

Предности употребе анализатора спектра у реалном времену при истраживању, развоју и производњи РР уређаја

Ненад Пејовић, Мирослав Перић

Садржај — У овом раду описана је предност примене анализатора спектра у реалном времену за испитивање радио-релејних уређаја у односу на конвенционалну опрему. Посебна пажња је посвећена начину тестирања локалних осцилатора, директних модулатора и појачавача.

Кључне речи — Анализатор спектра, фазни прескок, локални осцилатор, модулатор, радио-релејни уређај

I. Увод

Изузетно велика експанзија мобилних телекомуникација и бежичног Интернета, током последњих десетак година довела је до масовне примене радио-релејних (РР) система. Прелазак на производњу све већих серија уређаја довео је до драстичног пада цена опреме. Као последицу тога имамо да се пред развојне тимове постављају све већи технички захтеви и истовремено све краћи рокови у којима треба да понуде тржишно атрактивна и технолошки оптимална решења. Ништа мањи нису ни захтеви стручњацима за производну контролу. Они морају да осмисле брзе и ефикасне поступке, прилагођене контроли уређаја који се производе у све већим серијама.

У овом раду фокусирали смо се на захтеве и методе тестирања: локалних осцилатора (ЛО) [1], модулатора [2] и предајника [3]. За наведене склопове описане су карактеристике које треба да задовоље, као и могућности њиховог мерења традиционалним инструментима и помоћу анализатора спектра у реалном времену - RTSA (Real Time Spectrum Analyzer) [4]

II. КАРАКТЕРИСТИКЕ И ТЕСТИРАЊЕ ЛО

A. Значај и карактеристике

Код типичног РР уређаја у једном примо-предајном ланцу налазе се и до 4 локална осцилатора [1]. Пракса је

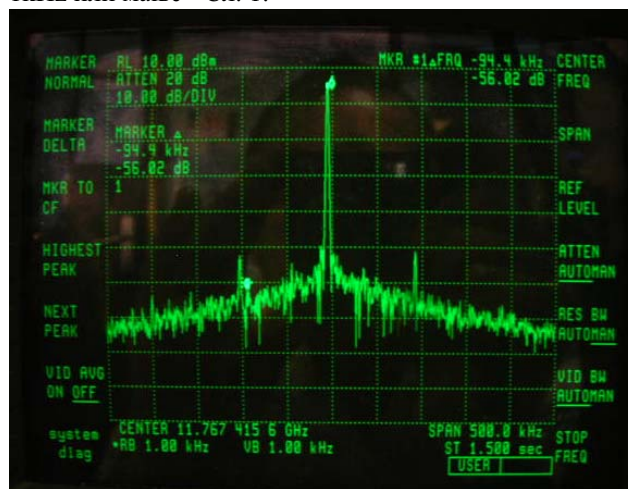
Ненад Пејовић, ИМТЕЛ Комуникације А.Д., Булевар Михаила Пупина 165Б, Нови Београд, Србија (Телефон: 381-11-2135420 лок.149 ; факс: 381-11-3115884; e-mail: nenadp@insimtel.com).

Мирослав Перић, ИМТЕЛ Комуникације А.Д., Булевар Михаила Пупина 165Б, Нови Београд, Србија (Телефон: 381-11-3118801; факс: 381-11-3115884; e-mail: micha@insimtel.com).

показала да су са становишта како перформанси тако и поузданости ови склопови најкритичнији делови РР уређаја. У [1] су дефинисане перформансе које ови склопови треба да задовоље, према прописаним ETSI стандардима за РР уређаје [5].

B. Традиционалан начин мерења

Карактеристике ЛО могу брзо и лако да се провере класичним анализатором спектра - SSA (Sweep Spectrum Analyzer). Један од типичних представника овог типа инструмената је HP 71201A [6]. Да би што тачније измерили карактеристике неопходно је да се правилно подесе параметри: ширине опсега - Span и ширине резолуције - RBW (Resolution Bandwidth). Уобичајено је да се ЛО посматра на ширини (Span) 200-500kHz, док се резолуција (RBW) подешава на 1kHz или мање - Сл. 1.



Сл. 1. Посматрање ЛО конвенционалним SSA

Главни недостатак ове методе је време пребрисавања које износи од неколико секунди за уређаје ниже класе (пр. 9843ms за Rohde & Schwarz FS300) до неколико делова секунде за уређаје највише класе (пр. 603ms за Agilent E4448A). Вероватноћа детекције појава краткотрајних губитака синхронизације или прескока фазе овом мерном методом је врло мала и захтевала би вишемесечна, или чак вишегодишња испитивања. Понашање слично петљама локалних осцилатора имају и петље за издвајање такта и носиоца. Међутим, будући да раде на много мањим учестаностима, много је лакша њихова поновљивост у серијској производњи, те су петље микроталасних локалних осцилатора

критичније компоненте.

Тек уградњом ЛО у комплет радио-релејног уређаја (РРУ) и мерењем статистичких параметара степена грешке у преносу (BER – Bit Error Ratio), могу се детектовати поменуте појаве. Ово мерење вршимо анализатором квалитета дигиталног преноса. Напоменимо да је за детекцију ових појава од пресудног значаја резолуција статистичке анализе квалитета преноса, која је по правилу 1s (параметар секунда са знатном грешком: SES – Severely Errored Seconds из G.821 и G.826[8][9]). То је вишеструко дужи временски интервал од трајања појаве. Мерење се врши при собној температури амбијента, као и на екстремним температурама. Ако се у току мерења јаве грешке непоходно је локализовати склоп који их је узроковао.

По правилу, појава секунде са знатном грешком (SES) узрокована неисправним компонентама, догоди се неколико пута, до неколико десетина пута у току 12 сати мерења. Ову појаву називамо "повременим грешкама". У почетку смо претпостављали да ако је ЛО узрок грешки постоји начин да се то уочи мерењем на SSA, и коришћењем *trace* функције која приказује максимум анвелопе спектра. То је било могуће уочити само код ЛО који су узроковали велики број грешки и то у континуитету током трајања мерења. Код ЛО који изазивају само **повремене грешке** у преносу ништа није уочено, тј. нисмо могли да утврдимо шта се заиста деси унутар самог ЛО током те појаве. На основу литературе [7] [10] закључили смо да се ради о појави која је названа **Phase hit** – фазни прескок, коју је употребом RTSA могуће непосредно уочити на самом ЛО.

C. Примена RTSA за детектовање фазних прескока

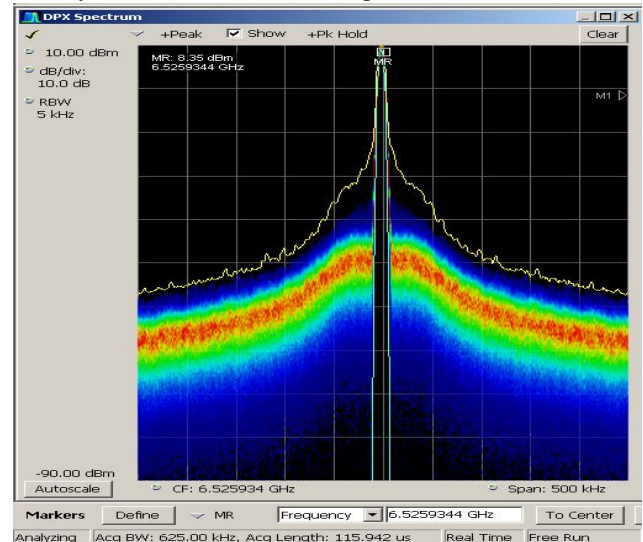
Појаву фазних прескока, односно узрока због кога ЛО генерише секунду са знатном грешком (SES), смо истраживали помоћу анализатора спектра у реалном времену (RTSA) фирме Tektronix, тип RSA6100A [4].

RTSA, за разлику од класичног SSA, континуирано прати промене у спектру посматраног сигнала. SSA зависно од параметара за Span и RBW у току једне секунде може да обави највише 50 пребрисавања кроз опсег мерених фреквенција (Span). У току пребрисавања, у једном тренутку времена посматра само једну дискретну фреквенцију. RTSA **континуирано** дигитализује посматрани сигнал и врши FFT трансформацију. Тиме је постигнут ефекат од 48826 анализа посматраног сигнала у секунди. Да би се визуелно представио резултат користи се температурна скала вероватноће – DPX™ и спектрограм [4].

Очекивали смо да је мерењем помоћу RTSA могуће уочити неке промене на спектру непозданих ЛО и онда када они раде без фазних прескока, али се то није догодило.

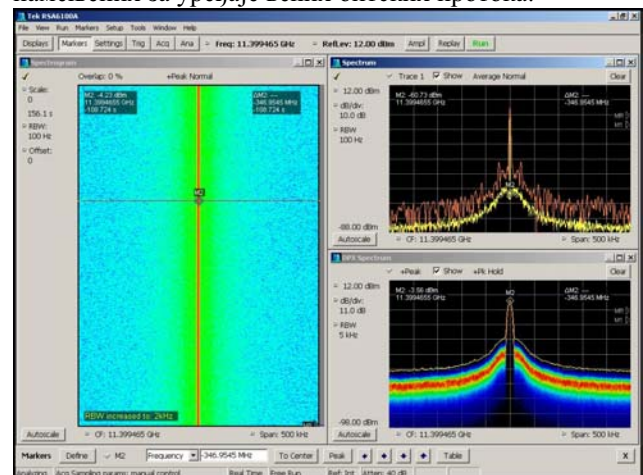
Морали смо да "ловимо" фазне прескоке. Показало се да је довољно користити *trace* функцију и продужити перзистенцију и - фазни прескоци су убрзо уочени.

Захваљујући могућности да непосредно меримо фазне прескоке дошли смо и до важног резултата. Очекивали смо да приликом фазног прескока долази до губитка синхронизације фазне петље - PLL (Phased Locked Loop). Испоставило се да петља остаје синхронисана, а да долази до повећања фазног шума непосредно уз носилац. На Сл.2. приказан је пример фазног прескока који је изазван порастом фазног шума, а уочава се на основу изгледа анвелопе спектра.



Сл.2. Фазни прескок ЛО уочен помоћу RTSA

Такође смо уочили да сличан ефекат (подизање фазног шума) изазива и појава микрофоније стимулирана физичким ударањем у кућиште ЛО. Ови резултати су од изузетног значаја за даљи развој ЛО намењених за уређаје већих битских протока.



Сл.3. Анализа тока фазног прескока ЛО помоћу RTSA

На Сл. 3. приказана је анализа појаве која је снимљена у меморију. Снимљено је мерење микрофоније ЛО на 11,4GHz. Померањем маркера на спектрограму са леве стране, на прозору у горњем десном углу добијамо тренутни изглед спектра у маркираном тренутку.

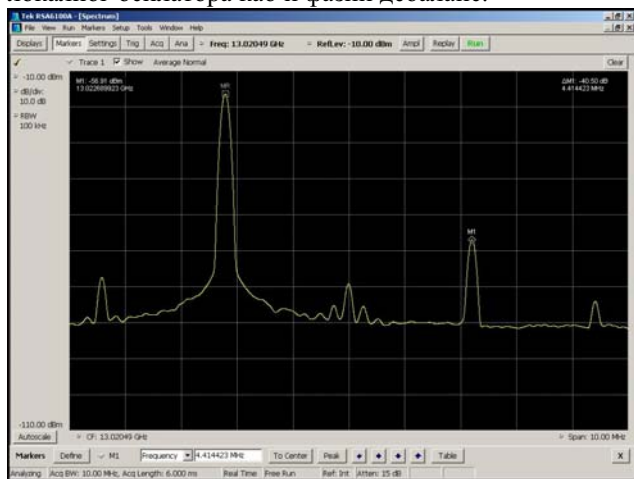
III. ТЕСТИРАЊЕ МОДУЛАТОРА И ДЕМОДУЛАТОРА

ETSI стандардима [5] су прописани габарити RF маске спектра које треба да задовољи модулисани сигнал. Код QAM (Quadrature Amplitude Modulation)

модулационих поступака, у том циљу је неопходно филтрирање сигнала I и Q гране у основном опсегу и држање цурења носиоца на задатом нивоу. Захтеви за остале перформансе попут амплитудског и фазног баланса, као и дозвољеног нивоа нелинеарних изобличења зависе од избора модулационог поступка, о чему се детаљније може наћи у [3], [11]. Доминантне компоненте које утичу на испуњење ових захтева су квадратурни (IQ) модулатори и предајни појачавачи.

A. Приступ са класичним анализатором спектра

Када се квадратурни модулатор побуди у обе гране синусним сигналом, при чему сигнал у Q грани касни или предњачи за 90° и резултујући – модулисани сигнал је синусоидалан. Помоћу овако генерисаног сигнала лако је мерити снагу класичним анализатором спектра (SSA). Поред корисног сигнала можемо да уочимо и лако измеримо нежељено цурење сигнала локалног осилатора као и фазни дебаланс.



Сл. 4. Мерење фазног дебаланса

На Сл.4. приказан је пример мерења фазног дебаланса помоћу класичног анализатора спектра.

Као последица фазног дебаланса долази до појаве синусног сигнала на нежељеном бочном опсегу. Релативна разлика снаге сигнала корисног и нежељеног бочног опсега може се математички трансформисати у износ фазног дебаланса. Карактеристичне вредности наведене су у Табели 1.

ТАБЕЛА 1: КОНВЕРЗИЈА ПОТИСКИВАЊА БОЧНОГ ОПСЕГА У ИЗНОС ФАЗНОГ ДЕБАЛАНСА.

Потискивање бочног опсега (dB)	Фазни дебаланс ($^\circ$)
-20	5,74
-22	4,60
-24	3,60
-26	2,90
-28	2,30
-30	1,80

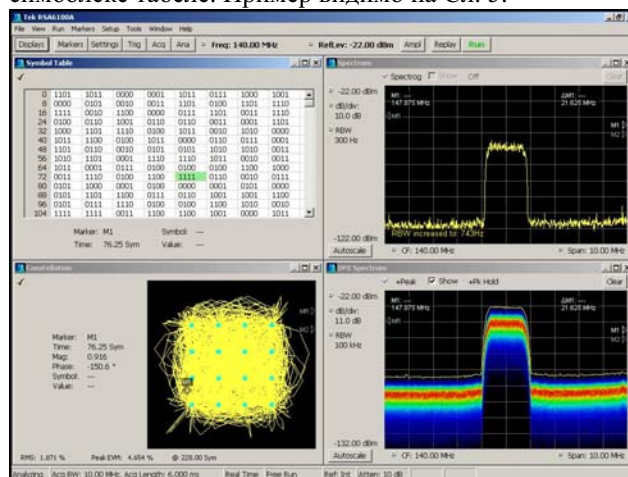
Да би се овакво мерење могло брзо и лако извршити осмишљен је склоп који генерише синусне сигнале у квадратури. Добијен је модификацијом јединице основног опсега – ВВ (Base Band) и смештен у исто кућиште.

Код сложених фазних модулација до све већег изражаја долази и утицај нелинеарних изобличења. Посебно је значајно контролисати интермодулационе продукте 2. и 3. реда. Они се најлакше мере применом двотонског теста. За РПУ великих битских протока битно је и да су карактеристике модулатора и целог предајног ланца задовољене за што већи опсег фреквенција модулишућег сигнала (Modulation Bandwith). Да би омогућили наведена мерења без потребе за коришћењем већег броја сигнал генератора конструисан је процесор сигнала у основном опсегу [2].

Применом модификоване јединице основног опсега и процесора сигнала постигли смо да описана мерења модулатора и предајника могу брзо и ефикасно да се обаве како у фази развоја, тако и у фази производње и контроле.

IV. ПРЕДНОСТИ RTSA ПРИ ТЕСТИРАЊУ МОДУЛАТОРА И ПРЕДАЈНИКА

RTSA је у погледу тестирања предајника и модулатора сличан векторским анализаторима сигнала (VSA – Vector Signal Analyzer), уз многе додатне могућности. Резултат мерења се приказује у виду констелационог дијаграма, нумеричких резултата и симболске табеле. Пример видимо на Сл. 5.



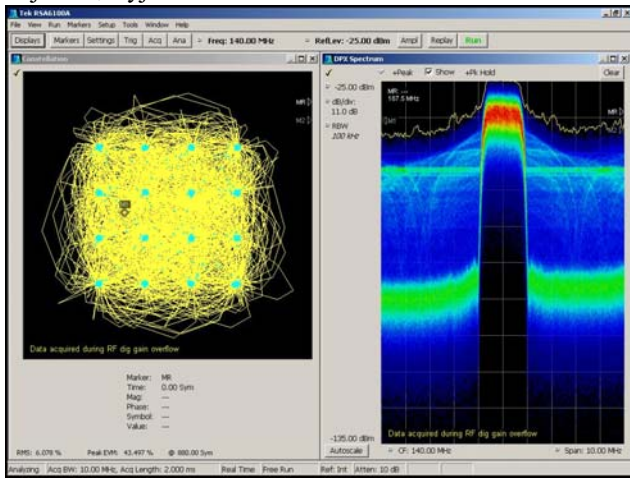
Сл. 5. Параметри 16QAM модулатора

Констелациони дијаграм може се посматрати и класичном методом – двоканалним осцилоскопом али само на излазу из демодулатора. У том случају није могуће разликовати утицај пријемног и предајног дела РР уређаја на добијени резултат. С друге стране RTSA има референтни демодулатор тако да је могуће локализовати само утицај модулатора и/или предајника на квалитет сигнала. Извесна мана референтног демодулатора је стриктно везивање за централну фреквенцију, битски проток и тип пријемног и референтног филтра.

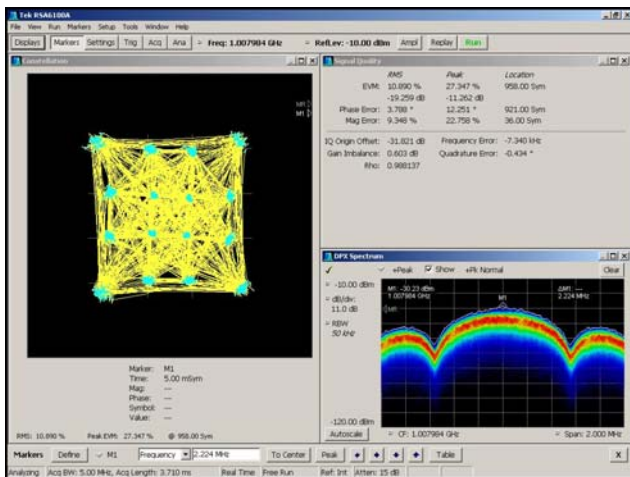
У циљу боље илустрације одлучили смо се за 16QAM модулациони поступак. Испитали смо неколико различитих модулатора које намеравамо да применимо у уређајима са 16QAM модулацијом а као пример наводимо неке резултате.

На Сл. 5. Приказан је констелациони дијаграм,

изглед спектра и симболска табела за 16QAM модулацију реализовану помоћу Provigent Chipset-a [12] на 140MHz. На Сл. 6. приказан је проблем који настаје када се исти сигнал пропусти кроз појачавач који осцилује.

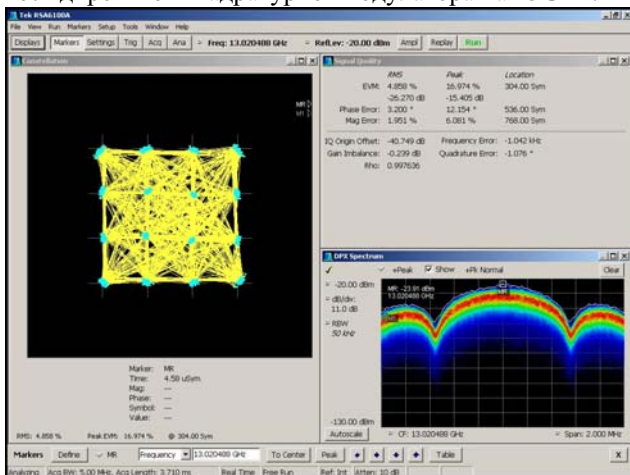


Сл. 6. Нежељени утицај појачавача који осцилује



Сл. 7. Изобличен констелациони дијаграм

На Сл. 7. видимо нелинеарна изобличења констелационог дијаграма настала услед недовољно поларисаних мешачких диода. На Сл. 8. је приказан тест директног квадратурног модулатора на 13GHz.



Сл. 8. Конст. дијаграм модулатора на 13GHz

V. ЗАКЉУЧАК

Описана тестирања су показала како се употребом RTSA значајно побољшава могућност и тачност дијагнозе неисправности у дигиталним радио-релејним уређајима. На тај начин се вишеструко скраћује трајање истраживања, развоја и завршних испитивања и повећава поузданост PP уређаја.

ЗАХВАЛНИЦА

Захваљујемо се госпођи Александри Павасовић, директору предузећа Bel Systems из Београда (заступник фирме Tektronix за Србију) и господину Јорну Хофнеру (Jörn Höpfner), представнику фирме Tektronix који су нам обезбедили анализатор спектра у реалном времену (RTSA) ради описаних мерења.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Мирослав Перић, Ненад Пејовић "Утицај несавршености локалног осцилатора на деградацију перформанси радио-релејног уређаја", TELFOR 2006, Beograd, 2006.
- [2] Vladimir Orlic, Miroslav Peric, Siniša Jovanović, "Baseband Signal Processor for digital RR link with direct IQ Modulator" Telsix 2007, Niš, 2007.
- [3] Shen Y., "RF Related Impairments for Microwave Digital Radios", Microwave Engineering Europe, Dec/Jan 2005/2006.
- [4] <http://www.tek.com>
- [5] <http://www.etsi.org>
- [6] OPERATING MANUAL HP70000A Spectrum Analyzer, Hewlett-Packard Company, California, USA, 1985.
- [7] Gardner M. F., Phaselock Techniques, Second Edition, John Wiley and Sons, 1979.
- [8] ITU-T Rec.821, "Error performance of an international digital connection operating at a bit rate below the primary rate and forming part of an Integrated Services Digital Network", (12/02), 2002.
- [9] ITU-T Rec.826 "End-to-end error performance parameters and objectives for international, constant bit-rate digital paths and connections", (12/02), 2002.
- [10] Tektronix Application Note: "Capturing and Measuring Microphonics and Phase-Hits with the RTSA", available: http://www.tek.com/Masurement/App_Notes/37_18577/eng/37W_18577_1.pdf
- [11] Xiong F. Digital Modulation Techniques, Artech House, 2000.
- [12] <http://www.provigent.com>

ABSTRACT

In this paper we describe advantages of RTSA compared with conventional equipment for testing RR devices based on QPSK and QAM modulations. We especially describe methods for testing: LO, direct IQ modulators and amplifiers.

ADVANTAGES OF USING REAL TIME SPECTRUM ANALYZER IN R&D AND PRODUCTION OF RR DEVICES

Nenad I. Pejovic, Miroslav V. Peric