

# HIBRIDNI OSCILATOR ZA ANALOGNE IN DIGITALNE PRIZEMELJSKE TELEVIZIJSKE ODDAJNIKE

Andrej Kosi, Mitja Solar

Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko,  
Maribor, Slovenija

**Ključne besede:** analogna prizemeljska televizija, digitalna prizemeljska televizija, sintezator z neposredno sintezo signala, fazno sklenjena zanka.

**Izveček:** Trenutno poteka ali se pripravlja prehod oddajanja analognega televizijskega signala v oddajanje digitalnega televizijskega signala. Časovno je ta prehod v evropski uniji okvirno določen, od posameznih držav članic pa je odvisno, kdaj ga bodo izvedle. Prehod je povezan z velikimi finančnimi investicijami, zato so zanimivi oddajniki ali sklopi oddajnika, ki jih lahko uporabimo tako v analognem kot digitalnem načinu oddajanja. Eden od sklopov oddajnika, ki ga je treba v tem primeru prilagoditi ostrejšim zahtevam, je oscilator. V prispevku je predstavljen hibridni oscilator, primeren za analogne in digitalne prizemeljske televizijske oddajnike in kanalne pretvornike. Analogna omrežja pa so lahko večfrekvenčna, enofrekvenčna ali kombinacija obeh. To ima za posledico, da so zahteve za oscilator v digitalnem oddajanju zahtevnejše. Zadani cilj je bil razviti oscilator, ki bo izpolnjeval zahteve na tržišču glede lastnosti takšnega oscilatorja.

Predlagano rešitev smo poimenovali hibridni oscilator. Hibridni oscilator združuje dva koncepta, ki se uporabljata za generiranje frekvence. En koncept je fazno sklenjena zanka, drugi pa sintezator z neposredno sintezo signala (v nadaljevanju DDS-oscilator). Z nobeno od obeh metod ni možno enostavno izpolniti vseh zahtev za oscilator. Bistveni zahtevi sta predvsem korak nastavljanja izhodne frekvence in fazni šum oscilatorja. Z združitvijo dobrih lastnosti obeh metod je mogoče narediti oscilator z želenimi lastnostmi. DDS-oscilator je uporabljen kot vir signala z referenčno frekvenco za fazno sklenjeno zanko. Z majhnim spreminjanjem frekvence DDS-oscilatorja dosežemo večjo frekvenčno ločljivost fazno sklenjene zanke, s katero pa lahko pokrijemo frekvenčna področja, ki jih ni mogoče neposredno pokriti z DDS-oscilatorjem.

## Hybrid Oscillator for Analog and Digital Terrestrial Television Transmitters

**Key words:** analog terrestrial television, digital terrestrial television, DDS (Direct Digital Synthesizer), PLL (Phase Lock Loop).

**Abstract:** Currently, the transition or preparation for the changeover from analog television to digital television is in progress. Consequences of this transition are modifications that will have to occur in the distribution, transmission and reception of television signals. This article will mainly focus on television transmitters, or more precisely to their oscillator. The demands for oscillators used in digital television are different from those used in analog television and for this reason, simple modification of the latter is not possible. The major differences are in the smallest frequency step and phase noise demand. The smallest frequency step for digital television is 1 Hz, which is far less than the few kHz step required for analog television. The phase noise requirement is specified in the standard for DVB-T (Digital Video Broadcasting - Terrestrial) and is also higher than that for analog television.

This article will present the hybrid oscillator, which is suitable for use in both analog and digital transmitters. The term hybrid oscillator refers to an oscillator that combines two or more different technologies together. In this case, the hybrid oscillator combines direct digital synthesizer (DDS) and phase locked loop (PLL). The advantages and disadvantages of DDS and PLL are shortly presented. DDS output is limited with frequency range, frequency spurs and harmonics. On the other hand, DDS has a fast settling time and a very fine frequency step ( $\mu\text{Hz}$ ). PLL can be used for higher frequencies with a wider frequency range, however it is hard to achieve a small frequency step, low phase noise and fast settling time at the same time. This is because the improvement of one parameter degrades the others. For our hybrid oscillator, DDS is used as a source for the reference frequency of the PLL. In so doing, fine frequency step is achieved and the wanted phase noise is preserved. For best results it is very important to use high quality electronic parts that contribute little to phase noise degradation.

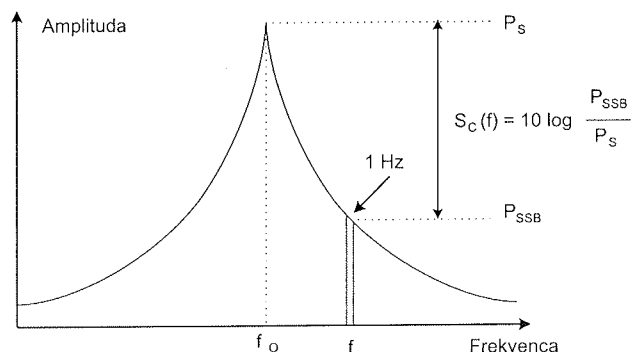
On the basis of conclusions, we have made a prototype of this hybrid oscillator for UHF (Ultra High Frequency) frequency band. In addition, a number of different measurements of the hybrid oscillator were taken to confirm theoretical calculations and expectations. The final measurement results have shown that the hybrid oscillator is suitable for use in both analog and digital television transmitter.

### 1 Uvod

Prehod prenosa televizijskih vsebin iz analognega v digitalni način je po svetu v polnem teku. Najprej se je ta prehod začel na satelitskem oddajanju. Sčasoma so temu trendu sledili še kabelski operaterji in prizemeljsko oddajanje. Vrstni red je posledica zahtevnosti in stroškov uvedbe oddajanja v digitalnem načinu. Prehod prizemeljskega oddajanja v digitalni način spremljajo tudi številne spremembe v

oddajniški infrastrukturi. Tako nekateri oddajniški sklopi nimajo več ustreznih parametrov in jih je potrebno zamenjati z drugimi. Eden od takih sklopov je tudi oscilator za televizijski oddajnik. Oscilator, ki ustreza zahtevam za analogno oddajanje v večini primerov ni primeren za digitalno oddajanje. Osnovna razlika je v ločljivosti nastavljanja izhodne frekvence in zahtevanem nivoju faznega šuma za oscilator. Ločljivost oscilatorja podaja najmanjšo razliko med dvema frekvencami, ki jo je moč nastaviti. Fazni šum pa

predstavlja razliko nivoja amplitude pri nekem danem odmiku od nosilne frekvence v primerjavi z nivojem amplitude nosilne frekvence. Običajno se podaja v enoti dBc/Hz za dani odklik od nosilne frekvence /1/. Za lažjo predstavo o izrazu fazni šum si fazni šum lahko predstavljamo kot razmerja energije v 1 Hz pasovnem področju za dani odklik od nosilne frekvence proti energiji nosilne frekvence. Primer določitve faznega šuma je prikazan na sliki 1.1. Določanje faznega šuma se v praksi izvaja s posebnimi instrumenti, ki omogočajo takšne meritve.



Slika 1.1: Definicija faznega šuma.

Oscilatorja za analogno oddajanje ni moč na enostaven način prilagoditi novim zahtevam. Večina oscilatorjev za analogno oddajanje temelji na principu fazno sklenjene zanke (Phase Lock Loop - PLL) /2/, /3/. Fazni šum za analogno televizijo ni tako zelo pomemben in zato obstoječi oscilatorji odstopajo od novih zahtev. Ustrezna frekvenčna ločljivost za analogno televizijo je v rangu nekaj kHz. Frekvenčna ločljivost za digitalno televizijo pa znaša 1 Hz. Zahteve za oscilator za digitalno oddajanje se torej v teh dveh pogledih bistveno razlikujejo od zahtev za analogno oddajanje.

Ena od alternativ fazno sklenjene zanke je sintezator z neposredno sintezo signala (ang. DDS - Direct Digital Synthesizer) /4/, /5/. Prednost DDS-oscilatorja pred fazno sklenjeno zanko je bistveno hitrejše nastavljanje izhodne frekvence ter zelo velika točnost nastavljene frekvence. Ima pa DDS-oscilator nekaj pomankljivosti kot so harmonske frekvence, nezaželene frekvence (ang. spurious frequencies) in omejeno frekvenčno področje uporabe. Združitev dobrih lastnosti obeh metod nam omogoči izdelavo hibridnega oscilatorja. V našem primeru smo uporabili DDS-oscilator kot vir signala z referenčno frekvenco za fazno sklenjeno zanko. Z majhnim spreminjanjem frekvence DDS-oscilatorja dosežemo večjo frekvenčno ločljivost fazno sklenjene zanke, s katero pa lahko pokrijemo frekvenčna področja, ki jih ni mogoče neposredno pokriti z DDS-oscilatorjem.

Za RF (ang. Radio Frequency) projekte so zelo pomembne izkušnje, ki smo si jih pridobivali na prejšnjih projektih /6/. Elektronske komponente smo izbirali na osnovi spoznanj in meritev predhodnih izdelkov. Izbira najbolj ustreznih kvalitetnih komponent, ki so trenutno na voljo na tržišču, je predpogoj za doseganje dobrih rezultatov.

## 2 Zahtevane karakteristike in koncept hibridnega oscilatorja

Oscilator mora tako za analogno kot za digitalno televizijo izpolnjevati določene zahteve. Pri predstavitvi smo se osredotočili na dve bistveni zahtevi. To sta kot že omenjeno fazni šum in frekvenčna ločljivost. Kot že omenjeno je zahteva za frekvenčno ločljivost 1 Hz. Zahteva izhaja iz dejstva, da lahko imamo v digitalnem načinu oddajanja sosednje oddajnike na istem frekvenčnem kanalu (SFN - Single Frequency Network). Oddajniki morajo oddajati na točno isti frekvenci ob istem času isto vsebino, zato morajo biti vsi oddajniki v primeru SFN omrežja sinhronizirani. Običajno je sinhronizacija izvedena s pomočjo globalnega pozicionirnega sistema (GPS - Global Positioning system).

Drugi kriterij nivo faznega šuma je podan v tabeli 2.1. Ta kriterij ni natančno določen, zato veljajo za fazni šum priporočila. Vrednosti, ki so se uveljavile kot zahtevane v veliki večini primerov so nastale na osnovi praktičnih preizkusov in raznih projektnih skupinah. Eden izmed takih projektov je bil poznan pod oznako AC106 VALIDATE (Verification And Launch of Integrated Digital Advanced Television in Europe). Osnova za priporočila so tudi standardi, ki so nastali pod okriljem evropskega inštituta za telekomunikacije (ETSI - European telecommunications standards institute) /7/, /8/, /9/.

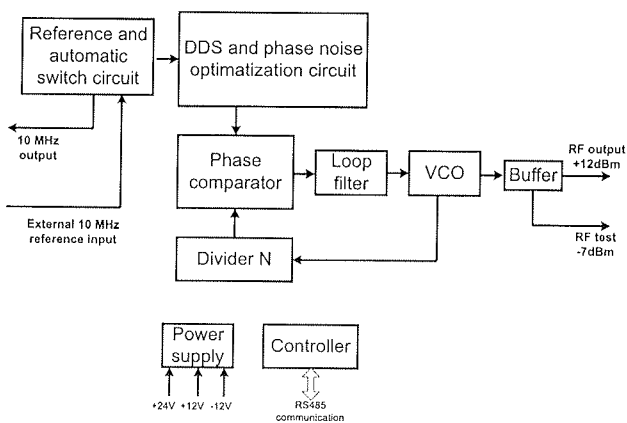
Fazni šum oscilatorja mora tako biti enak ali boljši vrednostim podanim v tabeli 2.1, da zadosti priporočilom za digitalno televizijo. V posameznih državah se zahteve v posameznih točkah tudi razlikuje od priporočil, zato smo si zadali nalogo zadovoljiti tudi te zahteve in smo svoje ciljne vrednosti še dodatno zaostriili.

Tabela 2.1: Nivo faznega šuma za digitalno televizijo.

Odklik od nosilca	Zahtevane vrednosti	Ciljne vrednosti
10 Hz	<-55 dBc/Hz	<-55 dBc/Hz
100 Hz	<-85 dBc/Hz	<-90 dBc/Hz
3 kHz	<-85 dBc/Hz	<-90 dBc/Hz
10 kHz	<-95 dBc/Hz	<-95 dBc/Hz
100 kHz	<-112 dBc/Hz	<-115 dBc/Hz
1 MHz	<-130 dBc/Hz	<-130 dBc/Hz

Poenostavljeno blokovno shemo hibridnega oscilatorja prikazuje slika 2.1. Za vsak oscilator je zelo pomemben izvor referenčnega signala, ki vpliva na več parametrov celotnega oscilatorja. Običajno se uporabljajo OCXO (Oven Controlled Crystal Oscillator) oscilatorji s posebej izbranimi parametri. Zaradi sinhronizacije oddajnikov v SFN omrežjih, s pomočjo GPS signalov, je izbrana vhodna frekvenca za digitalne oddajnike 10 MHz. Ker je frekvenco reference določena, se zelo zmanjša maneverski prostor za načrtovanje oscilatorja. Pri izbiri primerne oscilatorja moramo veliko pozornosti posvetiti poteku faznega šuma, saj ta direktno določa maksimalni možen končni fazni šum hibridnega oscilatorja. Pomemben parameter je tudi stabilnost referenčne frekvence. Če referenčna frekvenca ni stabilna se to neposredno pozna na odstopanju izhodne

frekvence. Primerna temperaturna stabilnost referenčne frekvence za digitalno televizijo je  $10^{-8}$  ali manj. Primerna kratkoročna stabilnost na sekundo je  $10^{-11}$  ali manj. OCXO oscilator predstavlja cenovno gledano večji del materialnih stroškov celotnega izdelka, zato je zasnovan tako, da je možna uporaba OCXO oscilatorjev drugih proizvajalcev in drugih fizičnih dimenzij. Tako je mogoče uporabiti trenutno cenovno bolj ugoden OCXO v aplikacijah, ki ne zahtevajo tako velike stabilnosti frekvence.



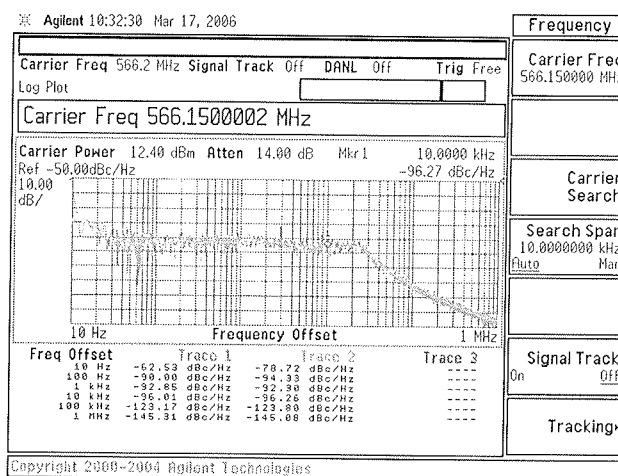
Slika 2.1: Blokovna shema hibridnega oscilatorja.

Referenčni signal na vhodu v DDS-oscilator je signal iz OCXO oscilatorja. Pri izbiri DDS-oscilatorja moramo biti pozorni predvsem nato, da ima le-ta ustrezno karakteristiko poteka faznega šuma. Ta je podana kot mejna vrednost, pri kateri je možno doseči določene vrednosti drugih izbranih parametrov. Podatek o faznem šumu najdemo v tabelah in grafih specifikacij DDS-oscilatorja. Z upoštevanjem, da se bo fazni šum v fazno sklenjeni zanki poslabšal za faktor  $20 \cdot \log(F_{out}/F_{in})$  lahko izločimo neprimerne DDS-oscilatorje za takšno aplikacijo. Pomembna pri izbiri DDS-oscilatorja je tudi velikost faznega registra, ker določa največjo ločljivost DDS-oscilatorja in izhodne frekvence. Odvisno od izbire drugih parametrov je dovolj 32-bitni oziroma 48-bitni register. Optimizacijsko vezje služi za optimalen potek faznega šuma in zmanjševanje vpliva nezaželenih frekvenc. Naslednji sklop na shemi, ki sledi optimizacijskemu vezju je v bistvu klasična fazno sklenjena zanka. Izbira komponent zanke je podrejena zagotavljanju ustreznega faznega šuma. Napetostno krmiljeni oscilator (VCO - Voltage controlled oscillator) ima neposreden vpliv na potek faznega šuma izven pasovne širine zadržnega filtra (ang. loop filter). Zato je izbira določena s želenimi vrednostmi faznega šuma podanimi v tabeli 2.1. Pomembni podatki za napetostno krmiljeni oscilator so vrednosti za odklik od nosilca 10 kHz in več. Fazni primerjalnik (ang. phase comparator) in delilnik z N (ang. Divider N) sta del integriranega vezja. Pomembni parametri integriranega vezja so: - fazni šum, - vhodno frekvenčno področje in - področje izbire parametra N. Zadržni filter določa vpliv poteka DDS-oscilatorja kot reference v fazno sklenjeno zanko in vpliv poteka faznega šuma napetostno krmiljenega oscilatorja. Z ustrezno izbiro pasovne širine zadržnega filtra dobimo optimalen potek glede na oba posamezna pote-

ka. Pri izbiri elementov in načrtovanju fazno sklenjene zanke si lahko pomagamo s različnimi programi in literaturo /10/, /11/.

### 3 Meritve in rezultati

Na podlagi rezultatov analiz in simulacij smo izdelali prototip hibridnega oscilatorja. Na prototipu smo naredili več meritev in nekaj najpomembnejših rezultatov je prikazanih v nadaljevanju. Na sliki 3.1 je meritev faznega šuma za frekvenco 566.150000 MHz opravljena z merilnikom faznega šuma Agilent E4443A. Vidimo, da je meritev faznega šuma znotraj zastavljenih ciljev. Odstopanje frekvence je v primeru zunanje sinhronizacije z GPS sistemom enako 0,2 Hz (<1 Hz).



Slika 3.1: Primer meritve faznega šuma.

Rezultati drugih meritev in tehnični podatki so prikazani v tabeli 3.1.

Tabela 3.1: Tehnične lastnosti oscilatorja.

Podatek	Vrednost
Frekvenčno področje delovanja (UHF)	510 MHz - 900 MHz
Frekvenčna ločljivost	<1 Hz
Absolutno odstopanje frekvence brez GPS signala	<150 Hz
Absolutno odstopanje frekvence z GPS signalom	<1 Hz
Izhodna impedanca	50 Ω
Fazni šum	10 Hz: <-55 dBc 100 Hz: <-90 dBc 1 kHz: <-90 dBc 10 kHz: <-95 dBc 100 kHz: <-115 dBc 1 MHz: <-130 dBc
Izhodni nivo signala	+12 dBm ± 2 dB
Nivo signala na testnem izhodu	-7 dBm ± 2 dB
Nivo signala v primeru neujetja zanka	< -10 dBm
Nivo nezaželenih signalov:	
- harmonske frekvence	< -20 dBc
- neharmonske frekvence	< -65 dBc
Zunanja referenca	10 MHz
Vhodni nivo zunanje reference	-10 dBm to +13 dBm /50 Ω
Interna referenca	10 MHz
Komunikacija	RS485 ASCII protokol
Fizične dimenzije	60 x 30 x 205 mm
Temperaturno območje delovanja	0°C to 50°C

## 4 Zaključek

V članku smo prikazali koncept in merilne rezultate hibridnega oscilatorja. Če povzamemo merilne rezultate lahko zaključimo, da je izdelan hibridni oscilator ustrezen za uporabo v analognih in digitalnih prizemeljskih oddajniških sistemih. Predstavljen hibridni oscilator je možno uporabiti tudi za druge aplikacije, kjer je potrebna velika frekvenčna ločljivost, stabilnost in ustrezen potek faznega šuma. Izdelan prototip sicer pokriva UHF prizemeljske frekvence, vendar je možno enak koncept uporabiti tudi za druga frekvenčna območja. Treba je le ustrezno izbrati posamezne komponente, ki so primerne za določeno frekvenčno območje. Druga frekvenčna področja lahko pokrijemo tudi tako, da obstoječi hibridni oscilator uporabimo skupaj z delilniki oziroma množilniki frekvence.

## 5 Literatura

- /1/ Article Phase Noise and Jitter-A primer for Digital Designers by Neil Roberts, High-Performance Analog Designer, Published in EE Design on July 14, 2003, [http://timing.zarlink.com/assets/Phase\\_Noise\\_and\\_Jitter\\_Article.pdf](http://timing.zarlink.com/assets/Phase_Noise_and_Jitter_Article.pdf).
- /2/ Phase-Locked Loops for High-Frequency Receivers and Transmitters-Part 1 by Mark Curtin and Paul O'Brien Analog Dialogue 33-3 (© 1999 Analog Devices), [http://www.analog.com/library/analogDialogue/archives/33-03/phase/phase\\_locked.pdf](http://www.analog.com/library/analogDialogue/archives/33-03/phase/phase_locked.pdf).
- /3/ Phase-Locked Loops for High-Frequency Receivers and Transmitters-Part 2 by Mark Curtin and Paul O'Brien Analog Dialogue 33-5 (© 1999 Analog Devices), [http://www.analog.com/library/analogDialogue/archives/33-05/phase\\_locked/PLLs\\_2.pdf](http://www.analog.com/library/analogDialogue/archives/33-05/phase_locked/PLLs_2.pdf).
- /4/ Analog Devices, A Technical Tutorial on Digital Signal Synthesis, 1999, [www.ieee.li/pdf/essay\\_dds.pdf](http://www.ieee.li/pdf/essay_dds.pdf).
- /5/ Jeffrey H. Reed, Brian D. Woerner, Direct Digital Synthesis A Tutorial, The 9th International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications, September 1999, [www.mprg.org/Tech\\_xfer/ppt/Jeff-PIMRC-Part1.pdf](http://www.mprg.org/Tech_xfer/ppt/Jeff-PIMRC-Part1.pdf).
- /6/ Andrej Kosi, Hibridni oscilator za digitalno zemeljsko televizijo, magistrska naloga, april 2005, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko v Mariboru.
- /7/ European Broadcasting Union, ETSI EN 300 744 v1.5.1, Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television, November 2004.
- /8/ European Broadcasting Union, ETSI TR 101 190 v1.2.1, Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation guidelines for DVB terrestrial services; Transmission aspects, November 2004.
- /9/ European Broadcasting Union, ETSI ETR 290, Digital Video Broadcasting (DVB); Measurement guidelines for DVB systems, May 1997.
- /10/ Analog Devices, ADIsimPLL Software, Version 2.7, <http://www.analog.com/pll>.
- /11/ Dean Banerjee, PLL Performance, Simulation, and Design, Second Edition, 2001, [www.national.com/appinfo/wireless/files/DeansBook\\_4\\_01.pdf](http://www.national.com/appinfo/wireless/files/DeansBook_4_01.pdf).

*mag. Andrej Kosi univ. dipl. inž. je zaposlen v podjetju  
ELTI d.o.o Gornja Radgona,*

*docent dr. Mitja Solar je predavatelj na Fakulteti za  
elektrotehniko, računalništvo in informatiko v Mariboru.*

*Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in  
informatiko v Mariboru  
Smetanova 17  
2000 Maribor*

*Prispelo (Arrived): 21.09.2006 Sprejeto (Accepted): 30.03.2007*