

Xbitni aktivni pomerač faze sa vektorskim modulatorom za opsege učestanosti oko 28 i 38 GHz -a (radni naslov)

Vuković Aleksandar 2018/3034, *student*

Sažetak—U nastavku su predstavljeni blokovi aktivnog pomerača faze sa vektorskim modulatorom. Pomerač faze je kontrolisan X-bitnim digitalno analognim konvertorom.

I. UVOD

Najčešći integrisani fazni pomerači se zasnivaju na vektor-modulatoru, topologiji sa raspoređenim parametrima (distribuirani) kao i topologijama reflektivnog i prekidačkog tipa. U nastavku je prikazan integrisani aktivni fazni pomerač zasnovan na vektor modulatoru.

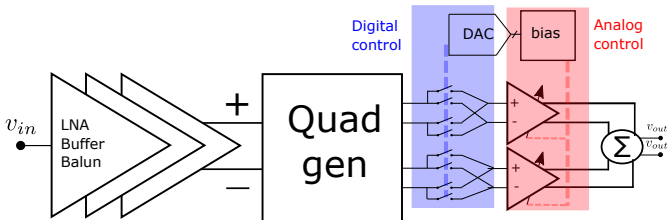
A. Specifikacije pomerača faze

Za razvoj i optimizaciju pomerača, potrebno je voditi računa o mnogobrojnim ograničenjima, od kojih treba izdvojiti:

- opseg kontrole faze, teži 360° .
- fazna rezolucija, gde je poželjna linearna kontrola
- grupno kašnjenje, ima veliki uticaj na širokopojasne sisteme jer dovodi do disperzije (rasprašivanja)
- slabljenje signala, koje zavisi i od faze, ova zavisnost od faze se može nadoknaditi pojačavačima sa podesivim pojačanjem

, ali i ne zanemariti sveprisutne zahteve vezane za širokopojasnost, linearnost kod velikog signala, potrošnju, prostor na čipu, šum i stabilnost sistema. Ove specifikacije se moraju razmatrati za sve topologije pomerača zasebno, zbog različitih podblokova.

B. Arhitektura pomerača faze sa vektor modulatorom



Slika 1. Arhitektura aktivnog faznog pomerača

Pomeranje faze, tj. sinteza faze se ostvaruje i zasnovana je na sabiranju kvadrturnih vektora linearnom operacijom koja je u idealnom slučaju nezavisna od učestanosti u određenom opsegu učestanosti. Digitalna kotrola pomeraja faze je implementirana direktno kao bit znaka I i Q signala koji se pojavljaju na ulazu pojačavača i indirektno preko D/A konvertora kojim se upravlja polarizacija tih pojačavača podesivih pojačanja (VGA). Kako bi se lako izvršila promena znaka

ulaznog signala on se prethodno prevodi u diferencijalni oblik pomoću *BALUN*-a, da bi se potom *I/Q all-pass* filtrom generisali signali u kvadraturi. Arhitektura aktivnog faznog pomerača je prikazana na slici 1.

Pošto se pojačavačem podesivog pojačanja upravlja DA konvertorom, fazna rezolucija pomerača faze je ograničena brojem bitova tog konvertora.

II. GENERATOR SIGNALA U KVADRaturi

Generator *I/Q* signala je ključan za rad faznog pomerača, jer od njegovih performansi zavisi kvalitet fazne modulacije. Važne specifikacije *I/Q* generatora su fazno i amplitudsko odstupanje ova dva signala u kvadraturi, njihovo slabljenje i propusni opseg, od kojih su opseg i fazno odstupanje fundamentalna ograničenja.

A. RC-CR filtar

Kao jednostavan primer *I/Q* generatora je predstavljen RC-CR filtar i njegova polifazna verzija. Kod ovog filtra se javlja problem slabljenja i osetljivosti na varijacije procesa. Izlazna impedansa filtra je kapacitivna, pa dodavanjem na izlaz kola čija kapacitivnost je obično istog reda kao i ova kapacitivnost, što utiče na izrazito uskopojasno ponašanje ovog filtra koje ograničava mogućnosti pomerača faze.

TODO: multi-stage R-C polyphase

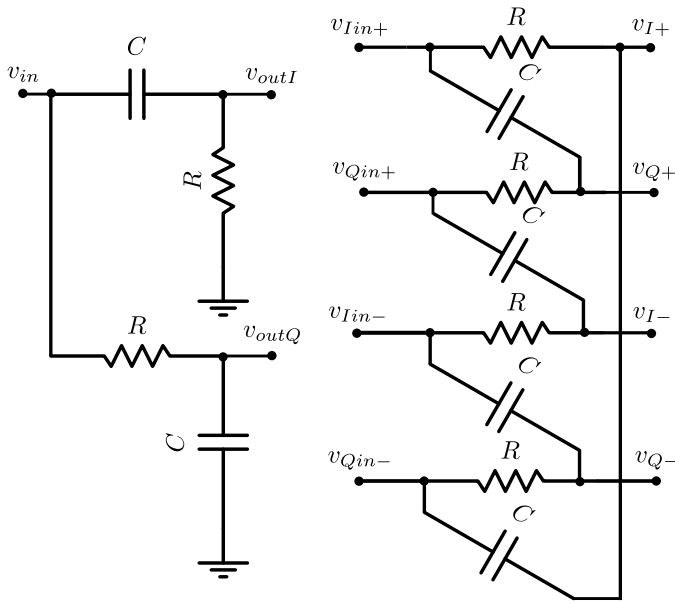
Problem uskopojasnosti se na štetu povećanja slabljenja signala može ublažiti dodavanjem još stepeni u polifazni RC-CR filtar.

B. Kvadrturni all-pass filtar (QAF)

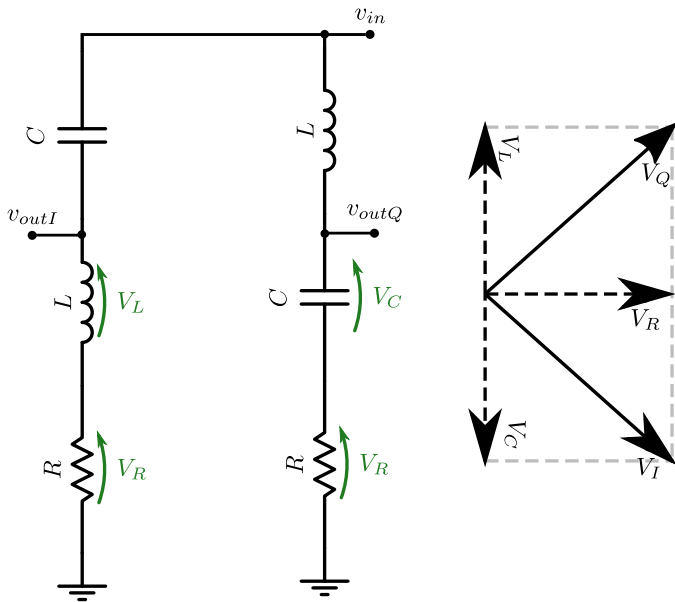
Kao i RC-CR filtar, ni QAF nije imun na opterećivanje kapacitivnošću izlaza.

Razlika faza I i Q signala QAF-a odgovara geometriji nula u *I/Q* karakteristici:

$$\begin{bmatrix} V_{I\pm} \\ V_{Q\pm} \end{bmatrix} = V_{in} \times \begin{bmatrix} s^2 + \frac{2\omega_o}{Q}s - \omega_o^2 \\ \pm \frac{2\omega_o}{Q}s - \omega_o^2 \\ s^2 - \frac{2\omega_o}{Q}s - \omega_o^2 \\ \mp \frac{2\omega_o}{Q}s - \omega_o^2 \end{bmatrix}$$



Slika 2. RC-CR filter i njegova polifazna verzija

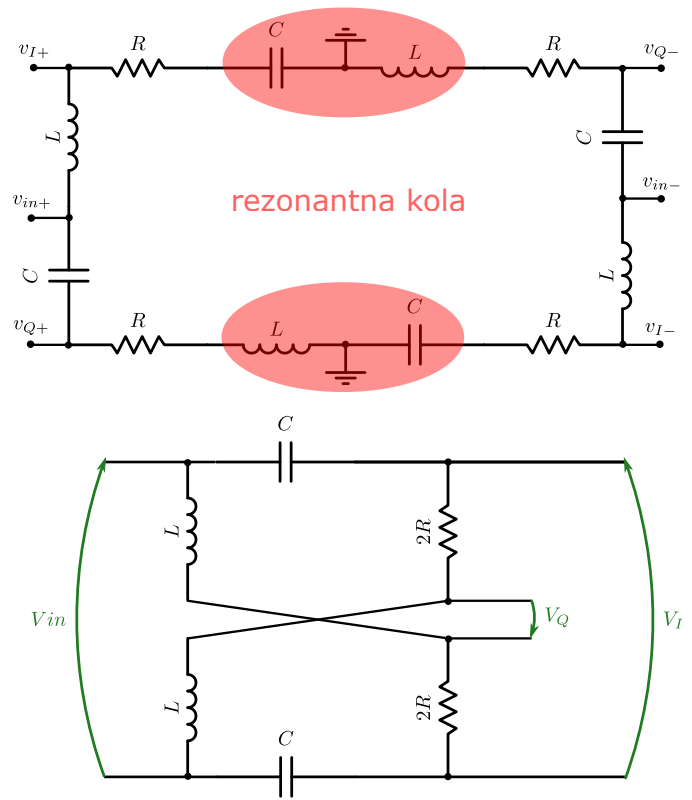


Slika 3. QAF single ended

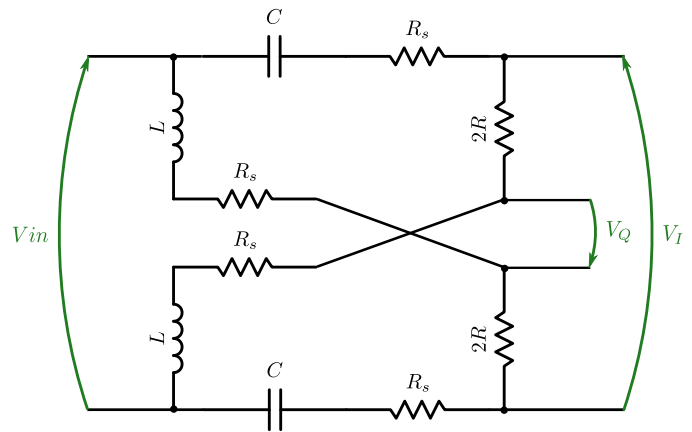
C. Diferencijalni degenerisani QAF

Dodavanjem otpornosti na red sa reaktivnim elementima se smanjuje njihov faktor dobrote (Q) i povećava propusni opseg, tj. smanjuje fazna greška kvadrturnih signala na opsegu učestanosti. Ali ove otpornosti povećavaju grešku amplitude, slabljenje I i Q signala i povećavaju potrošnju kola.

Razlika faza I i Q signala degenerisanog QAF-a odgovara geometriji nula u I/Q prenosnoj karakteristici:



Slika 4. Transformacija u diferencijalnu all-pass mrežu



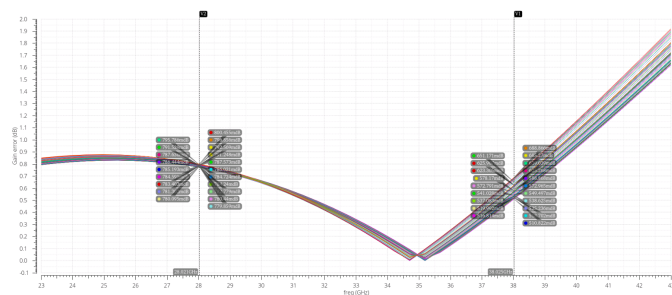
Slika 5. Degeneracija all-pass mreže

$$\begin{bmatrix} V_{I\pm} \\ V_{Q\pm} \end{bmatrix} = V_{in} \times \begin{bmatrix} \pm \frac{s^2 + \frac{2\omega_o}{Q}s - \omega_o^2}{s^2 + \frac{2\omega_o}{Q}(1 + \frac{R_s}{R})s - \omega_o^2} \\ \mp \frac{s^2 - \frac{2\omega_o}{Q}s - \omega_o^2}{s^2 + \frac{2\omega_o}{Q}(1 + \frac{R_s}{R})s - \omega_o^2} \end{bmatrix}$$

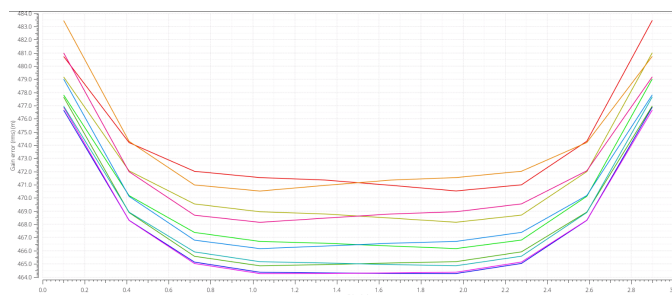
III. VEKTOR MODULATOR

Vektor modulator se sastoji od dva pojačavača linearno podesivog pojačanja (VGA - Variable Gain Amplifier) napra-

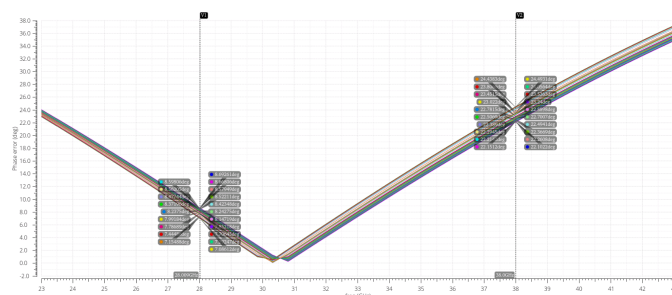
vljenih u topologiji Gilbertove ćelije. Diferencijalni I/Q izlazni signali QAF generatora pogone ova dva pojačavača.



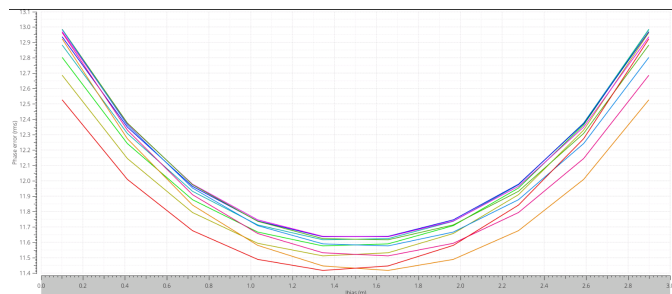
Slika 6. Greška pojačanja izlaznog signala na opsegu učestanosti



Slika 7. Odstupanje (rms) pojačanja izlaznog za kontrolnu struju



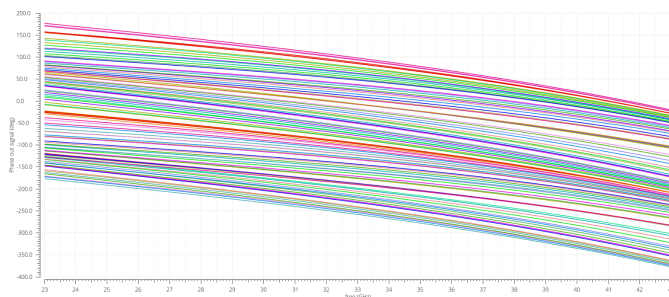
Slika 8. Greška faze izlaznog signala na opsegu učestanosti



Slika 9. Odstupanje (rms) faze izlaznog za kontrolnu struju

A. Kolo za polarizaciju modulatora

Upravljanje pojačanjem konfigurabilnih pojačavača se vrši polarizacijom bipolarnih tranzistora Gilbertovih ćelija preslikavanjem struja I_{Qbias} i I_{Ibias} .



Slika 10. Opseg kontrole faze na izlazu vektor modulatora

IV. DIGITALNO-ANALOGNA KONTROLA MODULATORA

Preslikana struja se generiše DA konvertorom.

A. Strujno ogledalo

B. DA konvertor

V. ZAKLJUČAK

TODO:

LITERATURA

- [1] Frank Ellinger, Uwe Mayer, Michael Wickert, Niko Joram, Jens Wagner, Ralf Eickhoff, Ignacio Santamaria, Christoph Scheytt, and Rolf Kraemer *Integrated Adjustable Phase Shifters*; IEEE Microwave magazine; October, 2010; DOI: 10.1109/MMM.2010.937730
- [2] Sang Young Kim, D.-W. Kang, K.-J. Koh, and G. M. Rebeiz, *An Improved Wideband All-Pass I/Q Network for Millimeter-Wave Phase-Shifters*; IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 60, NO. 11, November 2012; April, 2012; DOI: 10.1109/TMTT.2012.2212027
- [3] Brandon Greenley, Raymond Veith, Dong-Young Chang, and Un-Ku Moon, *A Low-Voltage 10-Bit CMOS DAC in 0.01-mm² Die Area*; IEEE Transactions on Circuits and Systems—II: express briefs, vol. 52, NO. 5; May, 2005
- [4] Minghua Wang, Yu Liu, Zhiqiang Li, Xiaosong Wang, Muhamamad M Sarfraz, Yanbin Xiao, and Haiying Zhang, *A 6-bit 38GHz SiGe BiCMOS phase shifter for 5G phased array communications*; IEICE Electronics Express, Vol.14, No.13, 1–10; May, 2017
- [5] Ali Zeki, and Ali Toker, *Tunable linear CMOS current mirror*; Springer Science + Business Media, LLC 2007; January, 2007 DOI: 10.1007/s10470-007-9030-3