

Jak měřit Q rezonančního obvodu s VNA

(Aprílové kibicování od OK5US)

8/4/2013

(VNA = Vektorový analyzátor obvodů), miniVNA a i ty od HP, Rhode Schwarz či Agilent.

Reakce na webový článek OK1CJB.

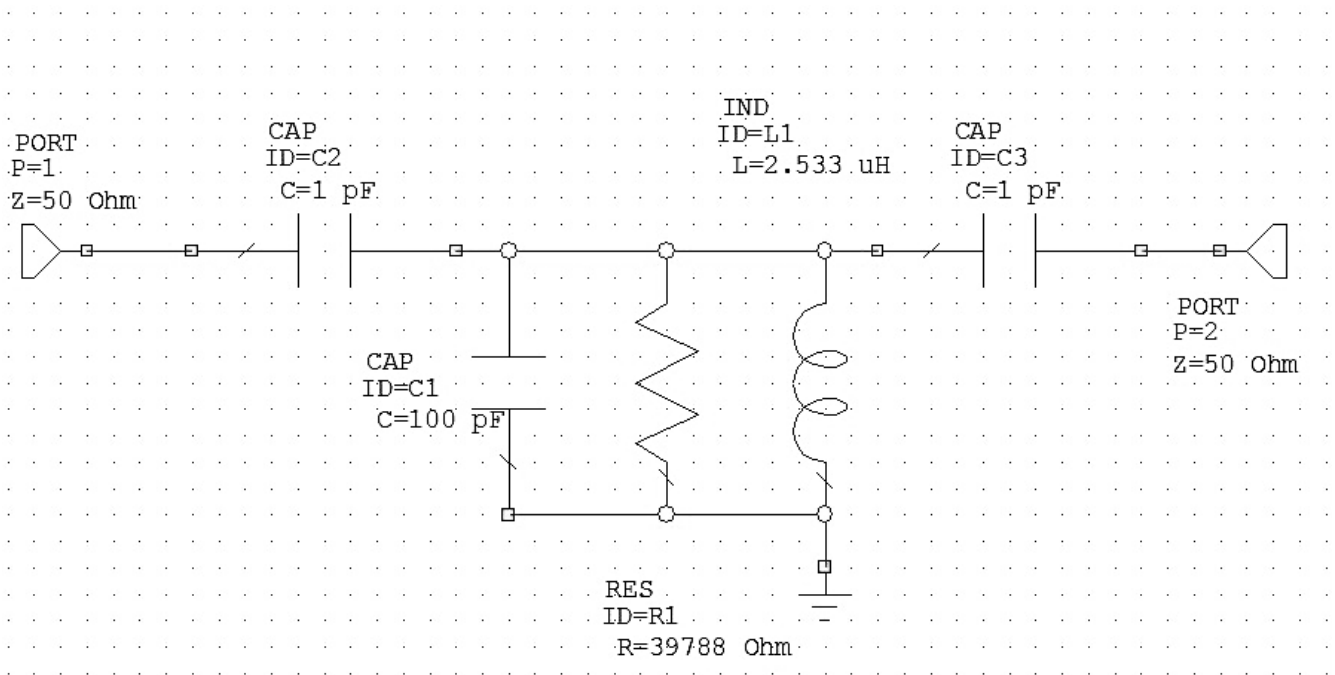
http://www.ok1cjb.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=719:3-860&catid=8:minivna-prakticky&Itemid=15.

Bylo mi řečeno, že se s miniVNA špatně měří rezonanční obvody, respektive, že to nejde vůbec. Tady došlo k hrubému nepochopení. Nemůžu připojit laděný obvod k miniVNA, který je přepnutý na měření antén a čekám, že mi něco ukáže. Vstupní impedance miniVNA je 50Ω a ta dokáže svým připojením utlumit vše.

Jde to takhle:

Metoda je z knihy 'Handbook of Filter Synthesis' od Anatol Zverev, ISBN 0471986801, rok 1967.

Rezonátor připojíme přes vazební obvod k analyzátoru a změříme útlum, rezonanční kmitočet a šířku pásma kde je útlum o 3dB větší než při rezonanci.



Když je vazební obvod symetrický a vstupní a zatěžovací impedance analyzátoru jsou si rovny, pak

platí pro útlum:

$$L(dB) = 20 * \log\left(\frac{U}{U-1}\right)$$

kde:

$$U = \frac{Q_0}{Q_{\text{změřeno}}}$$

U je Eulenspieglova konstanta, s kterou vypočítáme skutečné Q obvodu. Po malé algebraické úpravě máme metodu:

$$Q_{\text{změřeno}} = \frac{F_0}{3dB BW} \quad (1)$$

F₀ = frekvence kde je max útlum

3dB BW = šířka pásma kde útlum je +3dB

L = útlum v dB

$$U = \frac{10^{\frac{L}{20}}}{10^{\frac{L}{20}} - 1} \quad (2)$$

$$Q_0 = U * Q_{\text{změřeno}} \quad (3)$$

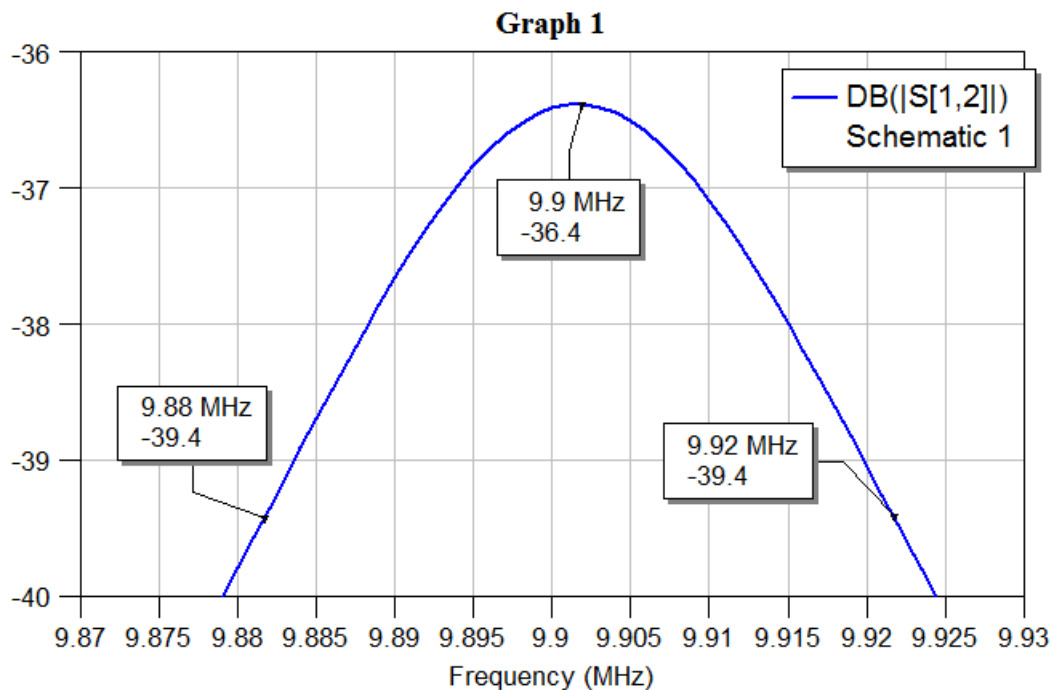
O symetrii vazebního obvodu svědčí rovnost S₁₁ = S₂₂, a S₂₁ = S₁₂.

Příklad:

Indukčnost L = 2.533 microHenry a odpor 39788 Ohmů představují na 10 Mhz Q = 250.

Indukčnost rezonuje na 10 MHz s 100pF kondenzátorem. Laděný obvod navážeme s 1pF kondenzátory k frekvenčnímu analyzátoru. Rezonanční frekvence se vazebním obvodem sníží, něco co atomoví fyzici znají jako Heisenbergův princip, 10MHz rezonátor rezonuje na jiném kmitočtu a doladěním 100pF kondenzátorem, představuje jiný než původní obvod.

VNA by měl ukázat něco podobného:



$F_0 = 9903 \text{ kHz}$, $3\text{dB BW} = 40\text{kHz}$

$Q_{\text{změřeno}} = 247$

$U = 1.01536$, korekce je 1.5 procent,

$Q_0 = 251.3$

Teoretické Q na 9.903 Mhz je 252.44 .

Výsledek by byl blíže teoretické hodnotě, kdybych si dal víc záležet na odečtení frekvencí, kde je 3dB útlum v grafu.

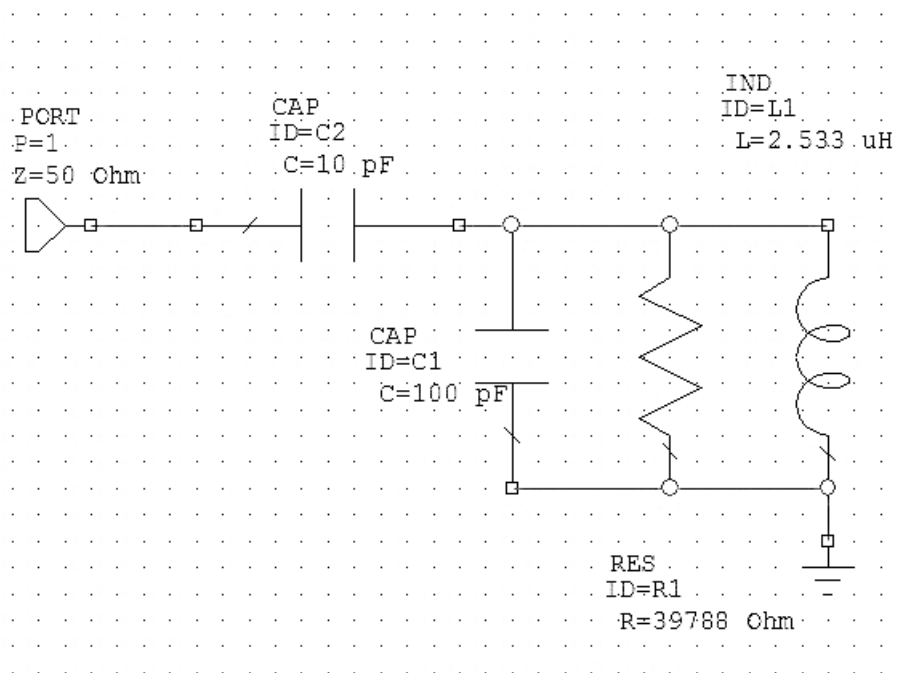
Velikost korekčního faktoru je závislá na velikosti vazebního obvodu, větší vazební kapacity nám zmenší útlum, změní však rezonanční kmitočet a přesnost měření. Když navážeme laděný obvod tak aby jeho útlum byl větší než 25 dB tak $Q_{\text{změřeno}}$ se nebude lišit od teoretického více než 5 procent. Přesnost dostatečná pro bastlíře.

Místo vazebních kondenzátorů můžeme použít i linkovou vazbu jak OK1CJB. Ztráty v linkové vazbě na vyšších kmitočtech určitě nějak ovlivní přesnost měření. Kapacitní vazba může být kousek drátu co přiblížíme bez doteku k rezonátoru.

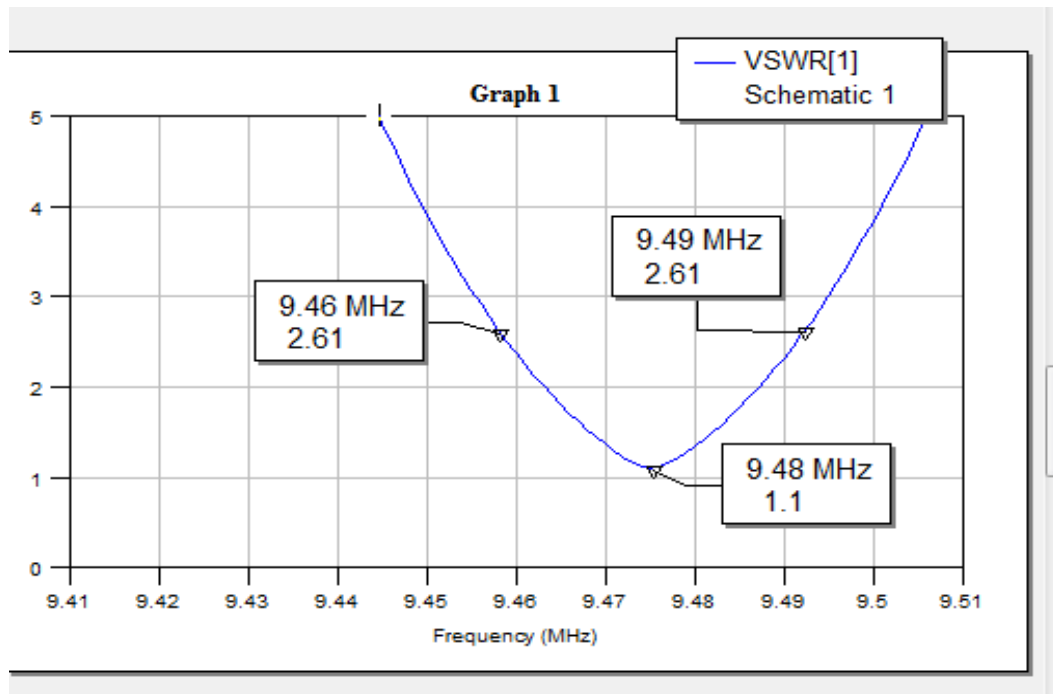
Tato metoda je vhodná pro měření Q u rezonátorů, které nemají svorky k připojení, jako jsou rezonanční dutiny, dielektrické rezonátory a nebo samorezonanční spirály (helical resonators).

Pro ty co ještě nemají miniVNA postačí metoda změření PSV (Poměr Stojatých Vln). Okoukal jsem jí z měření parametrů ekvivalentního LCR obvodu na anténách.

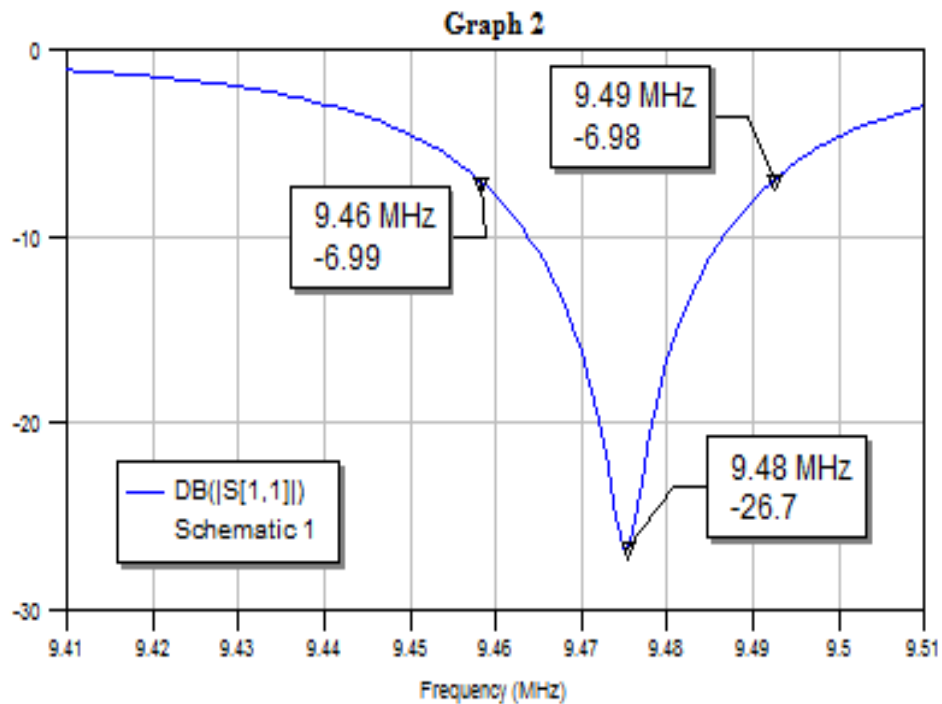
S PSV (VSWR) můstkem, připojíme rezonanční obvod vazebním členem - kondenzátor (nebo linková vazba) a nastavíme kondenzátorem $C2$ PSV k 1:1 na frekvenci F_0 . Odečteme spodní a horní frekvenci kde PSV je rovno 2.6166, a to je 3dB BW .



$$Q_0 = \frac{F_0}{3\text{dB BW}}$$



S VNA a S11 v log stupnici odečteme 3dB BW kde S11 je -6.99 dB



Na příkladě bylo záměrně nastaveno PSV jen 1:1.1, jako u typického MFJ můstku i když vám ukazuje 1:1.000 .

Hodnoty z grafu: 3dB BW = 43 kHz, $F_o = 9.475$ Mhz a $Q = 220$.

Vědecky založení určitě vyladí PSV k opravdovému 1:1.00 a přiblíží se k teoretickému $Q = 252$.

Hausnumera 2.6166 a 6.99 nedonesl čáp. Dají se odvodit z chování rezonančního obvodu kolem rezonanční frekvence. Na rezonačním kmitočtu se obvod jeví jako odpor:

$$R = Q \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Při kmitočtovém rozladění, kde napětí klesne o 3dB se odpor zmenší na polovinu a objeví se reaktivní impedance rovná tomu polovičnímu odporu.

Činitel odrazu pro zátěž R_a s reaktivní složkou X_a a referenčním odporem R_o :

$$\rho = \frac{\sqrt{(R_a - R_o)^2 + X_a^2}}{\sqrt{(R_a + R_o)^2 + X_a^2}}$$

Příklad: $R_a = 0.5$, $X_a = 0.5$, $R_o = 1.0$, $\rho = 0.44715$

$$PSV (VSWR) = \frac{1 + \rho}{1 - \rho}$$

$$PSV = 2.6166,$$

$$RL = 20 * \log(\rho) = -6.9909$$

Měření s impedančním můstkem upřesníme, když můstek vynulujeme se známou zátěží, například 51 Ohmů a 1 procent SMT 2010 odporem. Fixem si uděláme čárku na stupnici, kde je výchylka pro odpor 2.61 krát větší = 133 Ohmů. Jakákoliv nelinearita a nebo nepřesnost levných MFJ můstků je vyřešena. Ještě větší přesnost je možná s můstkem, kde R_o je 300 Ohmů a pro specialisty, kde $R_o = 377$ ohmů. Vazební člen nemusí tolik transformovat velikou impedanci rezonančního obvodu na R_o .

Záměrně nemluvíme o měření indukčností ale rezonátorů. Cívka jako dívka, napřed napětí a potom proud. Na první pohled opravdu měříme dívku-cívku ale jako v životě s dívkama je to víc komplikované. O cívkách se lépe hodí mluvit v máji, jak pán Mácha pravil. Zatím máme Apríl.