

# Chapter Seven      الفصل السابع

## خطوط النقل

## Transmission Lines

### Sequence:59

- المقدمة.
- خط النقل بدون خسارة.
- خط النقل لأنتهي الطول والخط الموائم.
- مميزات خط النقل بدون خسارة.

## المقدمة

- أي دائرة تحتوي على مجموعة من الممانعات المتصلة على التوالي و التوازي يجب أن يكون لها ممانعة داخلية. وبالنسبة لخط النقل فإن الممانعة تعتمد على نوع خط النقل وطول خط النقل ونوع المقاومة على نهاية الخط.
- أن الخط الممتد يمكن أن يوضح بواسطة عدد لا نهائي من المحثات و المتسعات وإذا كان هناك فرق في الجهد في الخط فإن التيار سوف يمر بشكل مستمر ، أي أنه يجب وجود فرق في الجهد على الخط لكي يسرى التيار.
- إذا كان الخط منتظم الممانعة في أي جزء من أجزائه فإنه سوف يكون للتيار قيمة و بناءً على ذلك إذا كان التيار و فرق الجهد على الخط محددان فإن الممانعة يمكن إيجادها بواسطة قانون اوم وهذه الممانعة تم إيجادها و تعرف على أنها الممانعة الموجية على الخط ، ويرمز لها بالرمز  $(Z_0)$ .
- و يمكن تعريف الممانعة على أنها الممانعة المقاسة عند مدخل الخط عندما يكون طول الخط لانتهائى. وعند ربط ممانعة على نهاية الخط مساوية للممانعة عند المدخل فإن اعلى قيمة للطاقة تنتقل من بداية الخط حتى نهايته بمعنى انه لنقل قيمة طاقة الإشارة عند المدخل بكامل قدرتها يجب أن يحتوي المخرج على ممانعة مساوية لممانعة المدخل.
- و إذا كان الخط لا نهائي الطول فإن جميع الطاقة المغذية سيتم امتصاصها ، حيث أن الجهد و التيار يتلاشيان وذلك لان هبوط في الجهد يحدث خلال المحاثه و كذلك تسرب للتيار خلال المتسعة.

## خط النقل بدون خسارة

- يعتبر خط النقل بدون خسارة إذا كان ثابت المضاعفة صغيراً جداً بحيث يمكن إهماله وتكون هذه الحالة صحيحة لخطوط النقل القصيرة التي تستعمل في التجارب العملية في المختبرات . وبذلك فإن معادلتَي الفولتية والتيار لخط النقل بدون خسارة تأخذان الشكل التالي :

$$V = V_1 e^{-j\beta z} + V_2 e^{j\beta z} \quad \dots (33)$$

$$I = \frac{\gamma}{Z} (V_1 e^{-j\beta z} - V_2 e^{j\beta z}) \quad \dots (34)$$

- حيث أن العامل  $e^{j\omega t}$  متضمن في  $V_1, V_2$
- ويأخذ ثابت الانتشار لخط النقل بدون خسارة الشكل التالي :

$$\gamma = j\beta \quad \dots (35)$$

- وبهذا يكون ثابت الانتشار مقداراً خيالياً خالصاً اي ان الموجة التي ينقلها الخط لاتعاني من المضاغلة. اما الممانعة

لوحة الطول لهذا الخط فتأخذ الشكل التالي:

$$Z = j\omega L \quad \dots (36)$$

- وذلك لأن المقاومة الأومية ( R ) تكون مساوية الى الصفر . وبهذا فإن النسبة  $\left(\frac{\gamma}{Z}\right)$  تكون:

$$\therefore \frac{\gamma}{Z} = \frac{j\beta}{j\omega L} = \frac{\omega \sqrt{LC}}{\omega L} = \sqrt{\frac{C}{L}} = \frac{1}{Z_0} \quad \dots (37)$$

- وتسمى النسبة  $\left(\frac{Z}{\gamma}\right)$  بالممانعة المميزة لخط النقل ويرمز لها بالرمز (  $Z_0$  ) ، وهي في هذه الحالة حقيقية أي أنها مكافئة الى

مقاومة أومية خالصة. وعندما نأخذ هذا بعين الاعتبار فإن المعادلة (34) تأخذ الشكل التالي :

$$I = \frac{1}{Z_0} (V_1 e^{-j\beta z} - V_2 e^{j\beta z})$$

## خط النقل لأنتهي الطول والخط الموائم

- نفرض ان لدينا خط نقل لانتهي الطول وفي بداية هذا الخط ( $z=0$ ) فان الفولتية تكون مساوية الى ( $V_0$ ) ، وبذلك تأخذ المعادلة الخاصة بالفولتية الصيغة التالية:

$$V_0 = V_1 + V_2 \quad \dots (38)$$

- وعندما تقترب قيمة ( $z$ ) من اللانهاية فان الفولتية على الخط تكون مساوية الى الصفر وكذلك المقدار ( $V_1 \exp(-\gamma z)$ ) يكون مساوياً الى الصفر، وبهذا تكون معادلة الفولتية على خط النقل كالاتي :

$$V_2 e^{\gamma z} = 0 \quad \dots (39)$$

- ونجد من العلاقة الاخيرة ان ( $V_2=0$ ) ، ومعنى هذا عندما يكون طول خط النقل لانتهي الطول فان ( $V_2=0$ ) وعليه لا توجد موجة مرتده وإنما تنتقل الموجة في اتجاه واحد فقط هو الاتجاه ( $z$ ). وعندما نعوض هذه القيمة الابتدائية للفولتية ( $V_2$ ) في المعادلة (38) للخط لأنتهي الطول نجد أن :

$$\therefore V_0 = V_1 \quad \dots (40)$$

- وعليه فان معادلتى الفولتية والتيار على خط النقل لانتهي الطول وبخسارة تساوي :

$$V = V_0 e^{-\gamma z} \quad \dots (41)$$

$$I = \frac{V_0}{Z_0} e^{-\gamma z} \quad \dots (41)$$

• أما معادلتى الفولتية والتيار على خط النقل لانهاى الطول وبدون خسارة تساوي :

$$V = V_0 e^{-j\beta z} \quad \dots (43)$$

$$I = \frac{V_0}{Z_0} e^{-j\beta z} \quad \dots (44)$$

• إذ أن  $(Z_0)$  فى المعادلتين (42) و (44) تمثل الممانعة المميزة لخط النقل إذ انها تساوي فى الحالة الأولى النسبة

$\left(\frac{Z}{\gamma}\right)$  وتساوي فى الحالة الثانية  $\left(\sqrt{\frac{L}{C}}\right)$ . وأن  $(Z_0)$  تساوي النسبة بين الفولتية والتيار فى أية نقطة من نقاط

الخط لانهاى الطول.

\*\*\*\*\*

• الفرضية أعلاه كانت التخلص من الموجة المرتدة بافتراض إن خط النقل لانهاى الطول. وهذا غير ممكن عملياً.

• ولتحقيق ذلك عملياً تربط فى نهاية خط نقل (طوله  $l$ ) ممانعة تساوي الممانعة المميزة لخط النقل وبذلك يقضى على

الموجة المرتدة وتبقى موجة واحدة منتشرة باتجاه  $z$ . تسمى هذه الحالة بالموائمة ويسمى الخط بخط النقل الموائم.

وهي عملية مهمة فى نقل القدرة. و لتوضيح ذلك نأخذ خط نقل طوله  $l$  ونربط فى نهايته ممانعة تساوي  $(Z_0)$

$$\therefore Z_0 = \frac{V}{I} \Rightarrow \therefore Z_r = \frac{V_l}{I_l} = Z_0$$

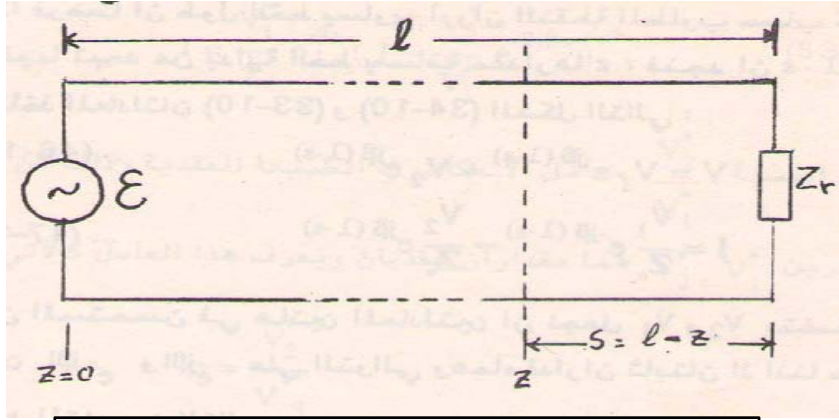
$$\therefore Z_0 = \frac{V_1 e^{-j\beta l} + V_2 e^{j\beta l}}{\frac{1}{Z_0} (V_1 e^{-j\beta l} - V_2 e^{j\beta l})} \quad \dots (45)$$

$$2V_2 e^{j\beta l} = 0$$

$$\therefore V_2 = 0$$

- وهذا يعني عدم وجود موجة منعكسة على خط النقل. وهذا يعني ان خط النقل الذي تربط في نهايته ممانعة تساوي الممانعة المميزة لخط النقل هذا لا توجد عليه موجة منعكسة ويكون الخط في حالة موائمة. ونستنتج من هذا ان الخط موائم يكافىء خطأ لانهاى الطول.

## مميزات خط النقل بدون خسارة



شكل (6): خط النقل ذو السلكين المتوازيين

\*\*\*\*\*

- يمكن حل معادلة خط النقل بدون خسارة وذلك بإيجاد
- $V$  و  $I$  في بداية الخط وفي نهايته ولكن هذه الطريقة غير
- عملية لان أجهزة قياس الفولتية والتيار (الفولتمتر والاميتير)
- لا تستطيع قياسها عندما تكون الترددات عالية بالإضافة إلى

• أنها طريقة غير كفوءة لذلك يجب استخراج معاملات خاصة بخط النقل يمكن من خلالها معرفة الفولتية والتيار في اية نقطة من نقاط خط النقل.

• في اية نقطة تبعد  $z$  من بداية الخط فإننا سنتطرق الى بعد جديد ( $s$ ) وهو البعد من نهاية خط النقل (الحمل).

• فاذا كان طول الخط يساوي  $l$  وان النقطة تبعد  $z$  من بداية الخط فيمكن حساب الفولتية والتيار في هذه النقطة

$$(z = l - s)$$

$$V = V_1 e^{-j\beta(l-s)} + V_2 e^{j\beta(l-s)} \quad \dots (46)$$

$$I = \frac{1}{Z_0} (V_1 e^{-j\beta(l-s)} - V_2 e^{j\beta(l-s)}) \quad \dots (47)$$



**مثال :** خط نقل ذو خسارة واطنة فيه (  $L=0.6\mu H/m$  ) و (  $C=240 PF/m$  ) ينقل موجة ترددها الزاوي (  $\omega=2\pi\times 10^8 rad/sec$  ) احسب كلا من ثابت الطور بيتا والطول الموجي وممانعة الادخال.

**الحل:**

$$\therefore \beta = \omega \sqrt{LC}$$

$$\therefore \beta = 2\pi \times 10^8 \times \sqrt{0.6 \times 10^{-6} \times 240 \times 10^{-12}} = 2.4 \pi (m^{-1})$$

1- حساب قيمة بيتا من المعادلة (31) :

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

2- حساب قيمة الطول الموجي من المعادلة التالية :

$$\therefore \beta l = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{\lambda}{4} = \frac{\pi}{2} \Rightarrow \therefore \tan \beta l = \infty$$

3- حساب ممانعة الادخال من المعادلة التالية :

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{60 \times 10^{-8}}{240 \times 10^{-12}}} = 25 \Omega \quad \therefore Z_{in} = Z_0 \frac{z_r + j \tan \beta l}{1 + j z_r \tan \beta l}$$

$$\therefore Z_{in} = Z_0 \frac{\frac{z_r}{\tan \beta l} + j}{1 + j z_r \tan \beta l} = Z_0 \frac{j}{j z_r} = \frac{Z_0}{z_r} = \frac{Z_0}{Z_r} = \frac{Z_0^2}{Z_r} = \frac{(25)^2}{-j100} = j6.25 \Omega$$

## Summary

## الخلاصة

- تضمنت المحاضرة النقاط المهمة التالية :
- ان خط النقل بدون خسارة هو الخط الذي يكون فيه ثابت المضاعلة صغيراً جداً بحيث يمكن اهماله وتكون هذه الحالة صحيحة لخطوط النقل القصيرة التي تستعمل في التجارب العملية في المختبرات.
- تعريف الممانعة المميزة لخط النقل والتي يرمز لها بالرمز  $( Z_0 )$  ، وهي في حالة خط النقل بدون خسارة تكون ذات قيمة حقيقية أي أنها مكافئة الى مقاومة أومية خالصة.
- عندما يكون طول خط النقل لانهايي الطول فإن  $( V_2=0 )$  وعليه لا توجد موجة مرتده وإنما تنتقل الموجة في اتجاه واحد فقط هو الاتجاه  $(z)$ .
- ان استخدام خط نقل طويل جداً التخلص من الموجة المرتدة وذلك بافتراض إن خط النقل لانهايي الطول هي حالة غير ممكن عملياً. ولتحقيق ذلك عمليا تربط في نهاية خط نقل (طوله  $l$ ) ممانعة تساوي الممانعة المميزة لخط النقل وبذلك يقضى على الموجة المرتدة وتبقى موجة واحدة منتشرة باتجاه  $z$ . تسمى هذه الحالة بالموائمة ويسمى الخط بخط النقل الموائم.
- مثال .
- أختبار.

Start Formative Assessment