^{8}\times\sqrt{0.6\times10^{-6}\times240\times10^{-12}}\ 2.4\pi\ (m^{-1})$$

2- حساب قيمة ألفا من المعادلة (30) :

$$\alpha = \frac{R}{2}\sqrt{\frac{C}{L}} = \frac{300}{2}\sqrt{\frac{240\times10^{-12}}{0.6\times10^{-6}}} = 94.9$$

3- حساب قيمة الطول الموجي من المعادلة التالية :

$$\lambda = \frac{2\pi}{\beta} = \frac{2\pi}{2.4\pi} = 0.833\ m$$

4- 1- حساب قيمة سرعة الطور المعادلة (32) :

$$\because\ v_p = \frac{w}{\beta} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$\therefore\ v_p = \frac{2\pi\times10^{8}}{2.4\pi} = 0.833\times10^{8}\ (m/\sec)$$

الخلاصة Summary

- تضمنت المحاضرة النقاط المهمة التالية :
- ايجاد الحل لمعادلتي خط النقل لكل من التيار والفولتية .
- تعريف كلا من ثابت الأنتشار كاما وثابت الانتشار بيتا وثابت المضائلة ألفا وسرعة الطور لخط النقل بصورة عامة (والمتكون من موصلين متوازيينن).
- ـ تعريف الثوابت ألفا وبيتا وسرعة الطور لخط النقل ذو الخسارة الواطئة.
- للتخلص من التشويه للأشارة في خط النقل ذو الخسارة الواطئة يجب أن تكون المضاءلة ألفا أو سرعة الطور في الخط لاتعتمد على التردد، ويمكن تحقيق ذلك عملياً بجعل المقدار (R/wL) صغيراً فأننا لايمكن أن نجعل قيمة المقاومة (R) أصغر من قيمة معينة لذلك نعمد الى زيادة قيمة الحث الذاتي للملف (L) ويكون ذلك بأضافة ملفات صغيرة وبصورة دورية على خط النقل حيث تضاف عدة ملفات لطول من الخط يعادل طول الموجة. أن هذه العملية تقلل من قيمة ثابت المضائلة الفا ايضاً.
- مثـــــال .
- أختبـــار.

Start Formative Assessment