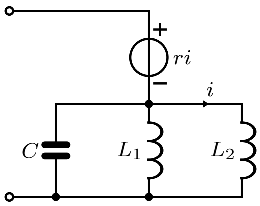
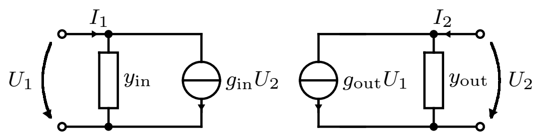
Laske tehtävät 1 – 2 eri paperille kuin tehtävät 3 – 5. Muista kirjoittaa jokaiseen paperiin **selvästi** nimi, opiskelijanumero, kurssin nimi ja koodi.
Tehtävät lasketaan osaston koepaperille. Muita papereita ei tarkasteta.

1.



Millä resistanssin r arvoilla piiri on stabiili jänniteherätteellä?

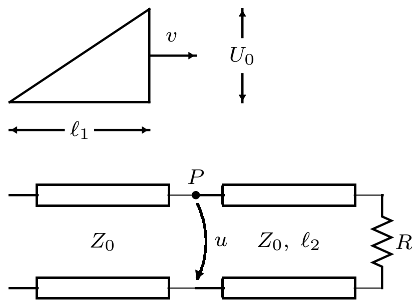
2.



Mitkä ovat oheisen piirin
a) y-parametrit, b) entä z-parametrit?
Onko piiri
c) resiprookkinen, d) entä symmetrinen?

$$y_{\text{in}} = g_{\text{in}} = g_{\text{out}} = 1 \text{ S} \quad y_{\text{out}} = 2 \text{ S}.$$

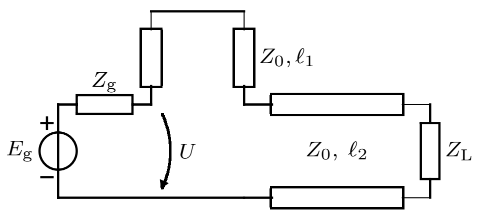
3.



Äärettömän pitkä häviötön johto, jonka ominaisimpedanssi $Z_0 = 300\,\Omega$, on päätetty vastuksella $R = 100\,\Omega$. Johtoa pitkin saapuu aalto, jonka jännite on kuvan mukainen. Piirrä jännite u pisteessä P ajan funktiona.

$$U_0 = 1\,\text{kV} \quad v = 3 \cdot 10^8\,\text{m/s} \quad \ell_1 = 100\,\text{m}$$
$$\ell_2 = 25\,\text{m}.$$

4.

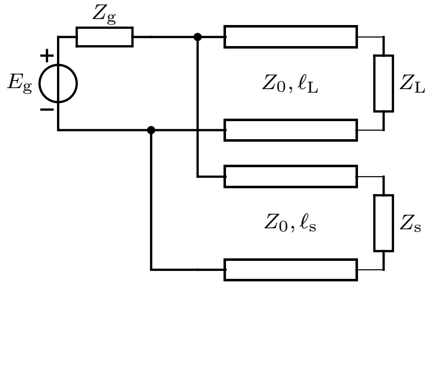


Laske jännite U oheisessa piirissä siirtojohdon ketjuparametrejä käyttäen. Siirtojohdot ovat häviöttömiä.

$$\boldsymbol{K} = \begin{bmatrix} \cos(\beta\ell) & \mathrm{j}Z_0\sin(\beta\ell) \\ \mathrm{j}Y_0\sin(\beta\ell) & \cos(\beta\ell) \end{bmatrix}$$

$$Z_0 = 10\ \Omega \qquad \ell_1 = \tfrac{\lambda}{2} \qquad \ell_2 = \tfrac{\lambda}{4}$$
$$Z_{\text{g}} = (100 + \mathrm{j}100)\ \Omega \quad Z_{\text{L}} = (\tfrac{1}{2} + \mathrm{j}\tfrac{1}{2})\ \Omega \quad E_{\text{g}} = 10\,\text{V}.$$

5.



Sovita kuormaimpedanssi Z_{L} generaattoriin kuvan mukaisella kytkennällä. Valitse johdon L pituus ℓ_{L} siten, että sovitus syntyy lyhimmällä mahdollisella johdolla. Valitse myös pääteimpedanssi Z_{s} (joko $Z_{\text{s}} = 0\,\Omega$ tai $Z_{\text{s}} = \infty\,\Omega$) niin, että johdon s pituus ℓ_{s} on lyhin mahdollinen. Mitkä ovat sovitetun piirin ℓ_{L}, ℓ_{s} ja Z_{s}? Siirtojohdot ovat häviöttömiä. Aalto etenee johdoilla valon nopeudella taajuudella 960 MHz.

$$c = 3 \cdot 10^8\,\text{m/s} \quad f = 960\,\text{MHz} \quad Z_{\text{L}} = 15 - \mathrm{j}20\ \Omega$$
$$Z_{\text{g}} = Z_0 = 50\ \Omega.$$

Palauta Smithin kartta osana vastaustasi!

Tutkintosääntö antaa mahdollisuuden järjestää lisäharjoitusta niille opiskelijoille, jotka ovat saaneet kolmesti hylätyn arvosanan välikokeista tai tentistä. Tämä tarkoittaa sitä, että saatuaan kolme nollaa, opiskelijan on palautettava laskettuna 20 assistentin määräämää lisätehtävää ennen seuraavaan tenttiin tai välikokeeseen osallistumista. Välikokeet ja välikokeen uusinta tai uusintatilaisuudessa tehty tentti lasketaan yhdeksi yritykseksi. Yksittäinen välikoe lasketaan puolikkaaksi suorituskerraksi.

Läsnäolo koetilaisuudessa lasketaan yritykseksi, samoin tenttiin ilmoittautuminen.

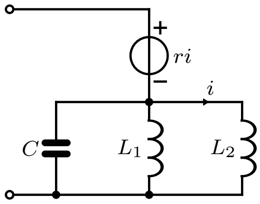
Laplace-muunnostaulukko

Määritelmä		
1.	$f(t)$	$F(s) = \mathcal{L}\{f(t)\} = \int_0^\infty f(t)e^{-st}\mathrm{d}t$

Laplace-muunnoksen ominaisuuksia		
	$f(t)$	$F(s) = \mathcal{L}\{f(t)\}$
2.	$A_1 f_1(t) + A_2 f_2(t)$	$A_1 F_1(s) + A_2 F_2(s)$
3.	$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t} f(t)$	$sF(s) - f(0)$
4.	$\frac{\mathrm{d}^n}{\mathrm{d}t^n} f(t)$	$s^n F(s) - \sum_{i=1}^{n} s^{n-i} f^{(i-1)}(0)$
5.	$\int_0^t f(\tau)\mathrm{d}\tau$	$\frac{1}{s} F(s)$
6.	$(-t)^n f(t)$	$\frac{\mathrm{d}^n}{\mathrm{d}s^n} F(s)$
7.	$f(t-a)\varepsilon(t-a)$	$e^{-as}F(s)$
8.	$f(t+a)$	$e^{as}(F(s) - \int_0^a e^{-st} f(t)\mathrm{d}t)$
9.	$e^{-at} f(t)$	$F(s+a)$
10.	$f(at)$	$\frac{1}{a} F\left(\frac{s}{a}\right)$
11.	jaksollinen funktio $f(t) = f(t+T)$	$\frac{F_1(s)}{1 - e^{-sT}}$, $F_1(s) =$ yhden jakson muunnos.
12.	$f_1(t) * f_2(t) = \int_0^t f_1(\tau) f_2(t-\tau)\mathrm{d}\tau$	$F_1(s)F_2(s)$
13.	$f(0^+) = \lim_{s\to\infty} sF(s)$	
14.	$f(\infty) = \lim_{s\to 0} sF(s)$, jos loppuarvo on olemassa	

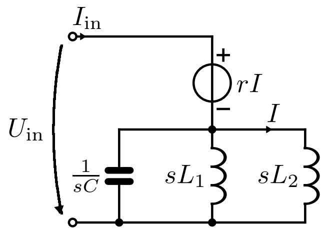
Muunnospareja		
	$f(t)$	$F(s) = \mathcal{L}\{f(t)\}$
15.	$\delta(t)$	1
16.	$a\varepsilon(t)$	$\frac{a}{s}$
17.	t	$\frac{1}{s^2}$
18.	$\frac{t^n}{n!}$	$\frac{1}{s^{n+1}}$
19.	e^{-at}	$\frac{1}{s+a}$
20.	$e^{-at} - e^{-bt}$	$\frac{b-a}{(s+a)(s+b)}$
21.	$\sin(\omega t)$	$\frac{\omega}{s^2+\omega^2}$
22.	$\cos(\omega t)$	$\frac{s}{s^2+\omega^2}$
23.	$\sinh(at)$	$\frac{a}{s^2-a^2}$
24.	$\cosh(at)$	$\frac{s}{s^2-a^2}$
25.	$e^{-at}\sin(\omega t)$	$\frac{\omega}{(s+a)^2+\omega^2}$
26.	$e^{-at}\cos(\omega t)$	$\frac{s+a}{(s+a)^2+\omega^2}$
27.	$\frac{e^{-at}t^n}{n!}$	$\frac{1}{(s+a)^{n+1}}$
28.	$\frac{t}{2\omega}\sin(\omega t)$	$\frac{s}{(s^2+\omega^2)^2}$
29.	$[\varepsilon(t) - \varepsilon(t-\pi/\omega)]\sin(\omega t)$	$\left(1 + e^{-\pi s/\omega}\right)\frac{\omega}{s^2+\omega^2}$

0.1



Millä resistanssin r arvoilla piiri on stabiili jänniteherätteellä?

Koska olemme kiinnostuneita stabiilisuudesta jänniteherätteellä, on tutkittava syöttöpisteadmittanssin napoja. Lasketaan s-tasossa piirin syöttöpisteadmittanssi Y_{in}.



$$Z_{CL1} = \frac{\frac{1}{sC} sL_1}{\frac{1}{sC} + sL_1} = \frac{sL_1}{1 + s^2 CL_1}$$

$$I = \frac{Z_{CL1}}{Z_{CL1} + sL_2} I_{\text{in}} = \frac{\frac{sL_1}{1+s^2CL_1}}{\frac{sL_1}{1+s^2CL_1} + sL_2} I_{\text{in}} = \frac{sL_1}{s(L_1 + L_2) + s^3 L_1 L_2 C} I_{\text{in}}$$

$$U_{\text{in}} = (sL_2 + r)I = \frac{sL_1(sL_2 + r)}{s(L_1 + L_2) + s^3 L_1 L_2 C} I_{\text{in}}$$

Syöttöpisteadmittanssi saadaan jakamalla virta I_{in} jännitteellä U_{in}.

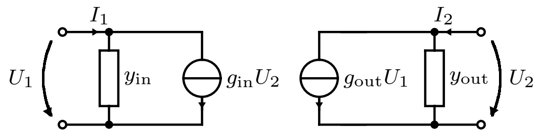
$$Y_{\text{in}} = \frac{I_{\text{in}}}{U_{\text{in}}} = \frac{s(L_1 + L_2) + s^3 L_1 L_2 C}{sL_1(sL_2 + r)} = \frac{(L_1 + L_2) + s^2 L_1 L_2 C}{L_1(sL_2 + r)}$$

Stabiilisuuden tutkimiseksi ratkaistaan nimittäjän nollakohdat:

$$L_1(sL_2 + r) = 0$$

$$\Rightarrow s = -\frac{r}{L_2} \leq 0 \Leftrightarrow \ r \geq 0$$

0.2



Mitkä ovat oheisen piirin
a) y-parametrit, b) entä z-parametrit?
Onko piiri
c) resiprookkinen, d) entä symmetrinen?

$$y_{\text{in}} = g_{\text{in}} = g_{\text{out}} = 1\ \text{S} \quad y_{\text{out}} = 2\ \text{S}.$$

---

a) piiri on suoraan samaa muotoa, kuin y-parametrisijaiskytkentä.

y-parametrien määritelmä:

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} \\ y_{21} & y_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{bmatrix}$$

Kuvasta saadaan y-parametreiksi:

$$y = \begin{bmatrix} y_{\text{in}} & g_{\text{in}} \\ g_{\text{out}} & y_{\text{out}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix}$$

b) z-matriisi on y-matriisin käänteismatriisi

$$z = y^{-1} = \begin{bmatrix} 2 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}$$

c) piirin resiprookkisuus nähdään kummasta tahansa parametriesityksestä

$$y_{12} = y_{21} \text{ (tai } z_{12} = z_{21})$$

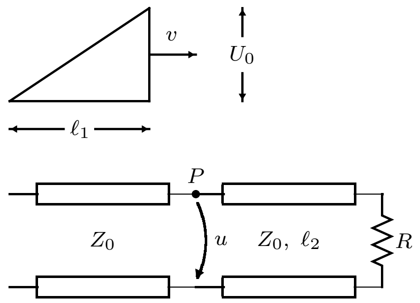
$\Rightarrow$ piiri on resiprookkinen.

d) piirin symmetrisyys nähdään kummasta tahansa parametriesityksestä

$$y_{11} \neq y_{22} \text{ (tai } z_{11} \neq z_{22})$$

$\Rightarrow$ piiri ei ole symmetrinen.

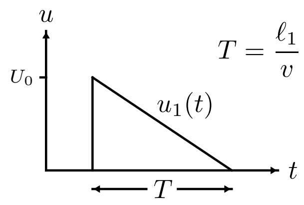
0.3



Äärettömän pitkä häviötön johto, jonka ominaisimpedanssi $Z_0 = 300\,\Omega$, on päätetty vastuksella $R = 100\,\Omega$. Johtoa pitkin saapuu aalto, jonka jännite on kuvan mukainen. Piirrä jännite u pisteessä P ajan funktiona.

$U_0 = 1\,\mathrm{kV} \quad v = 3 \cdot 10^8\,\mathrm{m/s} \quad \ell_1 = 100\,\mathrm{m}$
$\ell_2 = 25\,\mathrm{m}$.

Saapuva aalto aiheuttaa pisteessä P kuvan mukaisen jännitepulssin $u_1(t)$:



Kun kolmioaalto saapuu pisteeseen P, ensimmäisenä havaitaan sen etureuna, jossa jännite on U_0. Aallon edetessä kohti loppupäätä jännite pienenee aallon mukaan.

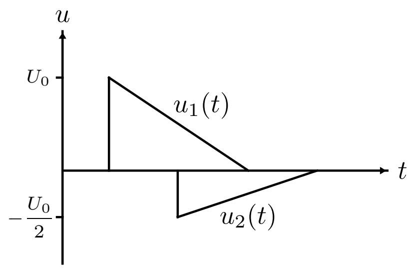
Aalto heijastuu johdon lopusta, missä $\rho = \dfrac{R - Z_0}{R + Z_0} = -\dfrac{1}{2}$.

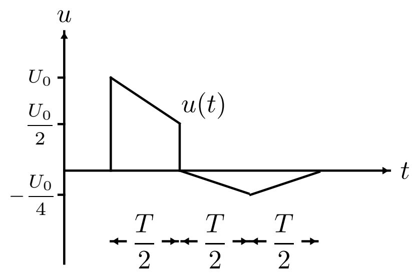
Heijastuneen pulssin $u_2(t)$ huippuarvo on siis $-U_0/2$ ja kestoaika T.

Heijastunut pulssi saapuu pisteeseen P ajan $\Delta t = \dfrac{2\ell_2}{v}$ verran myöhemmin kuin tuleva pulssi. Annetuilla lukuarvoilla $\Delta t = T/2$.

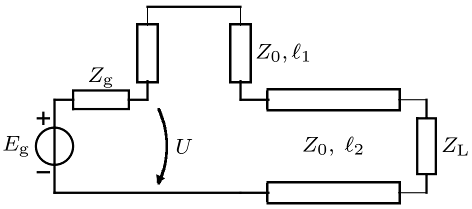
Jännitteet $u_1(t)$ ja $u_2(t)$ summautuvat, joten kokonaisjännite pisteessä P on $u_1(t) + u_2(t)$.

Saadaan:





0.4



Laske jännite U oheisessa piirissä siirtojohdon ketjuparametrejä käyttäen. Siirtojohdot ovat häviöttömiä.

$$\boldsymbol{K} = \begin{bmatrix} \cos(\beta\ell) & \mathrm{j}Z_0\sin(\beta\ell) \\ \mathrm{j}Y_0\sin(\beta\ell) & \cos(\beta\ell) \end{bmatrix}$$

$Z_0 = 10\ \Omega$ $\quad \ell_1 = \frac{\lambda}{2}$ $\quad \ell_2 = \frac{\lambda}{4}$

$Z_g = (100 + \mathrm{j}100)\ \Omega$ $\quad Z_L = (\frac{1}{2} + \mathrm{j}\frac{1}{2})\ \Omega$ $\quad E_g = 10\,\mathrm{V}$.

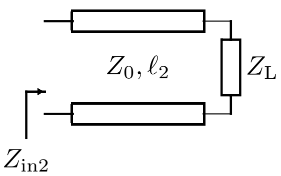
Häviöttömän siirtojohdon ketjuparametrit:

$$\begin{bmatrix} U_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\beta\ell) & \mathrm{j}Z_0\sin(\beta\ell) \\ \mathrm{j}Y_0\sin(\beta\ell) & \cos(\beta\ell) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_2 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

Johdon alkupäässä näkyvä impedanssi:

$$Z_{in} = \frac{U_1}{I_1} = \frac{Z_L\cos(\beta\ell) + \mathrm{j}Z_0\sin(\beta\ell)}{\mathrm{j}Z_L Y_0\sin(\beta\ell) + \cos(\beta\ell)}$$

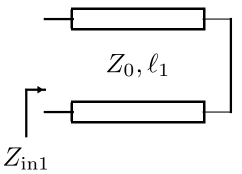
Lasketaan johdon 2 alkupäästä näkyvä impedanssi:



$$\beta\ell_2 = \frac{2\pi}{\lambda}\cdot\frac{\lambda}{4} = \frac{\pi}{2}$$

$$Z_{in2} = \frac{Z_L\cos(\frac{\pi}{2}) + \mathrm{j}Z_0\sin(\frac{\pi}{2})}{\mathrm{j}Z_L Y_0\sin(\frac{\pi}{2}) + \cos(\frac{\pi}{2})} = \frac{Z_0^2}{Z_L} = \frac{100}{\frac{1}{2} + \mathrm{j}\frac{1}{2}} = 100 - \mathrm{j}100\,\Omega$$

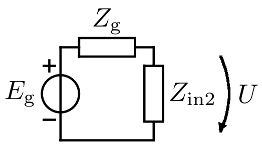
Lasketaan johdon 1 alkupäästä näkyvä impedanssi:



$$\beta\ell_1 = \frac{2\pi}{\lambda}\cdot\frac{\lambda}{2} = \pi$$

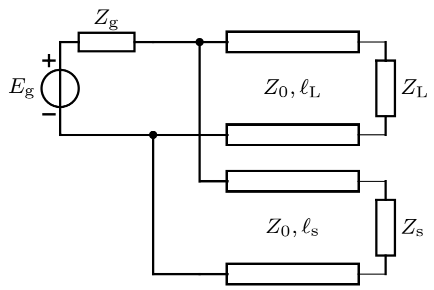
$$Z_{in1} = \frac{Z_L\cos(\pi) + \mathrm{j}Z_0\sin(\pi)}{\mathrm{j}Z_L Y_0\sin(\pi) + \cos(\pi)} = 0\,\Omega$$

Eli johto näkyy alkupäässä oikosulkuna.



$$U = \frac{Z_{in2}}{Z_g + Z_{in2}}\cdot E_g = \frac{100 - \mathrm{j}100}{100 + \mathrm{j}100 + 100 - \mathrm{j}100}\cdot 10 = 5 - \mathrm{j}5\,\mathrm{V} = \frac{10}{\sqrt{2}}\underline{/-45^\circ}\,\mathrm{V}$$

0.5



Sovita kuormaimpedanssi Z_L generaattoriin kuvan mukaisella kytkennällä. Valitse johdon L pituus ℓ_L siten, että sovitus syntyy lyhimmällä mahdollisella johdolla. Valitse myös pääteimpedanssi Z_s (joko $Z_\mathrm{s} = 0\,\Omega$ tai $Z_\mathrm{s} = \infty\,\Omega$) niin, että johdon s pituus ℓ_s on lyhin mahdollinen. Mitkä ovat sovitetun piirin ℓ_L, ℓ_s ja Z_s? Siirtojohdot ovat häviöttömiä. Aalto etenee johdoilla valon nopeudella taajuudella 960 MHz.

$$c = 3 \cdot 10^8\,\mathrm{m/s} \quad f = 960\,\mathrm{MHz} \quad Z_\mathrm{L} = 15 - \mathrm{j}20\ \Omega$$
$$Z_\mathrm{g} = Z_0 = 50\ \Omega.$$

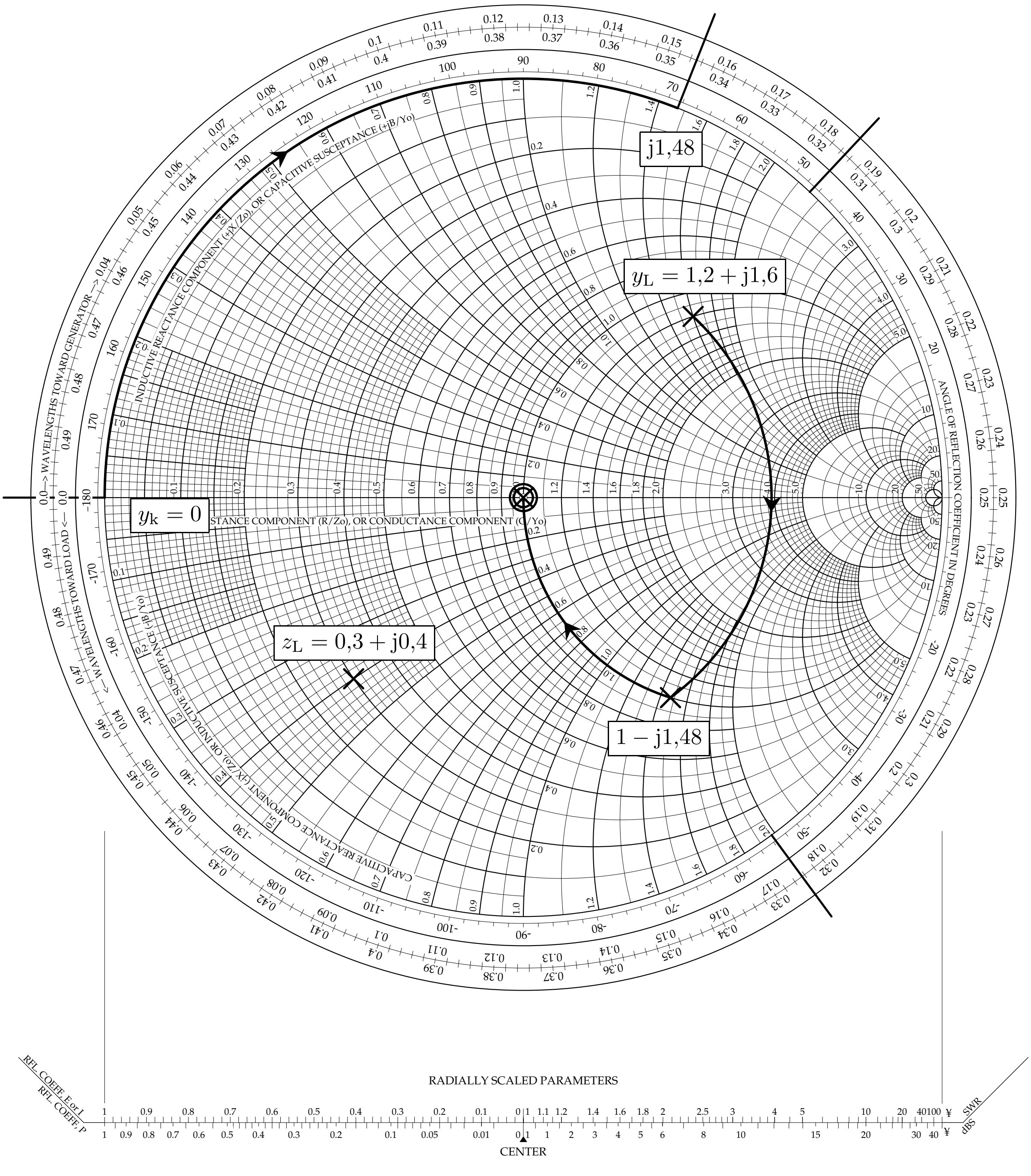
Aallonpituus: $\lambda = \dfrac{c}{f} = \dfrac{3 \cdot 10^8}{9{,}6 \cdot 10^8} = 0{,}3125$ m.
Normalisoidaan kuormaimpedanssi ja merkitään Smithin kartalle:

$$z_\mathrm{L} = \frac{Z_\mathrm{L}}{Z_0} = \frac{15 - \mathrm{j}20}{50} = 0{,}3 - \mathrm{j}0{,}4$$

Koska sovitus tehdään rinnakkaisstubilla, käytetään impedanssien sijasta admittansseja. Peilataan impedanssi admittanssiksi y_L pisteeseen $1{,}2 + \mathrm{j}1{,}6$.
Siirrytään generaattoriin päin, kunnes päästään pisteeseen, jossa $\Re\mathrm{e}\,\{y\} = 1{,}0$. Sovituspätkän etäisyydeksi kuormasta saadaan $\ell_\mathrm{L} = 0{,}3245\lambda - 0{,}185\lambda = 0{,}1395\lambda$ eli 4,359 cm. Tässä pisteessä johdosta näkyvä normalisoitu admittanssi on $1 - \mathrm{j}1{,}48$.
Koska admittanssin imaginaariosa on tarkoitus kumota rinnakkaisstubilla, stubin normalisoidun admittanssin on oltava $+\mathrm{j}1{,}48$.
Lyhimmällä stubilla selvitään, kun siirrytään pisteestä $y_\mathrm{s} = 0$ (avoin piiri) generaattoriin päin, kunnes päästään pisteeseen, jossa $\Im\mathrm{m}\,\{y\} = 1{,}48$. Stubin pituudeksi saadaan: $\ell_\mathrm{s} = 0{,}155\lambda$ eli 4,844 cm.

$\ell_\mathrm{L} = 0{,}1395\lambda = 4{,}359\,\mathrm{cm}$, $\ell_\mathrm{s} = 0{,}155\lambda = 4{,}844\,\mathrm{cm}$ ja $Z_\mathrm{s} = \infty\,\Omega$.

Liitteenä tehdyn sovituksen Smithin kartta.


j1,48
$y_L = 1,2 + j1,6$
$y_k = 0$
$z_L = 0,3 + j0,4$
$1 - j1,48$
INDUCTIVE REACTANCE COMPONENT (+jX/Zo), OR CAPACITIVE SUSCEPTANCE (+jB/Yo)
RESISTANCE COMPONENT (R/Zo), OR CONDUCTANCE COMPONENT (G/Yo)
CAPACITIVE REACTANCE COMPONENT (-jX/Zo) OR INDUCTIVE SUSCEPTANCE (-jB/Yo)
ANGLE OF REFLECTION COEFFICIENT IN DEGREES
0.0 —> WAVELENGTHS TOWARD GENERATOR —>
<— WAVELENGTHS TOWARD LOAD <—
RADIALLY SCALED PARAMETERS
RFL. COEFF, E or I
RFL. COEFF, P
SWR
dBS
CENTER