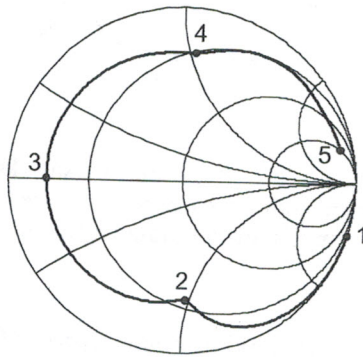


5-26.211 Fundamentals of Radio Engineering
 Uusiintalenti 26.1.2015
 1. tehtävä monivalinta

Tehtävä 2.

Erään kuorman sovittamaton impedanssi on esitetty alla Smithin diagrammilla UHF-taajuuskaistalla. Referenssi-impedanssi on 50Ω .

- Millä taajuudella kuormaimpedanssi on **huonoiten** sovitettu referenssi-impedanssiin ilman sovituspiiriä? Perustele vastauksesi. Mikä on heijastushäviö (dB) tällä taajuudella? (4 p)
- Vastaa lyhyesti, miksi impedanssisovittaminen on tärkeää radiotekniikassa. (2 p)
- Sovita kuormaimpedanssi referenssi-impedanssiin 2,7 GHz:n taajuudella (piste 4) käyttäen keskitettyjä kondensaattoreita siten, että ensimmäinen kondensaattori kuormasta lukien on sarjassa. Esitä vastauksessasi käyttämäsi sovituspiiritopologia ja palauta myös Smithin diagrammi. (4 p)



point	f [GHz]	impedance [Ω]
1	0.3	$0.4 - j 330$
2	1.2	$18 - j 50$
3	1.8	$6 + j 0$
4	2.7	$16 + j 58$
5	3.0	$128 + j 390$

Vakioita: $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ As/Vm}$, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Vs/Am}$, $|q| = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ As}$, $\eta_0 = 120 \cdot \pi \Omega$
 $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$, $h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$, $m_e = 9,109 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$, $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ 1/mol}$, $T_0 = 290 \text{ K}$

Joitain kaavoja muistin virkistämiseksi. Kaikkia kaavoja **ei** tarvita tässä tentissä! ☺

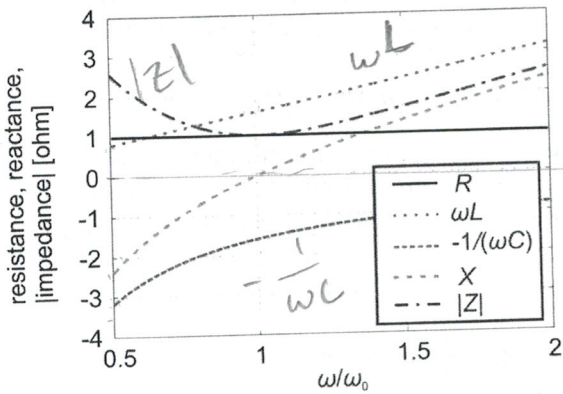
$$G = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_{\text{eff}}, \quad Q = \frac{\omega_r W}{P}, \quad \Omega = \tan(\beta l), \quad Z(-l) = Z_0 \frac{Z_L + jZ_0 \tan(\beta l)}{Z_0 + jZ_L \tan(\beta l)}, \quad D_{\text{max}} = \frac{S_{\text{max}}}{\frac{1}{4\pi} \oint S(\theta, \varphi) d\Omega},$$

$$T_R = T_1 + \frac{T_2}{G_1} + \frac{T_3}{G_1 G_2} + \dots, \quad T_L = T_{\text{phys}}(L-1), \quad \text{HPBW} = 0.89 \frac{\lambda}{a}, \quad r_F = \sqrt{\frac{\lambda \cdot r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2}}, \quad F_R = 1 + \frac{T_R}{T_0},$$

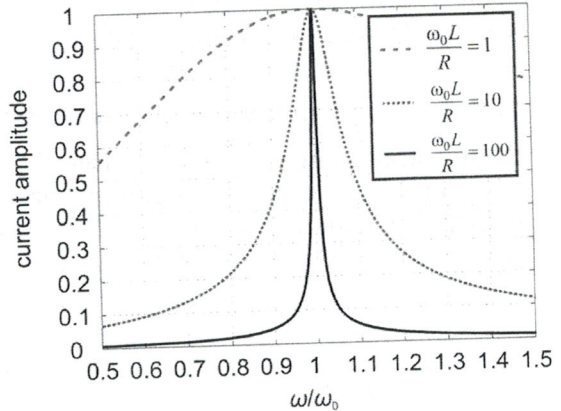
$$\vec{S} = \frac{1}{2} \Re \{ \vec{E} \times \vec{H}^* \}, \quad P = \frac{1}{2} \Re \{ V \cdot I^* \}, \quad \text{VSWR} = \frac{1 + |\rho|}{1 - |\rho|}, \quad v_n \approx \sqrt{4kTRdf}, \quad \vec{a} \cdot \vec{b} = |\vec{a}| |\vec{b}| \cdot \cos \varphi$$

Tehtävä 3.

Eräs RLC-resonaattori koostuu vastuksesta R , kelasta L ja kondensaattorista C . Vastaa alla oleviin pieniin tehtäviin **riittävien perustelujen** kera.



Kuva 1. Resonaattorin resistanssi R , induktiivinen reaktanssi ωL , kapasitiivinen reaktanssi $-1/(\omega C)$, reaktanssi X ja impedanssin itseisarvo $|Z|$ on esitetty normalisoidun kulmataajuuden ω/ω_0 funktiona.



Kuva 2. Resonaattorissa kulkevan virran amplitudi on esitetty eri suureen $\omega_0 L/R$ arvoilla normalisoidun kulmataajuuden ω/ω_0 funktiona.

- Onko Kuvan 1 resonaattori sarjaresonaattori **vai** rinnakkaisresonaattori? (1 p)
- Katso Kuvia 1 ja 2, ja selitä mitä fysikaalisia efektejä tapahtuu resonanssitaajuudella $\omega = \omega_0$. (3 p)
- Alkaen kuormittamattoman hyvyysluvun määritelmästä (katso kaavoja edellisellä sivulla!) johda lauseke resonaattorin kuormittamattomalle hyvyysluvulle Q_0 resistanssin R , kelan induktanssin L ja resonanssikulmataajuuden ω_0 funktiona. (3 p)
- Katso Kuvaa 2, ja selitä mitä kuormittamaton hyvyysluku Q_0 kuvaa?

Vastaa Tehtäviin 4 & 5 eri vastausarkille kuin Tehtäviin 2 & 3!

Tehtävä 4.

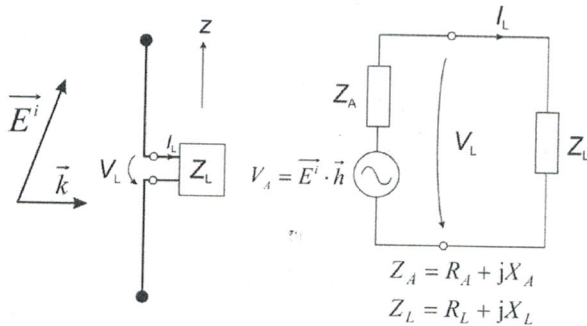
4G-verkossa oleva matkapuhelin vastaanottaa tehon -83 dBm $2,6$ GHz:n taajuudella, jossa antennin vahvistus on 3 dBi. Vastaanottimen kohinaluku on 6 dB, kohinakaista 10 MHz ja antennin kohinalämpötila 310 K. Polarisaatiot ja impedanssit on sovitettu.

- Laske saapuvan radioaallon tehotiheys (nW/m^2 ja dBm/m^2) ja vastaava sähkökentän voimakkuuden huippuarvo (mV/m). (4 p)
- Laske signaali-kohina -suhde SNR (dB) vastaanottimessa. (4 p)
- Puhelimen käyttäjä vaihtaa sijaintiaan siten, että antennin säteilykuviossa on harmillisesti paikallinen minimi saapuvan aallon suuntaan. Tällöin (siis aallon tulosuuntaan) antennin vahvistus on vain -7 dBi. Mikä on uusi SNR? Sinun ei tarvitse suorittaa koko laskua uudestaan, sanallisesti perusteltu vastaus riittää. (2 p)

Vastaa Tehtäviin 4 & 5 eri vastausarkille kuin Tehtäviin 2 & 3!

Tehtävä 5.

Alla olevassa kuvassa on dipoliantenni vastaanotossa ja tilannetta vastaava sijaiskytkentä. Vastaa tehtäviin a.-e. (jokainen kohta 2 p). Esitä ja perustelee kaikki välivaiheet.



\vec{E}^i = saapuvan aallon sähkökenttävektori (huippuarvo)

$\vec{h} = h_0 \cdot \vec{u}_z$ = antennin tehollinen pituusvektori
(tehollinen pituusvektori on samansuuntainen antennilangan kanssa eli tässä z-suuntainen, $h_0 = \text{vakio}$)

I_L = virta piirissä (huippuarvo)

V_A = avoimen piirin jännite (huippuarvo)

V_L = jännite kuormaimpedanssissa (huippuarvo)

Z_A = antennin sisäänmenoimpedanssi

Z_L = kuorman impedanssi

- a. Aloittaen pätötehon kaavasta $P_L = \frac{1}{2} \Re\{V_L \cdot I_L^*\}$ (* tarkoittaa kompleksikonjugaattia) osoita, että kuormaimpedanssiin saatava teho P_L (tehollisarvo) voidaan laskea kaavasta

$$P_L = \frac{1}{2} R_L \left| \frac{\vec{E}^i \cdot \vec{h}}{Z_L + Z_A} \right|^2.$$

- b. Anna käytännön esimerkki tilanteesta, jossa pistetulo $\vec{E}^i \cdot \vec{h} = 0$ (tällöin $P_L = 0$). Vinkki: tämä tehtävä liittyy antennin polarisaatioon.
- c. Anna käytännön esimerkki tilanteesta, jossa pistetulo $\vec{E}^i \cdot \vec{h}$ saa suurimman arvonsa.
- d. Mitkä ehdot saadaan suureiden $R_A (> 0)$, $R_L (\geq 0)$, X_A ja X_L välille kun lauseke

$$\frac{R_L}{|Z_L + Z_A|^2}$$

pätötehon P_L yhtälössä (ks. kohta a.) saa **suurimman** arvonsa?

- e. Osoita, että **suurin** kuorman saatava teho (tehollisarvo) voidaan laskea kaavasta

$$P_{L,\max} = \frac{|\vec{E}^i|^2 |\vec{h}|^2}{8R_A}.$$