Chapter Seven الفصل السابع

خطــوط النقــل

Transmission Lines

Sequence:60

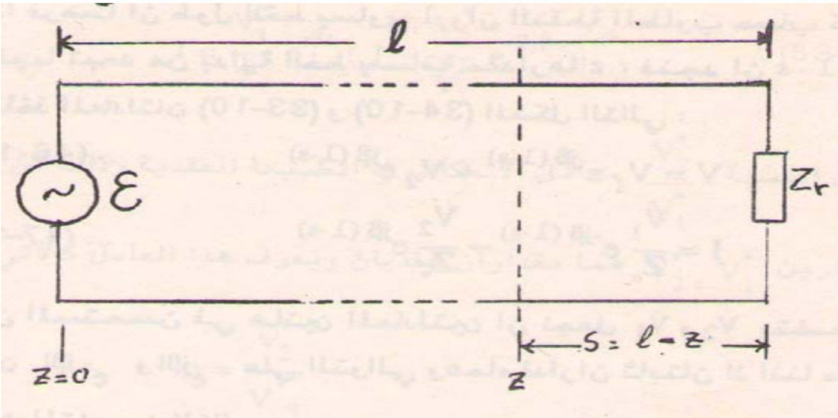
- المقدمة.
- مميزات خـــط النقل بدون خسارة / الجزء الثاني.
- خـــط الدائرة المفتوحة.
- خـــط الدائرة المقصيرة.

المقدمة

- كلما شرحت الخصائص الكهربائية لخطوط النقل يمكن معرفة مقدار عملية الفقد فيها و الفقد في الخطوط العملية لا نستطيع أن نتجاهله . وهناك ثلاثة أنواع من الفقد تحدث في خطوط النقل وهي :
- الفقدان في الموصل: المقاومة في أي موصل لا تكون صفر فعندما يمر التيار في خط النقل تتشتت الطاقة وذلك من خلال الفقد على شكل حرارة وفق المعادلة (I^2R) وأن التقليل في المقاومة سوف يقلل من فقد الطاقة في الخط بشكل غير مباشر. ان المقاومة تتناسب مع مساحة المقطع المستعرض للخط . واستخدام الأسلاك مع مساحة مقطع مستعرض كبير يكون مرغوب فيه و من الطبيعي أن حجم السلك سوف يسبب التغير في خصائص الممانعة في خط النقل . وفي الترددات العالية فأن الفقد يكون بسبب التأثيرات السطحية فعندما يمر تيار DC عبر موصل فان حركة الإلكترونات عبر المقطع المستعرض تكون منتظمة ، ولكن الحالة تتغير عندما تنطبق إشارة AC فان المجال المنتظم لكل إلكترون يطوق الإلكترونات الأخرى هذه الظاهرة تسمى الحث الذاتي. شدة الفيض في المركز تكون جيدة و حركة الإلكترونات في هذه النقطة تكون منخفضة، وعندما يزيد التردد تزيد مقاومة التيار في مركز السلك فينخفض التيار المار في مركز السلك و أيضا الكثير من الإلكترونات تتدفق على سطح السلك .عندما يطبق تردد 100 ميكا هيرتز أو

- أكثر تكون حركة الإلكترونات في المركز صغيرة جداو قد يتحرك مركز السلك.
- الفقد في العازل: الفقد هنا يتناسب طرديا مع الفولت المار في العازل و يزيد مع التردد و مقترن مع فقد التأثيرا السطحية هذا الفقد يقل عندما يستخدم عازل هوائي في الخط و في حالات كثيرة يتطلب استخدام عازل صلب و مثال ذلك في خط دليل الموجة المحوري عندما نريد تقليل الفقد . و يستخدم عازل يكون ثابت العزل قليل و ثابت.
- حيث أن الفقد على شكل حرارة (I^2R) وفقد العازل يتناسب طرديا مع الطول و بذلك يتم أخذه بعين الاعتبارعند التصنيع و يتم حسابهما بالديسبل مجتمعان معا .
- الفقد في الاشعاع :المجال الالكتروستاتيكي والكهرومغناطيسي يطوقان الموصل مسببان فقد في خطوط النقل. عمل المجال الالكتروستاتيكي يكون شحن هدف مجاور بينما التغير في المجال المغناطيسي يسبب سريان قوة دافعة كهربائية محتثة في الموصلات القريبة ، ويتم تقليل هذا الفقد بإنهاء خط النقل بمقاومة حمل مساوية لخصائص ممانعة خط النقل (خاصية الموائمة). وأن مشكلة فقد الإشعاع تتولد بشكل كبير فقط في خطوط النقل ذات السلكين المتوازيين.

مميزات خــط النقل بدون خسارة



شكل (6): خط النقل ذو السلكين المتوازيين

- في المحاضرة السابقة ، فرضنا أنه 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 $z = l - s$:

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

$$I = \frac{1}{Z_0}\left(V_1 e^{-j\beta(l-s)} - V_2 e^{j\beta(l-s)}\right) \qquad \ldots\ldots (47)$$

- لسهولة الحل يفضل جعل الثوابت $e^{j\beta l}, e^{-j\beta l}$ ضمن V_1, V_2 وكما يلي:

$$V_1^* = V_1 e^{-j\beta l} \qquad \ldots\ldots (48)$$

$$V_2^* = V_2 e^{-j\beta l} \qquad \ldots\ldots (49)$$

- حيث أن كلا من V_1^*, V_2^* مقداران عقديان.
- وبتعويض المعادلتان (48) و (49)في المعادلتين (46) و (47) نحصل على :

$$V = V_1^* e^{j\beta s} + V_2^* e^{-j\beta s} \quad ...... (50)$$

$$I = \frac{1}{Z_0}(V_1^* e^{j\beta s} - V_2^* e^{-j\beta s}) \quad ...... (51)$$

- **نستنتج من العلاقتين (50) و (51) أن كلا من الفولتية والتيار يتكونان من موجتين تسيران في اتجاهين متعاكسين على خط النقل يمثلهما المقدارين V_1^*, V_2^* تسير الأولى باتجاه الحمل والثانية مبتعدة عنه. ويمكن كتابة المعادلتان السابقتان كالآتي :**

$$\therefore V = V_1^* e^{j\beta s}(1 + \frac{V_2^*}{V_1^*} e^{-2j\beta s}) \quad ...... (52)$$

$$I = \frac{V_1^*}{Z_0} e^{j\beta s}(1 - \frac{V_2^*}{V_1^*} e^{-2j\beta s}) \quad ...... (53)$$

- **تمثل النسبة $\frac{V_2^*}{V_1^*}$ معامل الانعكاس ذا الطبيعة العقدية وذلك لأن كلا من المقارين V_1^*, V_2^* هما مقداران عقديان ويعرف هذا العامل كالآتي :..**

$$\rho = \frac{V_2^*}{V_1^*} = |\rho| e^{j\psi}$$

- **وعند التعويض عن نتيجة المعادلة الأخيرة**
- **في المعادلتين (52) و (53) نحصل على :**

$$\therefore V = V_1^* e^{j\beta s}(1 + |\rho| e^{j(\psi - 2\beta s)}) \quad ...... (54)$$

$$\therefore I = \frac{V_1^*}{Z_0} e^{j\beta s}(1 - |\rho| e^{j(\psi - 2\beta s)}) \quad ...... (55)$$

- تمثل كل من المعادلة (54) و (55) معادلة موجة واقفة لكل من الفولتية والتيار على خط النقل، فأذا وصلت نهاية خط النقل بممانعة لا تساوي ممانعته المميزة واستعمل الخط لنقل موجة ذات تردد معين انعكست الموجة من نهاية الخط وتكونت عليه موجة واقفة لها نهايات عظمى وصغرى بالتتابع.
- *(يتم انعكاس الموجة من نهاية خط النقل اذا كانت ممانعة الحمل في النهاية لاتساوي الممانعة المميزة لخط النقل هذا)*
- من ملاحظة المعادلة (54) نجد أن الفولتية تأخذ قيمتها العظمى عندما يكون المقدار $\exp[j(\psi - 2\beta s)]$
- مساوياً للواحد وتأخذ قيمتها الصغرى عندما يكون هذا المقدار مساوياً الى (-1). أذن النهايات الصغرى تحدث عندما يكون:

$$e^{j(\psi - 2\beta s)} = -1 \quad ...... (56)$$

- أو أن :

$$\psi - 2\beta s = (2m + 1)\pi \quad ...... (57)$$

- حيث -----m=0,1,2، والمعادلة (57) تحدد مواضع النهايات الصغرى للموجة الواقفة لأسيما أن المقدار V_1^*
- هو مقار ثابت وأن سعة المقدار $\exp(j\beta s)$ تكون مساوية الى الواحد. أن موقع اي نهايتين صغريتين متتاليتين تكون عند التعويض في المعادلة الاخيرة بقيمتين متتاليتين للرقم (m) فمثلاً نأخذ الرقمين (m & m+1) فيكون موقع النهاية الصغرى (m) كالآتي :

$$\psi - 2\beta s_m = (2m + 1)\pi$$

- ويكون موقع النهاية الصغرى التالية (m+1) كالآتي :

$$\psi - 2\beta s_{m+1} = (2(m + 1) + 1)\pi$$

- وبطرح المعادلتين الأخيرتين الواحدة من الأخرى نحصل على :

$$s_m - s_{m+1} = \frac{\pi}{\beta}$$

- وبالتعويض عن $\beta = \frac{2\pi}{\lambda}$ نجد أن :

$$\therefore s_m - s_{m+1} = \frac{\lambda}{2} \qquad ...... (58)$$

- ***************

- ***لاستخراج الممانعة المعايرة:*** نفرض أن حملا معينا مقداره ***(Z_r)*** ربط في نهاية خط نقل ممانعته المميزة ***(Z_o)***.
- وأن ***(Z_s)*** هي الممانعة في أي نقطة تبعد **s** عن نهاية الخط وبأستعمال المعادلتين **(54)** و **(55)** تكون قيمة الممانعة ***(Z_s)*** هي :

$$\therefore Z_s = \frac{V_s}{I_s} = Z_0 \frac{1 + \rho e^{-2j\beta s}}{1 - \rho e^{-2j\beta s}} \qquad ...... (59)$$

- ولحساب الممانعة ***(Z_r)*** في نهاية الخط نعوض عن **(s=0)** في المعادلة **(59)** فنحصل على :

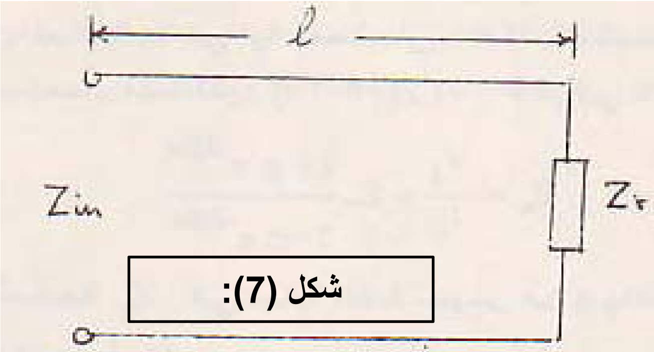
$$\therefore Z_r = Z_0 \frac{1+\rho}{1-\rho} \qquad ...... (60)$$

- أو أن :

$$\therefore z_r = \frac{Z_r}{Z_0} = \frac{1+\rho}{1-\rho} \qquad ...... (61)$$

- وتسمى **(z_r)** ممانعة الحمل المعايرة .
- ومن المعادلة **(61)** نحصل على:

$$\rho = \frac{z_r - 1}{z_r + 1} \qquad ...... (62)$$



شكل (7):

- **والآن نفرض أن لدينا خط نقل طوله (l) وممانعة الدخول المعايرة**
- **فيه تساوي (z_{in}) . وصل من نهايته بحمل مقداره (Z_r) كما في**
- **الشكل (7). لحساب قيمة (z_{in}) المعايرة نستعمل المعادلتين (59)**
- **و (62) فنحصل على :**

$$Z_{in} = Z_0 \frac{1 + \dfrac{Z_r - 1}{Z_r + 1} e^{-2j\beta l}}{1 - \dfrac{Z_r - 1}{Z_r + 1} e^{-2j\beta l}} \quad \text{...... (63)}$$

- **وبأجراء بعض العمليات الرياضية البسيطة نحصل على العلاقة التالية:**

$$Z_{in} = Z_0 \frac{Z_r + j\tan\beta l}{1 + jZ_r \tan\beta l} \quad \text{...... (64)}$$

- **هناك حالتان خاصة هما:**

- **- عندما تكون الدائرة مفتوحة** $Z_r = \infty$

- **-- عندما تكون الدائرة مغلقة (قصيرة)** $Z_r = 0$

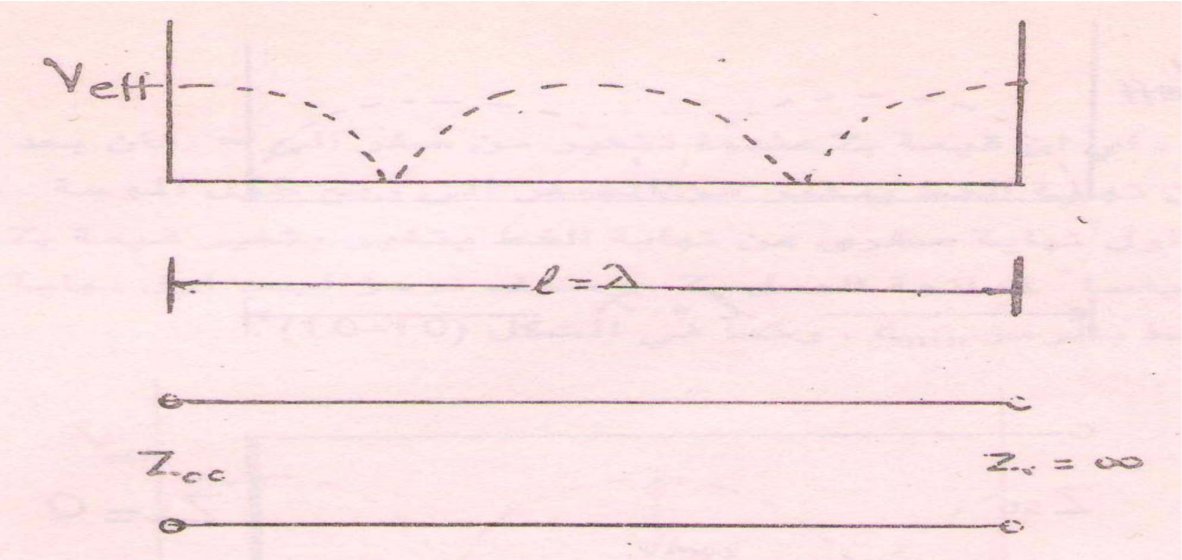
خــط الدائرة المفتوحة

- في هذه الحالة $Z_r = \infty$ وكذلك $Z_{in} = Z_{oc}$ وتسمى ممانعة الدائرة المفتوحة.
- ومن المعادلة (64) نحصل على :

$$Z_{oc} = Z_0 \frac{1 + \frac{j \tan \beta l}{Z_r}}{\frac{1}{Z_r} + j \tan \beta l}$$

$$\therefore Z_{oc} = -jZ_0 \cot \beta l \qquad \text{...... (65)}$$

- ويكون شكل خط النقل وهيكل
- الموجة الواقفة كما في الشكل(8)
- ***************



شكل (8): خط الدائرة المفتوحة

خـــط الدائرة القصيرة

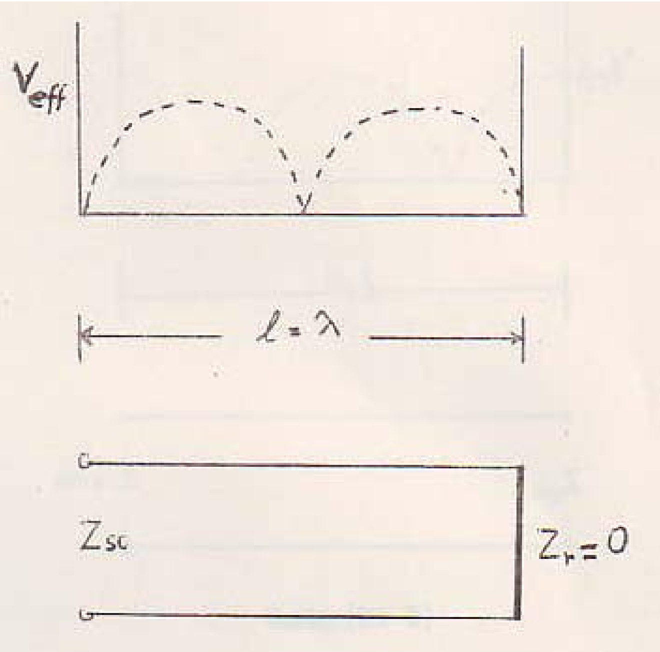
- في هذه الحالة $Z_r = 0$ وكذلك $Z_{in} = Z_{sc}$ وتسمى ممانعة الدائرة القصيرة. ويكون شكل خط النقل وهيكل الموجة الواقفة كما في الشكل(9). ومن المعادلة (64) نحصل على :

$$Z_{sc} = jZ_0 \tan \beta l \qquad ...... (66)$$

- ونلاحظ من الشكل (9) أن الفولتية في نهاية الخط تساوي صفر وذلك لأن الممانعة تساوي صفر ايضا.
- ونجد أن Z_{sc} ذات طبيعة حثية.
- وعند ضرب طرفي المعادلتين (65) و (66) ببعضهما البعض
- نحصل على :

$$Z_0 = \sqrt{Z_{oc} Z_{sc}} \qquad ...... (67)$$

-
- أي أن الممانعة المميزة لخط النقل تساوي المعدل الهندسي
- لممانعتي الخط المفتوح والخط القصير.
-



شكل (9): خط الدائرة القصيرة

مثـــــــال : **خط نقل ممانعته المميزة تساوي 50 أوم، وجّد أن سرعة الموجة التي ينقلها هذا الخط تساوي سرعة الضوء في الفراغ. جد كلا من المحاثة لوحدة الطول والسعة لوحدة الطول لهذا الخط.**

الحـــــــل:

$$\because \quad v_p = \frac{w}{\beta} = \frac{1}{\sqrt{LC}} \Rightarrow (v_p)^2 = \frac{1}{LC}$$

$$L = \frac{1}{C(v_p)^2} \quad \text{..........} \quad \text{....(1)}$$

$$Z_o = \sqrt{\frac{L}{C}} \Rightarrow (Z_o)^2 = \frac{L}{C}$$

$$C = \frac{L}{(Z_o)^2} \quad \text{..........} \quad \text{.........(2)}$$

$$C = \frac{\left(1/C(v_p)^2\right)}{(Z_o)^2} = \frac{1}{C(v_p)^2 (Z_o)^2} \Rightarrow C^2 = \frac{1}{(v_p)^2 (Z_o)^2}$$

$$C = \sqrt{\frac{1}{(v_p)^2 (Z_o)^2}} = \sqrt{\frac{1}{(3 \times 10^8)^2 \times (50)^2}} = 66.6 \quad pF$$

$$L = \frac{1}{C(v_p)^2} = \frac{1}{66.6 \times 10^{-12} \times (3 \times 10^8)^2} = 0.167 \quad \mu H$$

الخلاصة Summary

- تضمنت المحاضرة النقاط المهمة التالية :
- أن كلا من الفولتية والتيار يتكونان من موجتين تسيران في اتجاهين متعاكسين على خط النقل تسير الأولى باتجاه الحمل والثانية مبتعدة عنه.
- تنعكس الموجة من نهاية خط النقل اذا كانت ممانعة الحمل في النهاية لاتساوي الممانعة المميزة لخط النقل.
- تمثل النسبة $\frac{V_2^*}{V_1^*}$ معامل الانعكاس ذا الطبيعة العقدية وذلك لأن كلا من المقارين V_2^*, V_1^* هما مقداران عقديان.
- عندما تكون مقاومة الحمل في خط النقل هي $Z_r = \infty$ فان خط النقل يسمى خط الدائرة المفتوحة.
- عندما تكون مقاومة الحمل في خط النقل هي $Z_r = 0$ فان خط النقل يسمى خط الدائرة القصيرة.
- مثـــــال .
- أختبـــار.

Start Formative Assessment