

DAUGIASTANDARČIŲ SIŪSTUVŲ-IMTUVŲ LC ĮTAMPA VALDOMŲ GENERATORIŲ PAGRINDINIŲ PARAMETRŲ ANALIZĖ

Vytautas MAČAITIS^{1,2}, Romualdas NAVICKAS¹

¹Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva

²FTMC, puslaidininkų fizikos institutas, Vilnius, Lietuva

El. paštas: vytautas.macaitis@ftmc.lt; romualdas.navickas@vgtu.lt

Santrauka. Pateikiama LC įtampa valdomų generatorių (ĮVG) pagrindinių parametrų analizė. Pagrindiniai ĮVG parametrai: integrinių grandynų (IG) technologinis žingsnis hp , nm; maitinimo įtampa U , V; ĮVG centrinis dažnis F_0 , GHz; dažnio valdymo ruožas ΔF , GHz, %; fazės triukšmas FT , dBc/Hz; naudojamoji galia P , mW. Analizuojami pagrindiniai ĮVG parametrai bei kokybės funkcijos FOM_T ; FOM_{TT} , remiantis 20 straipsniu, publikuotą 2012–2016 m. Apžvelgus straipsnius galima teigti, kad daugiausiai ĮVG projektuojami 180 nm (55 %) ir 65 nm (25 %) IG KMOP technologiniuose žingsniuose. Apžvelgtuose ĮVG maitinimo įtampa U kinta 0,3–3 V, dažnio valdymo ruožas 2,05–13 GHz, fazės triukšmas –83,8–(–132,7) dBc/Hz, naudojamoji galia 0,6–50 mW. ĮVG kokybei įvertinti pasiūlyta papildyta FOM_{TT} kokybės funkcija. Taikant FOM_{TT} kokybės funkciją papildomai įvertinamas ĮVG gamybos technologinis žingsnis bei maitinimo įtampa. Didžiausioji apskaičiuota FOM_{TT} vertė –214 dBc/Hz, o mažiausioji apskaičiuota FOM_{TT} vertė –150,2 dBc/Hz.

Reikšminiai žodžiai: įtampa valdomas generatorius, KMOP IG technologija, integriniai grandynai, lustai.

Įvadas

Šiuo metu bevielio ryšio technologijos sparčiai tobulėja. Daugelis žmonių naudojami išmaniaisiais bevielio ryšio įrenginiais, kurie gali veikti keliais bevielio ryšio standartais. Norint pasiekti didesnę bevielių išmaniųjų prietaisų funkcionalumą bevielio ryšio standartų skaičius vis labiau didinamas. Išmanusis bevielis įrenginys gali komunkuoti skirtingais bevielio ryšio standartais keliais būdais. Pirmasis – tai įrenginyje sumontuoti lustai, atsakingi už tam tikrą bevielio ryšio standartą. Antrasis – tai vienas universalus lustas, gebantis dirbti daugiastandarčiu, daugiajuosčiu režimu. Šis sprendimas, lyginant su daugialuste sistema, turi kelis pagrindinius privalumus. Naudojant vieną universalų lustą mobiliajame išmaniajame prietaise galima itin sumažinti lustų, skirtų daugiastandarčiam ryšiui perduoti, plotą. Į tai atsižvelgus likęs plotas gali būti panaudotas papildomoms įrenginio funkcijoms. Naudojant vieną lustą pats įrenginys gali būti kompaktiškesnis. Kitas privalumas – sumažėjusi suvartojama energija.

Norint naudotis tame pačiame luste keliomis bevielio ryšio technologijomis būtinas daugiastandartis, daugiajuostis siūstuvus-imtuvus (angl. *multi-standard, multi-band transceiver*). Imtuvą sudaro mažatriukšmis stiprintuvus (MS), demodulatorius, žemųjų dažnių filtras bei žemadažnė sistema. Siūstuvus sudarytas iš žemadažnės sistemos,

žemųjų dažnių filtro, modulatoriaus ir galios stiprintuvo (GS). Bevielio ryšio siūstuve-imtuve kaip dažnio sintetatoriaus dažniausiai yra naudojama fazės derinimo kilpa FDK (angl. *phase locked loop (PLL)*). Dažniausiai tokie siūstuvai-imtuvai veikia dažnių ruože nuo 0,1 GHz iki 13 GHz. Norint padengti platų dažnių ruožą, reikalinga fazės derinimo kilpa, kurioje dažnį garantuos keletas LC įtampa valdomų generatorių (LC-ĮVG).

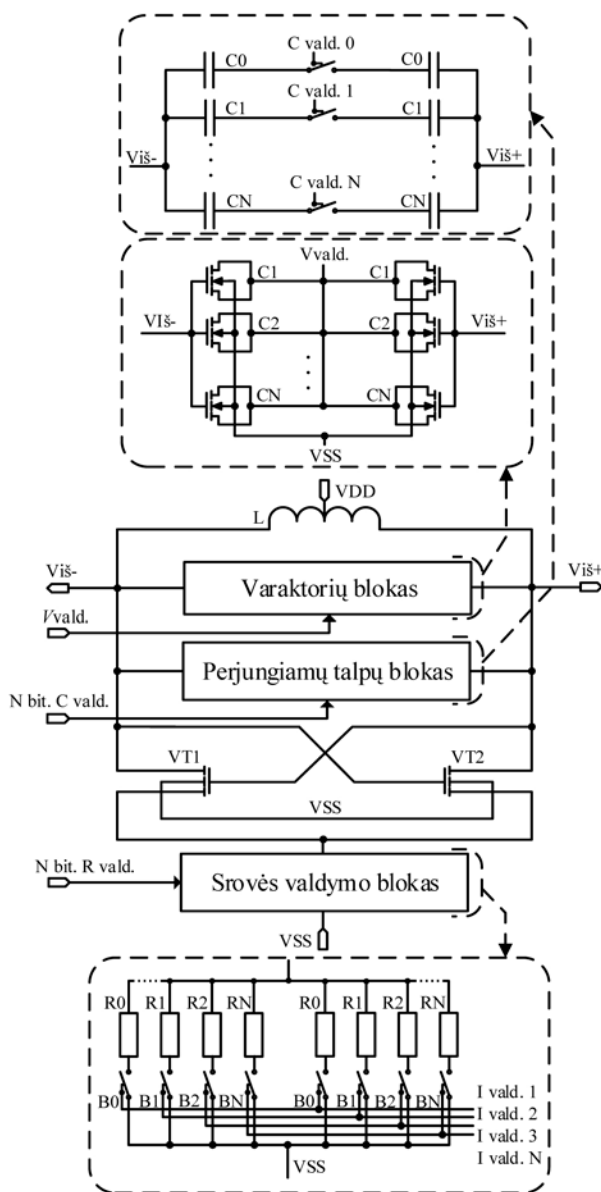
Klasikinę FDK sudaro penki pagrindiniai komponentai: fazės detektorius (FD), krūvio pompa (KP), žemųjų dažnių filtras (ŽDF), įtampa valdomas generatorius (ĮVG) ir dažnio daliklis ($\div N$). FD nustato dažnio ir fazės neatitikimą tarp atraminio f_{REF} ir grįžtamojo ryšio f_{DIV} įėjimų. Kitas etapas – FD UP arba DN signalų generavimas. UP signalai generuojami, kai grįžtamojo ryšio signalo f_{DIV} dažnis atsilieka nuo f_{REF} . Priešingu atveju generuojami DN signalai. KP gaunant UP signalą yra generuojamas teigiamas srovės impulsas, priešingu atveju, gavus DN signalą, – generuojamas impulsas, kuris yra neigiamas. Srovės impulsai iš KP patenka į ŽDF. Čia vyksta signalų integravimas ir filtravimas. ŽDF siunčia valdymo signalą į ĮVG, tuomet ĮVG išėjimo dažnis yra didinamas arba mažinamas, taip fazės paklaida yra pašalinama. Jei FD išsiunčia UP signalą, tuomet ĮVG didina išėjimo dažnį, jei išsiunčiamas DN signalas – ĮVG išėjimo dažnis mažinamas.

Bazinis LC-IVG

Bazinė LC-IVG principinė elektrinė schema pateikta 1 pav. Pagrindinės LC-IVG sudedamosios dalys yra tokios: aukštos kokybės induktyvumo ritė L , varaktorių ir perjungiamų kondensatorių blokas (šie elementai kartu su L sudaro LC kontūrą), neigiamo impedanso tranzistoriai ($VT1$, $VT2$) ir srovės valdymo blokas.

LC-IVG dažnis keičiamas dviem būdais – galimas apytikslis bei precizinis generuojamo dažnio valdymas. Apytiksliai nustatant dažnį yra naudojamas perjungiamų talpų blokas. Šis blokas gali būti sudarytas iš keleto kondensatorių masyvų, sujungtų lygiagrečiai.

Priklausomai nuo reikiamos talpos šie masyvai skaitmeniškai įjungiami arba išjungiami. Šis įjungiamų arba



1 pav. Bazinio LC-IVG principinė elektrinė schema
Fig. 1. Schematic of basic LC-VCO

išjungiamų talpų masyvų valdymas gali būti įgyvendintas panaudojus tranzistorius arba kondensatorius.

Preciziškai valdant LC-IVG dažnį yra naudojamas varaktorių blokas. Šis blokas sudarytas iš varaktorių, kurie norint padidinti talpą dažniausiai jungiami lygiagrečiai. Keičiant valdymo įtampą V_{vald} , IVG dažnį galima keisti preciziškai, tiksliai. Įtampa V_{vald} dažniausiai keičiama nuo 0 V iki IVG maitinimo įtamos.

Srovė valdoma siekiant optimizuoti galios sąnaudas bei tiksliai generuoti dažnio signalą, kintant aplinkos sąlygoms: temperatūrai bei maitinimo įtampoms. 3 pav. pateiktoje LC-IVG principinėje elektrinėje schemoje srovė valdoma skaitmeniškai (Mačaitis, Barzdėnas 2014).

LC-IVG pagrindinių parametru analizė

Straipsnyje tęsiama naujausių LC-IVG pagrindinių parametru analizė. Analizė papildyta šaltiniais, paskelbtais 2015–2016 m. Be to, analizės išsamumui padidinti yra pasiūlyta išplėstinė FOM_T kokybės funkcija, kuri aptariama toliau. Ankstesniame darbe (Mačaitis, Navickas 2015) LC-IVG buvo analizuoti šaltiniuose, paskelbtuose 2003–2014 m.

Šioje apžvalgoje analizuojami skirtingų LC-IVG pagrindiniai parametrai, surinkti iš 20 straipsnių, publikuotų 2012–2016 m. Analizės rezultatai pateikti 1 lentelėje.

Šaltiniai analizei atrinkti pagal tokius reikalavimus:

- straipsnis, kuriame gauti LC-IVG modeliavimo rezultatai, turi būti paskelbtas tarptautiniame recenzuojamame leidinyje;
- LC-IVG pagrindiniai parametrai turi būti pateikti atliekant suprojektuotos topologijos skaičiavimus;
- šaltinyje turi būti pateikti tokie LC-IVG parametrai: IG technologinis žingsnis hp ; maitinimo įtampa U ; IVG centrinis dažnis F_0 ; mažiausias bei didžiausias nešlio dažniai; fazės triukšmas FT ; naudojamoji galia;
- žinant LC-IVG parametrus, buvo apskaičiuotas dažnio valdymo ruožas, išreikštas %, lyginant su centrinu dažniu ir FOM_T bei FOM_{TT} kokybės funkcijos.

Kadangi IVG turi kelis pagrindinius parametrus, juos tarpusavyje palyginti tampa sudėtinga. Norint charakterizuoti IVG kokybę, taikoma FOM_T kokybės funkcija (angl. *figure of merit*). IVG kokybės funkcija FOM_T apskaičiuojama pagal formulę:

$$FOM_T = FT(dF) - 20 \log \left(\frac{F_0 \cdot \Delta F}{dF \cdot 10} \right) + 10 \log \left(\frac{P}{1 \text{ mW}} \right), \quad (1)$$

čia F_0 – IVG centrinis dažnis; ΔF – dažnio valdymo ruožas; FT – fazės triukšmas; dF – dažnio poslinkis, ties kuriuo nustatomas fazės triukšmas; P – naudojamoji galia.

1 lentelė. LC-IVG pagrindinių parametru palyginimas

Table 1. Main parameters comparison of LC-VCOs

Straipsnis	hp , nm	Metai	U , V	F_0 , GHz	ΔF , GHz	ΔF , %	FT^* , dBc / Hz	P , mW	FOM_{TP} , dBc / Hz	FOM_{TP} , dBc / Hz
(Sen <i>et al.</i> 2016)	180	2016	0,80	6,85	4,50	65,69	-124,0	9,2	-207,43	-205,84
(Wang, T. P., Wang, S. Y. 2015)	180	2014	0,65	4,23	2,05	48,52	-115,1	2,4	-197,59	-196,91
(Wang, T. P., Wang, S.Y. 2013)	180	2013	0,65	4,00	1,91	47,7	-115,6	3,0	-196,45	-195,77
(Jang, Jain 2014)	180	2014	0,75	5,94	1,45	24,43	-119,0	5,0	-195,24	-193,93
(Wang, Yan 2014)	180	2014	0,75	13,00	3,33	25,62	-101,4	2,4	-188,05	-186,74
(Xu <i>et al.</i> 2015)	180	2015	0,50	2,39	0,28	11,72	-117,4	4,0	-180,32	-180,78
(Weng <i>et al.</i> 2015)	180	2015	0,90	4,90	1,00	20,41	-109,6	4,8	-182,79	-180,69
(Nakamura <i>et al.</i> 2012)	180	2012	3,00	12,31	3,46	28,11	-108,0	50,0	-181,79	-174,47
(Huang <i>et al.</i> 2014)	180	2014	1,00	5,56	0,85	15,3	-105,8	5,6	-176,94	-174,38
(Dixit <i>et al.</i> 2015)	180	2015	1,00	5,41	0,55	10,18	-100,5	5,0	-168,32	-165,76
(Jeong <i>et al.</i> 2012)	180	2012	1,90	2,05	1,29	63,08	-83,8	11,2	-155,54	-150,2
(Aqeeli <i>et al.</i> 2014)	130	2014	1,20	5,71	2,15	37,69	-132,7	2,2	-215,88	-213,95
(Nguyen, Lee 2012)	130	2012	0,40	13,93	1,85	13,29	-100,6	0,6	-188,16	-191,00
(Wang <i>et al.</i> 2014)	130	2014	0,80	8,58	1,33	15,51	-106,2	4,0	-182,66	-182,49
(Bajestan <i>et al.</i> 2014)	65	2014	0,60	4,50	3,50	77,78	-110,0	9,4	-191,17	-195,26
(Kim <i>et al.</i> 2013)	65	2013	1,20	3,54	1,22	34,46	-142,1	13,7	-192,46	-193,54
(Saeedi, Emami 2014)	65	2014	1,00	8,75	1,50	17,14	-108,0	2,5	-187,56	-189,43
(Yang <i>et al.</i> 2013)	65	2013	0,30	2,33	0,21	9,03	-111,0	0,6	-179,81	-186,91
(Demartinos <i>et al.</i> 2015)	65	2015	1,20	2,70	1,60	59,26	-94,0	7,7	-169,23	-170,31
(Yuyu <i>et al.</i> 2015)	40	2015	1,20	3,73	1,67	44,83	-120,0	10,8	-194,12	-197,31

*Kim *et al.* (2013) šaltinyje fazės triukšmas (FT) pateiktas esant 10 MHz poslinkio dažniui nuo centrinio dažnio, kituose šaltiniuose – 1 MHz.

Kadangi FOM_T kokybės funkcija įvertina ne visus IVG parametrus, taip pat pasiūlyta išplėstinė kokybės funkcija FOM_{TP} , kuri papildomai įvertina integrinių grandynų technologinį žingsnį hp ir maitinimo įtampą U .

Išplėstinė kokybės funkcija FOM_{TP} apskaičiuojama pagal formulę:

$$FOM_{TP} = FT(dF) - 20 \log \left(\frac{F_0 \cdot \Delta F}{dF \cdot 10} \right) + 10 \log \left(\frac{P}{1 \text{ mW}} \right) + 10 \log \left(\frac{hp \cdot U}{100 \cdot 1 \text{ nm} \cdot 1 \text{ V}} \right) \quad (2)$$

Siekiant nenuolti nuo pradinės FOM_T kokybės funkcijos verčių, naujiems parametrams įvestas dalybos koeficientas.

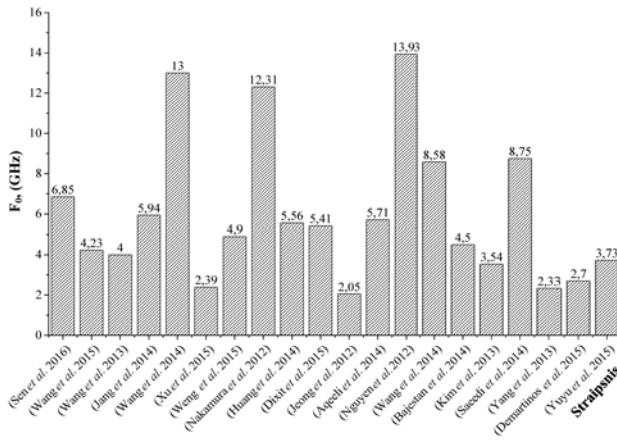
Iš 1 lentelės matyti, kad LC-IVG dažniausiai projektuojami taikant 180 nm technologinio žingsnio integrinių grandynų gamybos technologiją. Šia technologija suprojektuoti LC-IVG sudaro 55 % visų apžvelgtų darbų. 25 % visų apžvelgtų darbų suprojektuoti naudojant 65 nm technologinio žingsnio integrinių grandynų gamybos technologiją. Apžvalgoje mažiausiai LC-IVG, pagamintų naudojant 130 nm ir 40 nm technologinį žingsnį. Jie sudaro 15 % ir

5 % visų apžvelgtų darbų. Kadangi 40 nm technologinis žingsnis šiuolaikinėje IG pramonėje yra naujas, darbų šia tematika yra labai nedaug.

Iš LC-IVG maitinimo įtampos pasiskirstymo apžvelgtuose darbuose (1 lentelė) matoma, kad LC-IVG maitinimo įtampos skirtingo technologinio žingsnio IG kinta nuo 0,3 V (Yang *et al.* 2013) iki 3 V (Nakamura *et al.* 2012). Analizuojant maitinimo įtampas, 180–130 nm technologinio žingsnio integriniame grandyne matyti didesnės maitinimo įtampos vertės (3–0,4 V) nei 64–40 nm technologinio žingsnio integriniame grandyne (1,2–0,3 V).

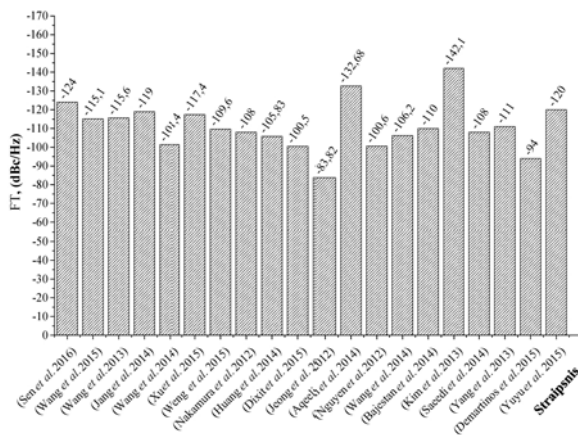
Daugiastandarčiai siūstuvai-imtuvai turi aprėpti platų dažnių ruožą, todėl analizuoti darbai, kuriuose pateikti duomenys apie plataus dažnių ruožo nešlio LC-IVG. LC-IVG nešlio dažnio pasiskirstymas apžvelgtuose darbuose pateiktas 2 pav. Šis pasiskirstymas rodo, kad išnagrinetuose darbuose LC-IVG nešlio dažnis kinta nuo 2,05 GHz (Jeong *et al.* 2012) iki 13,93 GHz (Nguyen, Lee 2012).

LC-IVG fazės triukšmo pasiskirstymas ties tam tikru poslinkio dažniui apžvelgtuose darbuose pateiktas 3 pav. Reikia atkreipti dėmesį, kad darbe (Kim *et al.* 2013) fazės



2 pav. LC-IVG nešlio dažnio pasiskirstymo statistika apžvelgtuose darbuose

Fig. 2. LC-VCOs carrier frequency in reviewed sources



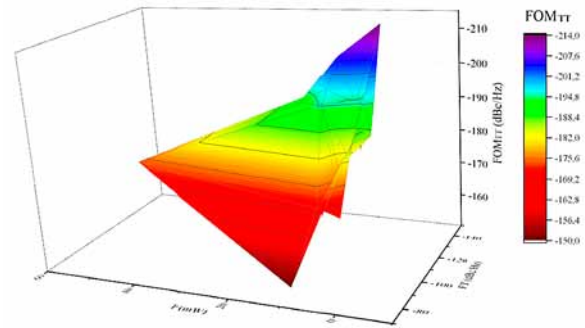
3 pav. LC-IVG fazės triukšmo pasiskirstymo statistika apžvelgtuose darbuose

Fig. 3. LC-VCOs phase noise in reviewed sources

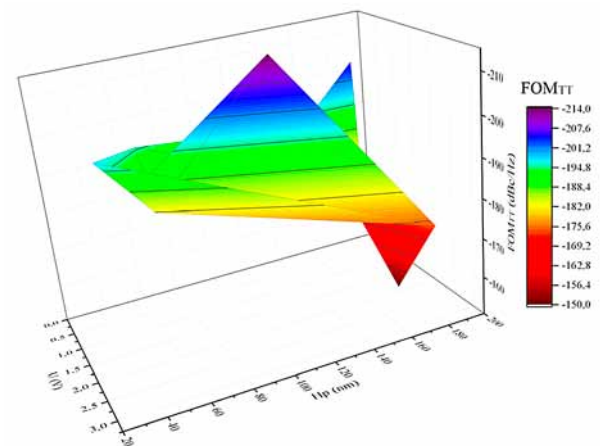
triukšmas pateiktas ties 10 MHz poslinkio dažniu, likusiose darbuose – ties 1 MHz. Šis pasiskirstymas rodo, kad analizuotuose LC-IVG fazės triukšmas kito nuo $-83,82$ dBc/Hz (Jeong *et al.* 2012) iki $-132,68$ dBc/Hz (Aqeeli *et al.* 2014).

LC-IVG FOM_{TT} priklausomybė nuo fazės triukšmo ir naudojamosios galios pateikta 4 pav. FOM_{TT} maksimumas ($-213,95$ dBc/Hz) gaunamas esant mažiausiam fazės triukšmui ($-132,68$ dBc/Hz) bei mažiausiai naudojamajai galiai (2,21 mW) (Aqeeli *et al.* 2014).

LC-IVG FOM_{TT} priklausomybė nuo technologinio žingsnio ir maitinimo įtampos pateikta 5 pav. FOM_{TT} ekstremumas ($-213,95$ dBc/Hz) gaunamas esant 130 nm technologiniam žingsniui ir standartinei (1,2 V) maitinimo įtampai (Aqeeli *et al.* 2014).



4 pav. LC-IVG FOM_{TT} priklausomybė nuo P ir FT
Fig. 4. LC-VCOs FOM_{TT} function of P and PN



5 pav. LC-IVG FOM_{TT} priklausomybė nuo U ir hp
Fig. 5. LC-VCOs FOM_{TT} function of V_{dd} and hp

Išvados

Iš apžvelgtų straipsnių galima teigti:

1. Dažniausiai IVG projektuojami 180 nm (55 %) ir 65 nm (25 %) KMOP IG technologiniuose žingsniuose.
2. IVG maitinimo įtampa U kinta 0,3; 3 V.
3. Dažnio valdymo ruožas – 2,05; 13 GHz.
4. Fazės triukšmas $-83,8$; $-132,7$ dBc/Hz.
5. Naudojamoji galia – 0,6; 50 mW.
6. IVG kokybei įvertinti pasiūlyta papildyta FOM_{TT} kokybės funkcija, kuri papildomai įvertina IVG IG gamybos technologinį žingsnį ir maitinimo įtampą.
7. Geriausias apskaičiuotas FOM_{TT} rezultatas -214 dBc/Hz (Jeong *et al.* 2012), blogiausias $-150,2$ dBc/Hz (Aqeeli *et al.* 2014).
8. Geriausiam FOM_{TT} rezultatui būdingas mažas fazės triukšmas ($-132,68$ dBc/Hz), maža naudojamoji galia (2,21 mW), LC-IVG technologinis žingsnis – 130 nm, maitinimo įtampa – 1,2 V.

Literatūra

- Aqeeli, M., et al. 2014. Low-power and wideband LC-VCO for WiMAX in CMOS, in *Proceedings of the UKSim-AMSS 16th International Conference on Computer Modelling and Simulation (UKSim 2014)*, 26–28 March 2014, Cambridge, United Kingdom, 553–557.
<https://doi.org/10.1109/uksim.2014.79>
- Bajestan, M. M., et al. 2014. A 2.75–6.25 GHz low-phase-noise quadrature VCO based on a dual-mode ring resonator in 65nm CMOS, in *Proceedings of the Radio Frequency Integrated Circuits Symposium*, 1–3 June 2014, Tampa, USA, 265–268.
- Demartinos, A. C., et al. 2015. A 3GHz VCO suitable for MIPI M-PHY serial interface, *Design & Technology of Integrated Systems in Nanoscale Era (DTIS)*, 1–6.
- Dixit, M.; Shrivastava, S. C.; Dixit, P. 2015. A 5–5.47 GHz LC-VCO using varactor configuration in 0.18 um CMOS, in *Proceedings of the 2nd International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN 2015)*, 19–20 February 2015, Noida, India, 87–89.
- Huang, J. F., et al. 2014. Chip design of a 5.6-GHz 1-V wide tuning range frequency synthesizer with Gm-boosting colpitts VCO for biomedical application, *Bioelectronics and Bioinformatics (ISBB)*, 1–5.
- Jang, S. L.; Jain, S. 2014. Dual C-and S-Band CMOS VCO using the Shunt varactor switch, *Very Large Scale Integration (VLSI) Systems, IEEE Transactions* 23(9): 1808–1813.
- Jeong, Y. J., et al. 2012. Low-power CMOS VCO with a low-current, high-Q active inductor, *IET Microwaves, Antennas & Propagation* 6(7): 788–792.
<https://doi.org/10.1049/iet-map.2011.0332>
- Kim, T., et al. 2013. A two-point tuning LC VCO with minimum variation of K VCO2 for quad-band GSM/GPRS/EDGE polar transmitter in 65-nm CMOS, *SoC in Proceedings of the International SoC Design Conference (ISOCC 2013)*, 17–19 November 2013, Busan, South Korea, 130–133.
- Mačaitis, V.; Barzdėnas, V. 2014. Aukštadažnių, 65 nm KMOP technologijos, LC įtampa valdomų generatorių projektavimas ir tyrimas, *Mokslas – Lietuvos ateitis: elektronika ir elektrotechnika* 6(2): 198–201.
- Mačaitis, V.; Navickas, R. 2015. CMOS technology based LC VCO review, in *Proceedings of the Open Conference of Electrical, Electronic and Information Sciences (eStream 2015)*, 21 April 2015, Vilnius, Lithuania, 1–4.
- Nakamura, T., et al. 2012. A push-push VCO with 13.9-GHz wide tuning range using loop-ground transmission line for full-band 60-GHz transceiver, *IEEE Journal of Solid-State Circuits* 47(6): 1267–1277.
<https://doi.org/10.1109/JSSC.2012.2187470>
- Nguyen, T. N.; Lee, J. W. 2012. Ultralow-power Ku-band dual-feedback Armstrong VCO with a wide tuning range, *Circuits and Systems II: Express Briefs* (7): 394–398.
- Saeedi, S.; Emami, A. 2014. An 8 GHz first-order frequency synthesizer based on phase interpolation and quadrature frequency detection in 65 nm CMOS, in *Proceedings of the IEEE Custom Integrated Circuits Conference (CICC 2014)*, 15–17 September 2014, San Jose, USA, 1–4.
<https://doi.org/10.1109/CICC.2014.6946021>
- Wang, T. P.; Wang, S. Y. 2013. A low-voltage low-power low-phase-noise wide-tuning-range 0.18- μ m CMOS VCO with high-performance FOM T of -196.3 dBc/Hz, in *Proceedings of the IEEE/MTT-S International Microwave Symposium (MTT 2013)*, 2–7 June 2013, Seattle, USA, 1–4.
- Wang, T. P.; Wang, S. Y. 2015. Frequency-tuning negative-conductance boosted structure and applications for low-voltage low-power wide-tuning-range VCO, *Very Large Scale Integration (VLSI) Systems* 23(6): 137–144.
- Wang, T. P.; Yan, Y. M. 2014. A low-voltage low-power wide-tuning-range hybrid class-AB/class-B VCO with robust start-up and high-performance FOMt, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques* 62(3): 521–531.
<https://doi.org/10.1109/TMTT.2014.2300443>
- Wang, W., et al. 2014. An 8 to 9 GHz LC-VCO and harmonic-suppressed CML divider with low supply voltage for FMCW synthesizer, *Solid-State and Integrated Circuit Technology* 1–3.
- Weng, J. H., et al. 2015. A 0.8/0.9-V 5.4-GHz phase-locked loop with inductance coupled VCO in 0.18- μ m CMOS, in *International Symposium on Bioelectronics and Bioinformatics (ISBB)*, 14–17 October 2015, Beijing, China, 75–78. <https://doi.org/10.1109/ISBB.2015.7344927>
- Xu, X.; Yang, X.; Yoshimasu, T. 2015. 2.4-GHz band low-voltage class-C PMOS VCO IC with amplitude feedback loop, in *Proceedings of the Asia-Pacific Microwave Conference (APMC 2015)*, 6–9 December 2015, Nanjing, China, 1–3.
<https://doi.org/10.1109/apmc.2015.7413483>
- Yang, X., et al. 2013. 2.4 GHz-band ultra-low-voltage class-C LC-VCO IC in 65 nm CMOS technology, in *Proceedings of the Asia Pacific Microwave Conference (APMC 2013)*, 5–8 November 2013, Seoul, South Korea, 325–327.
<https://doi.org/10.1109/APMC.2013.6695134>
- Yuyu, C., et al. 2015. A temperature compensated VCO using feed-forward gain multiplication for cellular applications, in *Radio Frequency Integrated Circuits Symposium (RFIC)*, 30 November 2015, Phoenix, USA, 187–190.
- Sen, W., et al. 2016. A low-phase-noise and wide-tuning-range CMOS/IPD transformer-based VCO with high FOMT of -206.8 dBc/Hz, *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology* 6(1): 145–152.
<https://doi.org/10.1109/TCPMT.2015.2502581>

ANALYSIS OF MAIN LC-VCO PARAMETERS FOR MULTISTANDARD TRANCEIVERS

V. Mačaitis, R. Navickas

Abstract

This paper reviews CMOS LC Voltage Controlled Oscillators (VCO) for wireless multi-standard transceivers and wireless communications. The main parameters, such as IC technology, phase noise, carrier frequency, supply voltage, tuning range, power dissipation, figure of merit (FOM_I and FOM_{TT}) were reviewed in this paper. These parameters were taken of 20 articles published in 2012–2016 years. Of the reviewed articles it can be said that most VCOs was designed in 180 nm (55%) and 65 nm (25%) CMOS IC technology. FOM_{TT} quality function has been proposed for extended VCO quality assessment. FOM_{TT} quality function additionally evaluates VCO IC technology, and the power supply.

Keywords: LC-VCO, nano electronics, CMOS technology, integrated circuits.