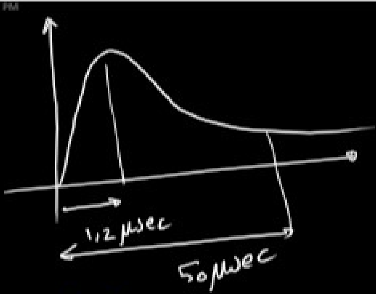
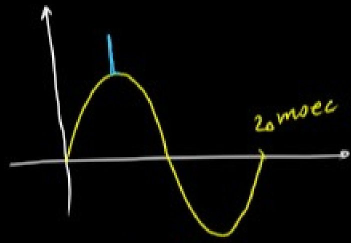
موج صاعقه





از دید گذرای صاعقه یا سریع
ولتاژ شبکه ثابت است
①

② ژنراتور با سرعت 3000 r.p.m بچرخد

در طول یک گذرای سریع ژنراتور چقدر خواهد چرخید؟

در ثانیه 50 دور

1 sec → 50 دور $\times 360^\circ$

50 μsec → x°

$x = 0.9^\circ$

از دید گذرای سریع ژنراتورها می‌توانند ساکن در نظر گرفته شوند.

طول موج

$\lambda = \frac{c}{f}$ ← c: سرعت نور ، f: فرکانس

If طول موج >> ابعاد مدار یا دستگاه
مدار فشرده است.

مدارات فشرده
” گسترده

$f = 50 Hz \longrightarrow \lambda = 6000 km$

$f = 3 GHz \rightarrow \lambda = \frac{3\times10^8}{3\times10^9} = 0.1 m = 10 cm$

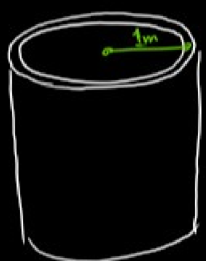
خط انتقال مثلاً 100 km
گذرای در حد 1 MHz $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3\times10^8}{1\times10^6} = 300^m$

← خط انتقال نمی‌تواند یک مدار فشرده باشد.

مدار فشرده ← قوانین ماکسول به قوانین بسیار ساده‌ی کیرشهف (KVL, KCL) با تقریب خوب تبدیل می‌کنند.

” گسترده فقط ” ” روابط یعنی KVL و KCL قابل استفاده نیست.

مثال دیگری از سیستم گسترده



15 لایه
هر لایه 150 دور
جمعاً 1500 دور

طول سیم $= 1500\,(2\pi \times 1m) \simeq 9\,km$

$50 Hz \rightarrow \lambda = 6000 km$

$6000 km >> 9 km$
lumbed

lumbed

برای $500\,kHz$ $\lambda =$

پس حتی یک سیم پیچی را در فرکانس بالا هم در مقابل فرکانس های بالا نمی‌توانه یک مدار فشرده باشد و اصولاً باید بصورت یک سیستم گسترده Distributed مطالعه شود.

مدارات فشرده در حل به ODE ختم می‌شوند

Ordinary Differntial Equations

" گسترده در حل به PDE " "

Partial Di. Eq.

نحوه‌ی مدلسازی در مدارات غیر فشرده یا گسترده:

① تبدیل به چند بلوک با ابعاد کوچک‌تر و در نتیجه فشرده فرض کردن هر بلوک

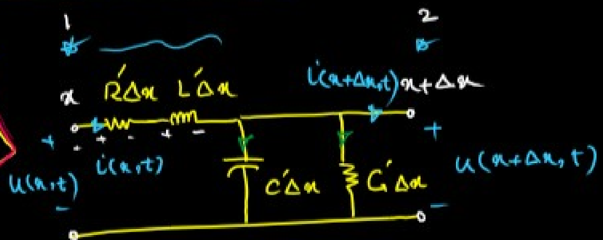
② مدل توزیع شده یا Distributed model

مدل توزیع شده

خط انتقال: فرض یک خط همگن با دو سیم را به خط

جزء طول Δx

$$\boxed{v_L = L\frac{di(t)}{dt}}$$



$$\Delta u(x,t) = u(x,t) - u(x+\Delta x,t) = L'\Delta x\frac{\partial i(x,t)}{\partial t} + R'\Delta x \cdot i(x,t)$$

$$\Rightarrow \frac{u(x+\Delta x,t) - u(x,t)}{\Delta x} = -L'\frac{\partial i(x,t)}{\partial t} - R' i(x,t)$$

$$\xrightarrow{\Delta x \to 0} -\frac{\partial u(x,t)}{\partial x} = R' i(x,t) + L'\frac{\partial i(x,t)}{\partial t} \quad (1)$$

G'، L'، C'، R' کمیت‌های در واحد طول هستند

$$L' = \frac{dL}{dx}, \quad C' = \frac{dC}{dx}, \quad R' = \frac{dR}{dx}, \quad G' = \frac{dG}{dx}$$

G رسانایی یا مقاومت عایق

$$\boxed{i_C = C\frac{dv_C(t)}{dt}}$$

$$\boxed{i = G.v}$$

$$\Delta i(x,t) = i(x,t) - i(x+\Delta x,t) = C'\Delta x\frac{\partial u(x+\Delta x,t)}{\partial t} + G'\Delta x\, u(x+\Delta x,t)$$

$$\frac{i(x+\Delta x,t) - i(x,t)}{\Delta x} = -C'\frac{\partial u(x+\Delta x,t)}{\partial t} - G' u(x+\Delta x,t)$$

$\Delta x \to$

$$\frac{i(x+\Delta x,t)-i(x,t)}{\Delta x} = -C'\frac{\partial u(x+\Delta x,t)}{\partial t} - G' u(x+\Delta x,t) \qquad \Delta x \to 0$$

$$\Delta x \to 0 \longrightarrow \boxed{-\frac{\partial i(x,t)}{\partial x} = C'\frac{\partial u(x,t)}{\partial t} + G' u(x,t)} \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial x}(1) \longrightarrow -\frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x^2} = R'\frac{\partial i(x,t)}{\partial x} + L'\frac{\partial^2 i(x,t)}{\partial x\,\partial t} \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(2) \longrightarrow -\frac{\partial^2 i(x,t)}{\partial x^2} = C'\frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x\,\partial t} + G'\frac{\partial u(x,t)}{\partial x} \quad (4)$$

$$(2) \to (3) \longrightarrow \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = R'G'u + R'C'\frac{\partial u}{\partial t} - L'\frac{\partial^2 i}{\partial x\,\partial t}$$

وارد کن معادله‌ی ۴ به جای این عبارت

$$\boxed{\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = R'G'u + (R'C'+L'G')\frac{\partial u}{\partial t} + L'C'\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}} \quad (5)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(1) \longrightarrow -\frac{\partial^2 u}{\partial x\,\partial t} = R'\frac{\partial i}{\partial t} + L'\frac{\partial^2 i}{\partial t^2} \quad (6)$$

$$\frac{\partial}{\partial x}(2) \longrightarrow -\frac{\partial^2 i}{\partial x^2} = G'\frac{\partial u}{\partial x} + C'\frac{\partial^2 u}{\partial x\,\partial t} \quad (7)$$

$$(1) \to (7) \Longrightarrow \frac{\partial^2 i}{\partial x^2} = G'R'i + L'G'\frac{\partial i}{\partial t} - C'\frac{\partial^2 u}{\partial t\,\partial x} \quad \leftarrow (6)$$

$$\boxed{\frac{\partial^2 i}{\partial x^2} = R'G'i + (R'C'+L'G')\frac{\partial i}{\partial t} + L'C'\frac{\partial^2 i}{\partial t^2}} \quad (8)$$

$$\boxed{P \triangleq \frac{d}{dt}}$$

در حالت ماندگار سینوسی

$$\boxed{P = j\omega}$$

$P = s$ در لاپلاس

$$= R'G'u + R'C'(Pu) + L'G'(Pu) + L'C'P^2 u$$

$$(5)\quad \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = (R'+L'P)(G'+C'P)\,u$$

$$(8)\quad \frac{\partial^2 i}{\partial x^2} = \underbrace{(R'+L'P)}_{\triangleq Z'}\underbrace{(G'+C'P)}_{\triangleq Y'}\,i$$

$$\Longrightarrow \begin{cases} \boxed{\dfrac{\partial^2 u}{\partial x^2} = Z'Y'u} = \gamma^2 u \\ \boxed{\dfrac{\partial^2 i}{\partial x^2} = Z'Y'i} = \gamma^2 i \end{cases} \quad , \gamma = \sqrt{Z'Y'}$$

در ماندگار سینوسی

$Z' = R' + j\omega L'$ امپدانس شاخه سری

$Y' = G' + j\omega C'$ ادمیتانس شاخه موازی

حل ODE

$$y'' - a^2 y = 0$$

$$\to s^2 - a^2 = 0$$

$$s = \pm a$$

$$y = e^{ax} + e^{-ax}$$

$u(x,t)$

حل معادلات موج

$$u(x,t) = A_{(t)}e^{-\gamma x} + B_{(t)}e^{+\gamma x} = f_1(t)e^{-\gamma x} + f_2(t)e^{+\gamma x}$$

$$(1)\quad -\frac{\partial u}{\partial x} = R'i + L'\frac{\partial i}{\partial t} = (R'+L'P)\,i = Z'i$$

$$\ldots e^{-\gamma x} \ldots e^{+\gamma x}$$

$\Longrightarrow i = -\frac{1}{z'}\cdot\frac{\partial u}{\partial x} = -\frac{1}{z'}\left(-f_1(t)\gamma e^{-\gamma x} + f_2(t)\gamma e^{+\gamma x}\right)$

$= -\sqrt{\frac{Y'}{Z'}}\left[-f_1(t)e^{-\gamma x} + f_2(t)e^{+\gamma x}\right]$ *

characteristic

امپدانس مشخصه $Z_0 \triangleq \sqrt{\frac{Z'}{Y'}}$ surge Impedance

charachterstic Imp.

ادمیتانس مشخصه $Y_0 \triangleq \frac{1}{Z_0}$ " Admitance

در حالت ماندگار سینوسی $Z_0 = \sqrt{\frac{R'+jL'\omega}{G'+jC'\omega}}$

$i(x,t) = -\frac{1}{Z_0}\left[-f_1(t)e^{-\gamma x} + f_2(t)e^{+\gamma x}\right]$

$= \frac{f_1(t)}{Z_0}e^{-\gamma x} - \frac{f_2(t)}{Z_0}e^{\gamma x}$

$\boxed{\text{UOK\_transient1}}$ کانال تلگرام

جلسه ۲۵ ، ۲ ، ۹۸

حالت بی تلف و ماندگار سینوسی

بی تلف $\begin{cases} R'=0,\ G'=0 \end{cases}$ $\Longrightarrow \gamma = \sqrt{Z'Y'} = p\sqrt{L'C'}$

$Z' = R' + L'p,\ Y' = G' + C'p$

$\Longrightarrow Z' = L'p,\ Y' = C'p \quad , \quad Z_0 = \sqrt{\frac{Z'}{Y'}} = \sqrt{\frac{L'}{C'}}$

در ماندگار سینوسی $p = j\omega = \frac{d}{dt} \longrightarrow \gamma = j\omega\sqrt{L'C'}$

(سرعت انتشار) متغیر $v = \frac{1}{\sqrt{L'C'}} = \frac{P}{P\sqrt{L'C'}} = \frac{P}{\gamma} \longrightarrow \gamma = \frac{P}{v}$

* ⓐ $u(x,t) = f_1(t)e^{xp/v} + f_2(t)e^{-xp/v}$ و ⓑ $i(x,t) = \frac{1}{Z_0}\left[f_1(t)e^{xp/v} - f_2(t)e^{-xp/v}\right]$

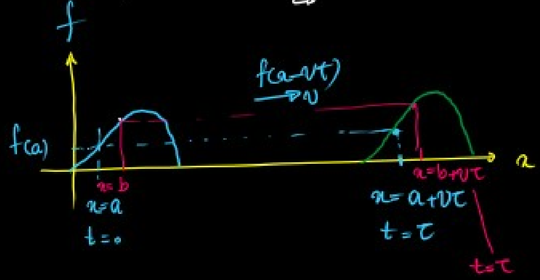
$f(t+a) = f(t) + af'(t) + \frac{a^2}{2!}f''(t) + \cdots = \underbrace{\left(1 + ap + \frac{a^2}{2!}p^2 + \cdots\right)}_{e^{ap}} f(t) = e^{ap}f(t)$

اسم این بسط یادم نیست ؟

$\Longrightarrow e^{xp/v} f_1(t) = f_1\left(t + \frac{x}{v}\right) = f_3(x + vt) \quad , \quad e^{-xp/v} f_2(t) = f_2\left(t - \frac{x}{v}\right) = f_4(x - vt)$

$a = \frac{x}{v}$

$$\Rightarrow \begin{cases} u(x,t) = f_3(x+vt) + f_4(x-vt) \\ i(x,t) = -\frac{1}{Z_0}\left[f_3(x+vt) - f_4(x-vt) \right] \end{cases} \quad *$$



آیا تابع $f(x \pm vt)$ یک تابع سیار است؟

$$f(x-vt)\Big|_{t=0} = f(x)\Big|_{x=a} = f(a)$$

$$- \quad f(x-vt)\Big|_{t=\tau} = f(x-v\tau)\Big|_{x=a+v\tau} = f(a+v\tau-v\tau) = f(a)$$

یک نقطه از شکل موج بعد از τ ثانیه به مکان دیگری منتقل می‌شود ← کل شکل موج منتقل می‌شود ← تابع سیار است

اما $u(x,t)$ و $i(x,t)$ شامل دو جمله‌ی $f_4(x-vt) \xrightarrow{v}$ هستند که جمله $f(x-vt)$ با سرعت v در جهت مثبت x

$f_3(x+vt) \xleftarrow{v}$ 〃 $f(x+vt)$ 〃 〃 〃 〃 〃 منفی 〃 〃

یعنی اگر t به اندازه‌ی τ افزایش یابد و در همین راستا x به اندازه‌ی $a+v\tau$ افزایش یابد مقدار تابع $f(x-vt)$ ثابت می‌ماند

$$\text{سرعت} = \frac{dx}{dt} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{([x=a+v\tau]-[x=a])}{\tau} = \frac{v\tau}{\tau} = v$$

حالت سینوسی: حذف مولفه‌ی زمان با انتقال به حوزه‌ی فازور

$$x(t) = A_m \cos(\omega t + \varphi)$$

$$\rightarrow \text{یا} \quad x(t) = \mathrm{Re}\left(A_m e^{j\omega t + \varphi}\right) = \mathrm{Re}\left(\underbrace{A_m e^{j\varphi}}_{\text{فازور}} \cdot e^{j\omega t}\right)$$

$$e^{j\theta} = \underbrace{\cos\theta}_{Re} + j\underbrace{\sin\theta}_{Im}$$

$$x(t) = A_m \cos(\omega t + \varphi) \longleftrightarrow \bar{X} = A_m e^{j\varphi}$$

یا

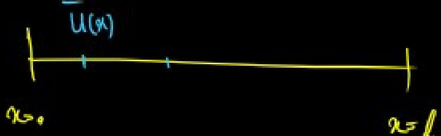
بار روی فازور — Bar

فازور ولتاژ

$$u(x,t) = \mathrm{Re}\left[\bar{U}(x)\, e^{j\omega t}\right]$$

$$i(x,t) = \mathrm{Re}\left[\bar{I}(x)\, e^{j\omega t}\right]$$

فازور جریان



$\bar{U}(x)$ فازور ولتاژ به صورت تابعی از موقعیت x است.

یعنی در هر نقطه از طول کابل یک موج سینوسی داریم با دامنه‌ی $\bar{U}(x)$ و فرکانس ω

⑤ $$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = R'G'u + (R'C' + L'G')\frac{\partial u}{\partial t} + L'C'\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}$$

در ماندگار سینوسی

$$\rightarrow \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial x^2} = R'G'\bar{u} + (R'C'+L'G')\cdot j\omega \bar{u} - L'C'\omega^2 \bar{u} = \underbrace{(R'+j\omega L')}_{Z'}\underbrace{(G'+j\omega C')}_{Y'}\bar{u}$$

مولفه ی پیش رو

چون متغیر زمان حذف شده

$$\rightarrow \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial x^2} = \frac{d^2 \bar{u}}{dx^2} = Z'Y'\bar{u} \longrightarrow \bar{u}(x) = \bar{U}_1 e^{-\gamma x} + \bar{U}_2 e^{\gamma x} = \bar{U}_1(x) + \bar{U}_2(x)$$

(*)

$$\gamma = \pm\sqrt{Z'Y'}$$

مولفه ی پس رو

(**)

رابطه ی ① در ماندگار سینوسی

$$-\frac{d\bar{u}}{dx} = (R'+j\omega L')\bar{i} = Z'\bar{i} \longrightarrow i(x) = \left(-U_1\times(-\gamma)e^{-\gamma x} - U_2\gamma e^{\gamma x}\right)/Z'$$

$$i = \left(-d\bar{u}/dx\right)/Z'$$

$$Z_0 = \frac{Z'}{\gamma} = \sqrt{\frac{Z'}{Y'}}$$

$$\rightarrow \frac{\gamma}{Z'} = \frac{1}{Z_0}$$

$$= \frac{1}{Z_0}\left[\bar{U}_1(x) - \bar{U}_2(x)\right]$$

$$= \underbrace{\frac{1}{Z_0}\bar{U}_1(x)}_{\bar{i}_1(x)} - \underbrace{\frac{1}{Z_0}\bar{U}_2(x)}_{\bar{i}_2(x)}$$

یعنی جریان دو مولفه دار، یکی مولفه ی پیش رو که تقسیم بر Z_0 می کند

" " پس رو " " " $-Z_0$ می کند

تا به حال جواب عمومی

حل با شرایط اولیه

فرض $\bar{u}(x=0) = \bar{U}_0$, $\bar{i}(x=0) = \bar{i}_0$

$x=0$ ——— $x=l$

$\bar{U}_0$

$\bar{i}_0$

$\bar{U}_1(0)$, $\bar{U}_2(0)$

$$\bar{U}_0 = \bar{U}_1(0) + \bar{U}_2(0) \quad *$$

$$\bar{i}_0 = \frac{U_1(0)}{Z_0} - \frac{U_2(0)}{Z_0} \quad **$$

$$\rightarrow Z_0\bar{i}_0 = \bar{U}_1(0) - \bar{U}_2(0)$$

$$\Rightarrow U_1(0) = \frac{\bar{U}_0 + Z_0 i_0}{2}$$

$$U_2(0) = \frac{\bar{U}_0 - Z_0 i_0}{2}$$

دو معادله و دو مجهول

(*) $$\bar{u}(x) = \frac{\bar{U}_0}{2}\left(e^{\gamma x} + e^{-\gamma x}\right) - \frac{Z_0 i_0}{2}\left(e^{\gamma x} - e^{-\gamma x}\right) = \bar{U}_0\cosh\gamma x - Z_0 i_0\sinh\gamma x$$

(**) $$\bar{i}(x) = \frac{\bar{i}_0}{2}\left(e^{\gamma x} - e^{-\gamma x}\right) - \frac{\bar{U}_0}{2Z_0}\left(e^{\gamma x} - e^{-\gamma x}\right) = \bar{i}_0\cosh\gamma x - \frac{\bar{U}_0}{Z_0}\sinh\gamma x$$

$$\gamma = \sqrt{Z'Y'} = \sqrt{(R'+j\omega L')(G'+j\omega C')} = \alpha + j\beta$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{2}(R'G' - \omega^2 L'C') + \frac{1}{2}\sqrt{(R'^2+\omega^2L'^2)(G'^2+\omega^2C'^2)}}$$

$$\beta = \sqrt{\frac{1}{2}(\omega^2 L'C' - R'G') + \frac{1}{2}\sqrt{\quad ''}}$$

به طوری که ثابت کنید.

$$\sqrt{x+jy} = e+jf$$

{ γ: propagation constant, ثابت انتشار

$\sqrt{x+jy} = e+jf$

γ: propagation constant ثابت انتشار

α: attenuation " میرائی

β: phase " فاز

البته در درس روش حالت های گذرا اینها ثابت نیستند و بهتر است به جای عبارت ثابت از عبارت پارامتر استفاده شود

$\gamma = \alpha + j\beta$

$$u(x,t) = \mathrm{Re}\{(\underbrace{\bar{U}_1 e^{-\gamma x} + U_2 e^{\gamma x}}_{\text{فازور ولتاژ}}) e^{j\omega t}\} = \mathrm{Re}\{\bar{U}_1 e^{-\alpha x} e^{j(-\beta x+\omega t)} + \bar{U}_2 e^{\alpha x} e^{j(\beta x+\omega t)}\}$$

$$= U_1(x,t) + U_2(x,t)$$

میرائی

$$U_1(x,t) = \mathrm{Re}\{\bar{U}_1 e^{-\alpha x} e^{j(-\beta x+\omega t)}\}$$

جمله ی اول

اگر t به اندازه ی Δt افزایش یابد و x نیز به اندازه ی Δx زیاد شود به شرطی که $-\beta x+\omega t$ ثابت بماند

موج سیار خواهد بود

$$-\beta(x+\Delta x)+\omega(t+\Delta t) = -\beta x+\omega t \longrightarrow -\beta \cancel{x} - \beta\Delta x + \cancel{\omega t} + \omega\Delta t = -\cancel{\beta x} + \cancel{\omega t}$$

ثابت بماند

$$\longrightarrow \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{\omega}{\beta} = v$$ سرعت موج

شکل موج سیار است و با سرعت $v=\frac{\omega}{\beta}$ حرکت می‌کند ولی یک ضریب میرائی $e^{-\alpha x}$ دارد یعنی در طول خط میرا می‌شود

$$U_2(x,t) = \mathrm{Re}\{\bar{U}_2 e^{+\alpha x} e^{j(\beta x+\omega t)}\}$$

جمله ی دوم

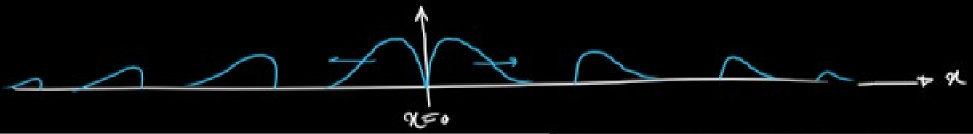
$$\beta(x+\Delta x)+\omega(t+\Delta t) = \beta x+\omega t \longrightarrow \frac{\Delta x}{\Delta t} = -\frac{\omega}{\beta}$$

یعنی در جهت عکس یا منفی x ها حرکت می‌کند

آیا جمله ی دوم میرا است؟ $e^{+\alpha x}$ ولی به سمت x های منفی است پس باز هم میرا است.

جمله ی اول حرکت به سمت x های مثبت و در حین انتشار میرا یا با کاهش دامنه

" دوم " " " منفی " " " " " "



توزیع مکانی ولتاژ در طول یک خط بی‌تلف

$R', G' = 0 \rightarrow \gamma = \alpha + j\beta \ , \quad \underset{R', G' = 0}{\alpha = \sqrt{\quad}}$

$\Rightarrow \alpha = 0 \ , \beta = \omega\sqrt{L'C'} \rightarrow \gamma = j\omega\sqrt{L'C'}$

$v = \dfrac{\omega}{\beta} = \dfrac{1}{\sqrt{L'C'}} \ , \ Z_0 = \sqrt{\dfrac{Z'}{Y'}} = \sqrt{\dfrac{L'}{C'}}$

$u(x,t) = Re\{\bar{u}_1 e^{-\alpha x} e^{j(-\beta x + \omega t)} + \bar{u}_2 e^{\alpha x} e^{j(\beta x + \omega t)}$

$\rightarrow u(0,t) = Re\{\bar{u}_1 e^{j\omega t} + \bar{u}_2 e^{j\omega t}\} = Re\{\underbrace{(\bar{u}_1 + \bar{u}_2)}_{\bar{u}_0} e^{j\omega t}\}$

$\alpha = 0 \quad x \ @ \ x = 0$

شبیه این است که در ابتدای خط یک منبع ولتاژ $u_0 \cos\omega t$ داشته باشیم

$\bar{u}_0 = \bar{u}_1 + u_2$

اگر فرض کنیم مشتق ولتاژ نسبت به مکان در ابتدای خط را تمامی زمانها صفر است یعنی

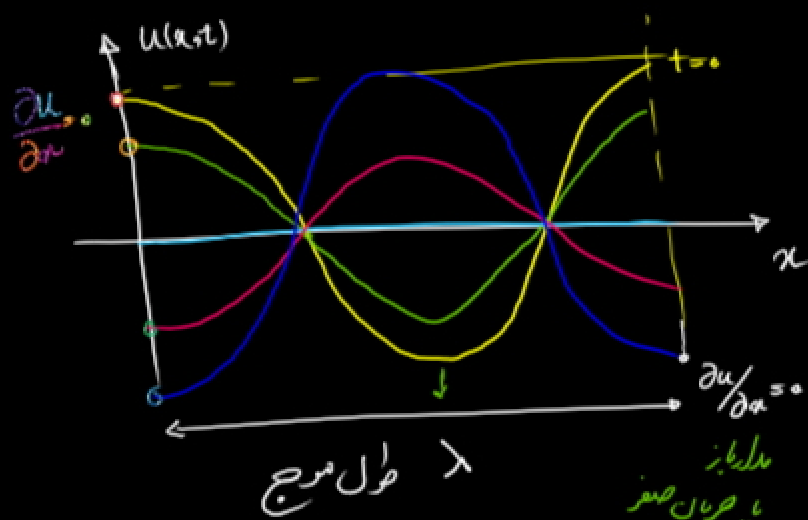
$\dfrac{\partial u(x=0,t)}{\partial x} = 0$

$\partial / \partial x$

$Re\{u_1(-\beta)e^{j\omega t} + u_2 \beta e^{j\omega t})\} = 0 \quad \Rightarrow \bar{u}_1 = \bar{u}_2 = \frac{1}{2}\bar{u}_0$

$u(x,t) = Re\{\frac{\bar{u}_0}{2} e^{j(-\beta x + \omega t)} + \frac{\bar{u}_0}{2} e^{j(\beta x + \omega t)}\} = Re\{\bar{u}_0 e^{j\omega t} (\frac{e^{-j\beta x} + e^{j\beta x}}{2})\}$

$= \bar{u}_0 \cos\omega t \cos\beta x$



$t = 0 \rightarrow u(x,0) = \bar{u}_0 \cos\beta x$

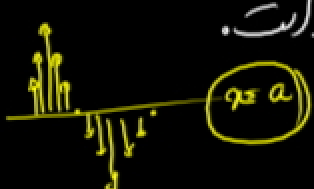
$t = t_1 = \pi/6\omega \rightarrow u(x,t) = u_0 \cos\omega \times \frac{\pi}{6\omega} \cdot \cos\beta x$

$= \frac{\sqrt{3}}{2} u_0 \cos\beta x = 0{,}86 -$

$t = \frac{\pi}{2\omega} \rightarrow u(x,t) = u_0 \cos\omega \times \frac{\pi}{2\omega} \cos\beta x =$

$t = \frac{2\pi}{3\omega}$

تغییرات مکانی و زمانی ولتاژ در این خط بدون تلفات که در ابتدا به ولتاژ سینوسی شکل متصل است و در انتها باز است.



پس ولتاژ در هر نقطه از طول خط دارای طبیعتی نوسانی است مثلاً در $x = a$

در مکانهایی که $\frac{\partial u}{\partial x} = 0$ است جریان در آن مکانها هم صفر خواهد بود یا در واقع شبیه مدار باز است

③ $-\dfrac{\partial u}{\partial x} = R'i + L'\dfrac{\partial i}{\partial t} = (R' + jL\omega')\bar{i}(x) \rightarrow \text{If } \dfrac{\partial u}{\partial x} = 0 \rightarrow i(x) = 0$