

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Možnosti využití diskrétních modulací v pásmu 868 MHz

Bc. Radek Hojný

Diplomová práce

2011

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Radek HOJNÝ**
Osobní číslo: **D09858**
Studijní program: **N3708 Dopravní inženýrství a spoje**
Studijní obor: **Dopravní infrastruktura-Elektrotechnická zařízení v dopravě**
Název tématu: **Možnosti využití diskretních modulací v pásmu 868 MHz**
Zadávací katedra: **Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Diplomová práce bude zaměřena na analýzu přenosu signálu v pásmu 868 MHz ve spojení s využitím moderních diskretních modulací. V teoretické části budou popsány části přenosové cesty, důraz bude kladen na podrobnější popis vysílače a přijímače. Diplomant popíše principy přenosu signálu modulací s postranními pásmy a modulací nosné a provede rozbor dnes používaných diskretních modulací.

V praktické části budou laboratorně ověřeny možnosti bezdrátového přenosu signálu v pásmu 868 MHz, kde se pomocí generování IQ složek signálu ověří vlastnosti diskretních modulací - odolnost proti šumu a rušení, datové a symbolové rychlosti. Provedené testy v úzkém komunikačním pásmu budou přehledně vyhodnoceny a porovnány s přenosem signálu v širších licencovaných i bezlicenčních pásmech.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

CHI-HSI LI, Richard. RF Circuit Design. John Wiley & Sons, 2009.

HRDINA, Z.; VEJRAŽKA, F. Signály a soustavy. Praha : Vydavatelství ČVUT, 1998.

DOBEŠ, J.; ŽALUD, V. Moderní Radioelektrotechnika. Praha : Technická literatura - Ben, 2006.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jan Pidanič

Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě

Datum zadání diplomové práce: **9. února 2011**

Termín odevzdání diplomové práce: **31. května 2011**



prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.

děkan

L.S.



doc. Ing. Radovan Doleček, Ph.D.

vedoucí katedry

V Pardubicích dne 11. března 2011

PROHLÁŠENÍ AUTORA

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 23. 5. 2011

Radek Hojný

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych chtěl poděkovat Ing. Janu Pidaničovi za odborné vedení diplomové práce a za metodickou pomoc při její realizaci.

Díky však patří také mé rodině za projevenou podporu, pochopení a především pevné nervy po dobu celého mého studia.

ANOTACE

Práce se zabývá možnostmi využití digitálních modulací v pásmu 868 MHz. V teoretické části diplomové práce je uveden popis obecného rádiového komunikačního systému, především přijímače a vysílače a popis vybraných digitálních modulací. V praktické části je proveden návrh generování digitálních modulací pomocí IQ složek signálu, návrh měřicího řetězce k laboratornímu ověření možnosti rádiového přenosu signálu za pomoci vybraných digitálních modulací. Dále jsou zde uvedeny výsledky měření s vyhodnocením poznatků získaných při testech v úzkém komunikačním rádiovém pásmu.

KLÍČOVÁ SLOVA

vysílač; přijímač; modulace; rádiový přenos; přenosová cesta

TITLE

Possibilities of discrete modulation in the 868 MHz band

ANNOTATION

The thesis deals with digital modulations in the 868 MHz band. The theoretical part consists of a description of a general radio communication system, especially the receiver and the transmitter and a description of several digital modulation methods. The practical part is aimed at the generating digital modulation by IQ modulation signal components, design of the measuring workplace for laboratory verification of radio signals transmitting using digital modulations. There are also included results of measurements with the findings of the laboratory tests in a narrow radio band.

KEYWORDS

transmitter; receiver; modulation; radio communication; transmission channel

OBSAH

ÚVOD	9
1 HISTORIE, OBECNÝ POPIS SDĚLOVACÍHO SYSTÉMU	10
1.1 Historie bezdrátové komunikace	10
1.2 Komponenty rádiové přenosové cesty	11
1.3 Popis pásem rádiových vln	14
2 POPIS RÁDIOVÉHO ŠÍŘENÍ	16
2.1 Rádiové vlny	16
2.2 Radiokomunikační rovnice	16
2.3 Kapacita kanálu	17
3 DIGITÁLNÍ MODULACE	20
3.1 Modulace, obecné rozdělení modulací	20
3.2 Rozdělení digitálních modulací	22
3.3 IQ složky digitálních modulací	23
3.4 Modulace ASK	25
3.5 Modulace PSK	27
3.6 Modulace M-QAM	30
3.7 Modulace FSK	32
4 KOMPONENTY RÁDIOVÉHO SYSTÉMU PRO MĚŘENÍ PŘENOSOVÝCH CHARAKTERISTIK	35
4.1 Vysílač ME1000 (TX)	35
4.2 Přijímač ME1000 (RX)	37
4.3 Návrh měřicího řetězce	39
5 POPIS LABORATORNÍHO PRACOVÍŠTĚ	40
5.1 Reálný měřicí řetězec	40
6 PŘENOS DATOVÝCH SIGNÁLŮ POMOCÍ DIGITÁLNÍCH MODULACÍ REÁLNÝM RÁDIOVÝM PROSTŘEDÍM	45
6.1 Přenos s modulací ASK	45
6.2 Přenos s modulací PSK	48
6.3 Přenos s modulací 16-QAM	52
6.4 Přenos s modulací 64-QAM	56
6.5 Přenos s modulací FSK	60
7 ODOLNOST DIGITÁLNÍCH MODULACÍ PROTI ŠUMU A RUŠENÍ	64

7.1 Simulace odolnosti proti šumu a rušení	64
8 VYHODNOCENÍ	69
8.1 Vyhodnocení měření a simulací	69
ZÁVĚR	70
POUŽITÁ LITERATURA	72
SEZNAM OBRÁZKŮ	73
SEZNAM TABULEK	76
SEZNAM ZKRATEK	77
SEZNAM PŘÍLOH	78

ÚVOD

Diplomová práce se zabývá analýzou přenosu signálu v bezlicenčním pásmu 868 MHz ve spojení s využitím moderních diskrétních modulací.

Pásmo 868 MHz, ve kterém budou provedeny testy přenosu datových signálů, je součástí kmitočtového pásma ultra vysokých frekvencí (UHF). UHF je kmitočtové pásmo v rozmezí 300 - 3000 MHz, tedy s délkou vlny 1 - 10 decimetrů. V Čechách se toto pásmo označuje také jako ultra krátké vlny (UKV). Kmitočtové pásmo UHF je využíváno pro mnoho aplikací. Jsou to frekvenční pásma licencovaná s využitím například pro pozemní televizní digitální vysílání DVB-T, satelitní televizní vysílání DVB-S, mobilní komunikace GSM nebo pro navigaci GPS. Část kmitočtového pásma UHF lze užívat i bez licence. Je to například pásmo 433 MHz, 868 MHz nebo pásmo 2,4 GHz, které je využito pro technologii Wi-Fi nebo Bluetooth. Právě v bezlicenčním pásmu 868 MHz budou provedeny testy datových přenosů s využitím digitálních modulací.

Cílem teoretické části diplomové práce je stručný popis historie bezdrátového přenosu, popis obecného rádiového komunikačního systému, kde bude podrobněji popsán především přijímač a vysílač, popis pásem rádiových vln a teoretický rozbor rádiového šíření. V další části bude proveden obecný popis v současné době používaných modulací a jejich rozdělení. Podrobněji bude pojednáno o digitálních modulacích ASK, BPSK, M-QAM a FSK.

Cílem praktické části diplomové práce je návrh způsobu generování digitálních modulací pomocí IQ složek signálu a návrh měřicího řetězce k laboratornímu ověření možnosti rádiového přenosu signálu v pásmu 868 MHz za pomoci digitálních modulací. Po návrhu a sestavení měřicího řetězce bude provedeno měření přenosu datových signálů pomocí vybraných digitálních modulací ASK, BPSK, 16-QAM, 64-QAM a FSK. Testy proběhnou pro různé rychlosti přenosu dat. V praktické části diplomové práce se softwarovou simulací ověří odolnost proti šumu a rušení u vybraných digitálních modulací BPSK, 16-QAM a 64-QAM. Po provedení měření a simulací budou shrnuty výsledky praktické části diplomové práce.

V závěru diplomové práce budou zhodnoceny poznatky získané při vlastních testech v úzkém komunikačním rádiovém pásmu s provedením vyhodnocení splnění cíle diplomové práce.

1 HISTORIE, OBECNÝ POPIS SDĚLOVACÍHO SYSTÉMU

1.1 Historie bezdrátové komunikace

V roce 1820 dánský fyzik a chemik Hans Christian Oersted zjistil, že magnetka kompasu v blízkosti elektrického pole vykazuje jistý pohyb a tím objevil souvislost mezi elektřinou a magnetizmem.

Ve stejném roce francouzský fyzik André Marie Ampere rozšířil Oerstedovo pozorování a vyslovil první teorii magnetizmu. V ní poukázal na spojitost mezi magnetizmem a elektrickým proudem, jako dvěma skupinami jevů, které se předtím považovaly za principiálně odlišné.

Pokud prochází elektrický proud vodičem, vzniká v jeho okolí magnetické pole. Je možné, aby naopak vznikl pomocí magnetického pole v uzavřeném obvodu elektrický proud? Odpověď na tuto otázku přinesl jako první v roce 1831 Michael Faraday s důležitým objevem elektromagnetické indukce.

O další velký pokrok se zasloužil skotský fyzik James Clerk Maxwell. Výsledkem jeho úsilí byla teoretická práce. Publikoval studie „O dynamické teorii elektromagnetického pole“ (1865) a „Pojednání o elektřině a magnetismu“ (1873), která se stala známou jako Maxwellovy rovnice. Je to série čtyř rovnic, které dohromady kompletně popisují vzájemné působení elektrických a magnetických polí.

Díky Maxwellově teorii, 8 let po jeho smrti, vynalezl v roce 1887 německý profesor fyziky Heinrich Hertz oscilátor a laboratorně vytvořil elektromagnetické vlny, přičemž měřil jejich délku a rychlost. Ukázal, že povaha jejich vibrací a schopnosti se lámat a odrážet je stejná jako při světelných a tepelných vlnách. Jako definitivní závěr bez pochybností stanovil, že světlo a teplo jsou elektromagnetickou radiací. Hertz byl prvním, kdo vysílal a přijímal elektromagnetické vlny. Avšak produkované vlny nebyly schopné překonat větší vzdálenost a problém vytvořit efektivní vysílač a přijímač zůstal nevyřešen.

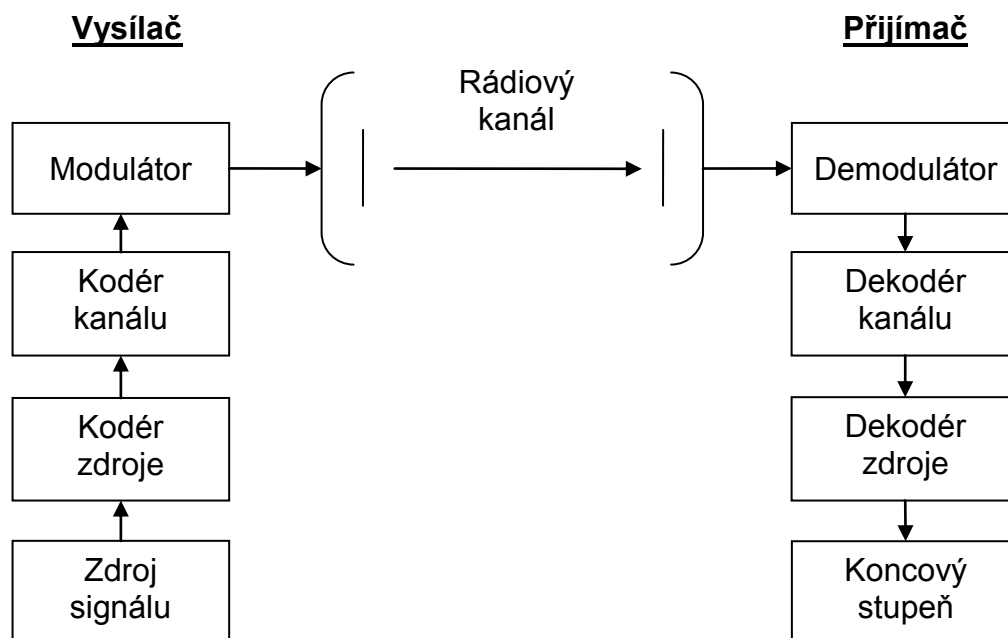
Hertz se o praktické využití svých poznatků vůbec nezajímal, ale konstruktér ruského námořnictva Alexander Popov na základě jeho prací sestrojil roku 1897 bezdrátový telegraf. Vrcholem jeho experimentů bylo vysílání mezi břehem a loděmi ve Finském zálivu v roce 1900, kdy se mu podařilo dosáhnout spojení na vzdálenost mnoha desítek kilometrů.

Přestože k vynálezu rádia přispělo mnoho vědců, byl to italský elektroinženýr a vynálezce Guglielmo Marconi, kterému se připisuje tento významný krok. V roce 1895 mladý technický nadšenec zdokonalil koherer (přístroj zachytávající elektromagnetické vlny) a připojil ho k jednoduché anténě, u které byl dolní konec uzemněn. Předvedl první demonstraci bezdrátové telegrafie. V roce 1896 Marconi dokázal vyslat signály na vzdálenost 1,6 km. Přenos byl uskutečněn dlouhými vlnami a měl vysoké energetické nároky (>200 kW). V následujícím roce jeho přístroj zvládnul přenos rádiových signálů z pobřeží na loď ve vzdálenosti 29 km. V prosinci 1901 se Marconimu podařilo odvyšlat písmeno "S" přes Atlantik. Obratem si zajistil pro sebe veškerá možná práva a začal v této oblasti úspěšně podnikat. Jeho firma měla například vyhrazené vysílání z lodí, které nesměly mít vlastní stanice a telegrafisty, ale musely si je od něj pronajmát. Tak tomu bylo například i na Titaniku. V roce 1909 obdržel Nobelovu cenu za fyziku.

1.2 Komponenty rádiové přenosové cesty

Rádiová přenosová cesta se skládá z vysílače informace, rádiového kanálu a přijímače informace.

Obecné schéma rádiového komunikačního systému modeluje zpracování informace. Níže uvedené obecné schéma lze aplikovat především na digitální systémy. Po menších úpravách může být obecné schéma aplikováno i na systémy s jiným komunikačním kanálem, např. s optickým či metalickým spojem.



Obr. 1.1 Obecné schéma rádiového komunikačního systému

Zdroj signálu

Jedná se o zařízení, které generuje data pro přenos na místo určení. Informace může mít původně i charakter neelektrické veličiny, kterou je třeba převést na elektrický signál. Zdrojem signálu může být například mikrofon, kamera, počítačová data apod. Důležitými parametry zdroje signálu je bitová rychlost, informační rychlost a redundance. Bitová rychlost je objem dat vygenerovaných za jednotku času [bit/s]. Informační rychlost udává množství informace za jednotku času [bit/s]. Redundance je nadbytečná informace, rozdíl mezi velikostí dat [bit] a množstvím informace v těchto datech [bit].

Kodér zdroje

Úkolem kodéru zdroje je digitalizace signálu, pokud signál nebyl již digitální, a následné zmenšení (komprimace) objemu dat generovaných zdrojem signálu. Zmenšení objemu dat spočívá v potlačení redundance, nadbytečné informace, která bývá hodně zastoupena například v obrazových či zvukových informacích. Dále se potlačuje irelevance, což je v podstatě nedůležitá informace z hlediska vjemu a

interpretace dat. Kódování může být provedeno bezeztrátově nebo ztrátově. Bezeztrátové kódování odstraňuje pouze redundantní informace, ztrátové kódování redundantní a irelevantní informace. U bezeztrátového kódování lze dekódovaná data rekonstruovat na data před kódováním. U ztrátového kódování dekódovaná data nelze již rekonstruovat na data před kódováním, ale vjem informace zůstává stejný.

Kodér kanálu

Kódování kanálu zajišťuje detekci a opravu chyb při přenosu dat. K chybám při přenosu dat dochází vlivem šumu a interferencí. V podstatě se do přenášených dat definovaným způsobem přidá informace, která na straně přijímače slouží k rozpoznání chyb, případně k opravě přenesených dat.

Modulátor

Digitální signál s potlačenou redundancí a irelevancí, který vznikl uvedeným dvojitým kódováním, vstupuje do modulátoru. Zde se moduluje pomocí potřebného modulačního způsobu na nosnou, zpravidla vysokofrekvenční vlnu. Modulace je proces, při kterém se některý z parametrů nosné vlny ovlivňuje modulačním signálem. Ovlivňujeme-li amplitudu nosné vlny, bude modulace amplitudová. Jestliže budeme modulačním napětím ovlivňovat frekvenci nosné vlny, bude se jednat o frekvenční modulaci. Budeme-li ovlivňovat fázi nosné vlny, bude se jednat o modulaci fázovou. Díky využití principů modulace je potom možné přenášet ve vhodném rádiovém prostředí, na nosných vlnách s různými kmitočty, velké množství zcela nezávislých modulačních signálů. Některé typy modulací navíc umožňují v procesu demodulace v přijímači zlepšit odstup užitečného signálu od šumu, i když za cenu vyšších nároků na šířku pásma. [1] Optimální modulátor má za úkol co nejlépe přizpůsobit přenášený signál podmínkám rádiového komunikačního kanálu.

Rádiový kanál

Rádiový kanál je tvořen vysílací anténou, kanálem šíření a přijímací anténou. Kanál šíření je fyzikální prostředí, sloužící k přenosu signálu mezi vysílačem a přijímačem. K přenášenému signálu se v rádiovém komunikačním kanálu přidává náhodný šum a dále náhodné rušení, tj. interference, které mohou být přírodního nebo průmyslového charakteru.

Demodulátor

Na straně přijímače probíhá opačný proces než na straně vysílače. Signál zachycený přijímací anténou je nejprve demodulován. Tím vznikne signál, který se shoduje se signálem na výstupu kodéru kanálu vysílače, až na ovlivnění šumem a různým zkreslením z rádiového komunikačního kanálu.

Dekodér kanálu

Dekodér kanálu musí znát algoritmus kanálového kódování. Na jeho základě provede rekonstrukci vysílané informační sekvence.

Dekodér zdroje

Úkolem dekodéru zdroje je realizace opačné operace, než kterou provádí kodér zdroje. Redundantní informace, které kodér zdroje potlačil, je třeba znovu správně interpretovat. Pokud v kodéru zdroje bylo použito ztrátové kódování, nelze irelevantní informace znovu interpretovat. Vzhledem k tomu, že irelevantní informace jsou nepotřebné, příjemce tuto ztrátu nerozpozná.

Koncový stupeň

V koncovém stupni dochází ke konečné úpravě informace, k interpretaci. Elektrický signál je zde upraven na potřebnou, např. i neelektrickou veličinu. Koncovým stupněm může být reproduktor, televize, počítačová data apod.

1.3 Popis pásem rádiových vln

V následující tabulce jsou uvedena kmitočtová pásma rádiových vln.

Kmitočet ($f_1; f_2$)	Délka vlny ($l_1; l_2$)	Název pásma	Metrické zkratky	Sym- boly	Český název
3 - 30 kHz	100 - 10 km	myriametrické	Mam	VLF	velmi dlouhé
30 - 300 kHz	10 - 1 km	kilometrické	km	LF	dlouhé
300 - 3000 kHz	1000 - 100 m	hektometrické	hm	MF	střední
3 - 30 MHz	100 - 10 m	dekametrické	dam	HF	krátké
30 - 300 MHz	10 - 1 m	metrické	m	VHF	velmi krátké
300 - 3000 MHz	10 - 1 dm	decimetrické	dm	UHF	ultra krátké
3 - 30 GHz	10 - 1 cm	centimetrické	cm	SHF	centimetrové
30 - 300 GHz	10 - 1 mm	milimetrické	mm	EHF	milimetrové
300 - 3000 GHz	1 - 0,1 mm	decimilimetrické	dmm	-	-

Tab. 1 Kmitočtová pásma rádiových vln

Bezlicenční pásmo 868 MHz, ve kterém budou provedeny testy, se nachází v kmitočtovém pásmu Ultra vysokých frekvencí (UHF). Pásmo UHF se vyznačuje přímým šířením elektromagnetických vln, ohybem elektromagnetických vln na překážkách a odrazy od pozemních objektů. UHF pásmo určuje rozsah elektromagnetických vln s frekvencí od 300 MHz do 3 GHz. Tyto jsou označovány také jako decimetrické pásmo.

2 POPIS RÁDIOVÉHO ŠÍŘENÍ

2.1 Rádiové vlny

Rádiové systémy využívají k přenosu informace volné prostředí, ve kterém je informace přenášena od vysílače k přijímači prostřednictvím rádiových vln. Rádiovými vlnami nazýváme elektromagnetické vlnění v kmitočtovém pásmu 10 kHz až 3 000 GHz, což odpovídá vlnovým délkám v rozsahu 30 km až 0,1 mm. Vzájemný vztah mezi vlnovou délkou λ a kmitočtem vlny f je dán vztahem

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad [\text{m}], \quad (2.1)$$

kde c je rychlost šíření elektromagnetických vln ve volném prostoru.

2.2 Radiokomunikační rovnice

Vyzařovaná hustota výkonu dP / dS je dána vztahem

$$\frac{dP}{dS} = P_v G_v \frac{1}{4\pi R^2} \quad [\text{W/m}^2]. \quad (2.2)$$

P_v je celkový střední výkon vysílače měřený v napájecím bodě antény, G_v je zisk vysílací antény a R je vzdálenost mezi vysílací a přijímací anténou.

Efektivní plocha antény A_{ef} je dána vztahem

$$A_{ef} = G_p \frac{\lambda^2}{4\pi} \quad [\text{dB}], \quad (2.3)$$

kde G_p je zisk přijímací antény a λ je délka vlny.

Výchozím vztahem návrhu radiokomunikačního systému je radiokomunikační rovnice, která umožňuje ze zadaných parametrů výpočet dalších parametrů systému.

$$P_p = \frac{dP}{dS} A_{ef} \frac{1}{L} = P_v G_v \frac{G_p \lambda^2}{(4\pi R)^2 L} = EIRP \frac{G_p \lambda^2}{(4\pi R)^2 L} \quad [\text{W}], \quad (2.4)$$

kde L jsou celkové ztráty antény. Součin $P_v G_v$ se nazývá efektivní izotropický vyzařovaný výkon a označuje se EIRP. Z radiokomunikační rovnice lze určit, kromě jiných veličin, také výkon P_p na vstupu přijímače. Jeho hodnota by měla být vždy větší než určitý minimální výkon $P_{p \min}$ nutný pro správnou činnost navrhovaného systému. U analogových systémů musí být při výkonu $P_{p \min}$ zaručen požadovaný odstup signál / šum za demodulátorem, u digitálních systémů musí být zaručena požadovaná chybovost BER. Pomocí veličiny $P_{p \min}$ se určuje tzv. systémový zisk definovaný vztahem

$$G_{\text{sys}} = P_v - P_{p \min} \text{ [dB]}. \quad (2.5)$$

Systémový zisk G_{sys} musí být větší (minimálně rovný) než součet všech ztrát zmenšený o zisky přijímací a vysílací antény.

2.3 Kapacita kanálu

Kapacita kanálu C_0 vyjadřuje množství informace, které je možné přenést kanálem za určitý čas. [3] Při přenosu působí na signál různé rušivé jevy, které zapříčiní zkreslení signálu, a s tím spojené způsobení chybovosti.

Kanálovou kapacitu lze vypočítat pomocí Shannon-Hartleyova vztahu. Vztah vyjadřuje maximální množství informace vyjádřené v bitech, které lze přenést systémem za jednu sekundu při nulové chybovosti BER v případě, že na systém působí pouze gaussovský bílý šum AWGN. Označí-li se střední hodnota výkonu užitečného signálu na výstupu rádiového kanálu symbolem S , výkon šumu AWGN symbolem N a je-li šířka pásma daného kanálu B , je kapacita C_0 určena teorémem kanálové kapacity, označovaným také jako Shannon-Hartleyův vztah [3]

$$C_0 = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \text{ [bit/s]}. \quad (2.6)$$

Pomocí tohoto vztahu lze jednoduše porovnat teoretické předpoklady přenosové kapacity kanálu s jeho reálným využitím.

Kapacitou kanálu rozumíme teoreticky nejvyšší dosažitelnou bitovou rychlost idealizovaného přenosového kanálu. V reálném systému se k této hodnotě můžeme pouze přiblížit. Kapacita kanálu C_0 je závislá na B , S , N . Vyjádříme-li výkon šumu N jako součin spektrální výkonové šumové hustoty N_0 a šířky pásma B tedy $N = N_0 B$ a

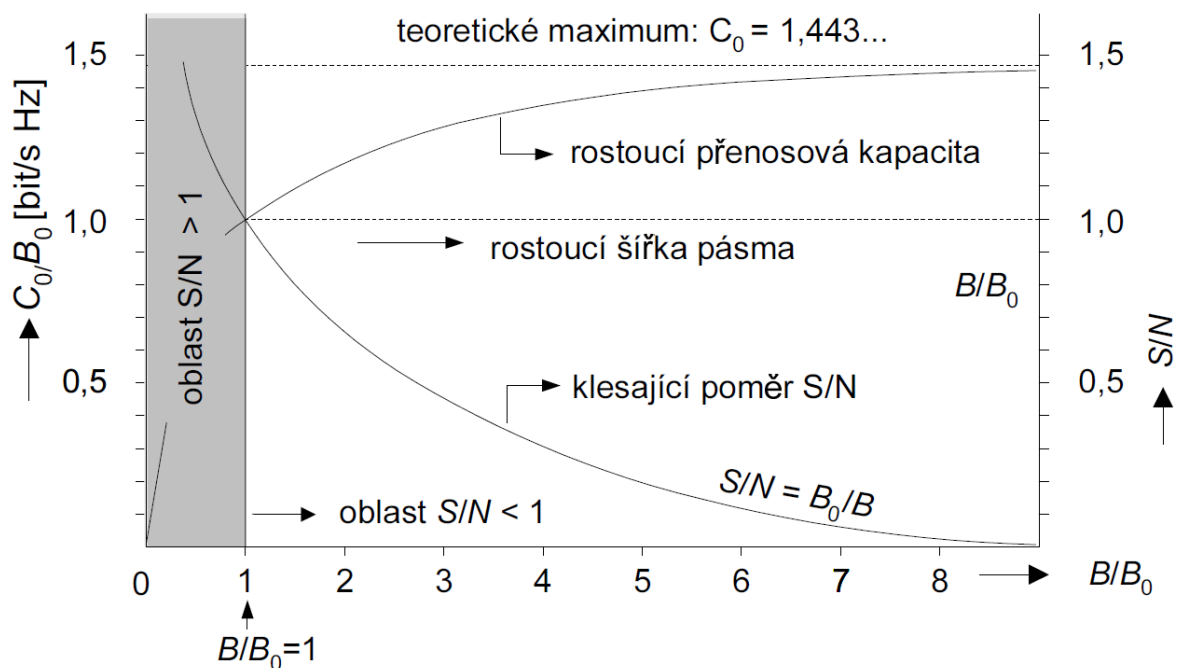
zavedeme-li poměrnou šířku pásma $B_0 = S / N_0$, lze vztah uvést v normovaném vztahu

$$\frac{C_0}{B_0} = \frac{B}{B_0} \log_2 \left(1 + \frac{B_0}{B} \right) \quad [\text{bit/s Hz}]. \quad (2.7)$$

Z uvedené rovnice je vidět, že normovaná přenosová kapacita C_0/B_0 je funkcí jedné proměnné, kterou je poměrná šířka pásma B/B_0 . V níže uvedeném grafu je zobrazena závislost poměrné šířky pásma a poměru signál / šum na poměrné šířce pásma B/B_0 . Z předešlých dvou rovnic vyplývá následující vztah

$$\frac{S}{N} = \frac{1}{B/B_0}. \quad (2.8)$$

Normovaná šířka pásma $B/B_0 = 1$ vyznačuje stav, kdy se výkon signálu S rovná výkonu šumu N . [3]



Obr. 2.1 Závislost normované přenosové kapacity $= C_0 / B_0$ a poměru signál / šum $= S / N$ idealizovaného rádiového komunikačního systému, na normované šířce pásma B / B_0 [1]

Z uvedeného grafu je vidět, že normovaná šířka pásma je důležitým mezním bodem, kde se výkon signálu rovná výkonu šumu. Tímto bodem prochází přímka,

která dělí graf na dvě části. Levá část grafu vystihuje klasické systémy, kde je úroveň signálu větší než úroveň šumu, tzn. poměr signál / šum je větší než 1. V pravé části jsou naopak signály, kde je signál pod úrovní šumu a hodnota poměru signál / šum je menší než 1. Přenosová kapacita se u těchto systémů blíží maximální hodnotě. [3]

3 DIGITÁLNÍ MODULACE

3.1 Modulace, obecné rozdělení modulací

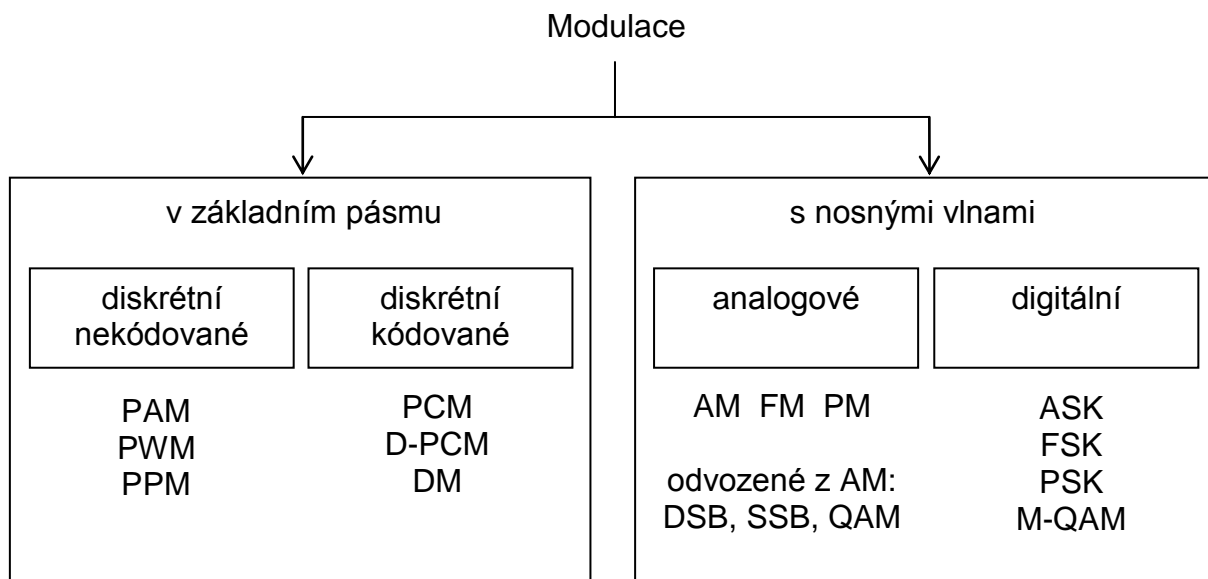
Pro přenos informací se využívají různé přenosové cesty. Z důvodu zlepšení podmínek přenosu se využívají přenosy ve vyšším frekvenčním pásmu, při kterém se přenášejí takové signály, které se danou přenosovou cestou šíří nejlépe.

Modulace je proces, při kterém se signál ze základního pásma převádí na signál v pásmu přeloženém. Modulace se provádí v modulátoru. Zpětný proces se nazývá demodulace a provádí se v demodulátoru.

Signál, který nese užitečnou informaci, se nazývá modulační signál. Modulační signál se v modulátoru namoduluje na vysokofrekvenční složku. Vysokofrekvenční složka je označována jako nosný signál (nosná vlna). Výstupem modulátoru je modulovaný signál.

Modulace je tedy proces, při kterém se některý z parametrů nosné vlny ovlivňuje modulačním signálem. Ovlivňujeme-li amplitudu nosné vlny, bude modulace amplitudová. Jestliže budeme modulačním napětím ovlivňovat frekvenci nosné vlny, bude se jednat o frekvenční modulaci. Budeme-li ovlivňovat fázi nosné vlny, bude se jednat o modulaci fázovou. Díky využití principů modulace je potom možné přenášet ve vhodném rádiovém prostředí, na nosných vlnách s různými kmitočty, velké množství zcela nezávislých modulačních signálů.

V současnosti se v rádiové komunikaci používají různé druhy modulací. Základní rozdělení modulací je uvedeno na následujícím obrázku.



Obr. 3.1 Přehled základních modulačních způsobů používaných v rádiové komunikaci

Vývojově nejstarší systémy pro pozemní rádiovou komunikaci používaly pro přenos analogovou amplitudovou modulaci AM, k níž se později připojila analogová frekvenční modulace FM a fázová modulace PM. Modulace AM a její varianty se v současné době uplatňují už jen u starších jednodušších systémů, jako je například rozhlas AM. Naproti tomu modulace FM stále ještě nachází využití i v náročnějších aplikacích, mezi něž náleží stereofonní rozhlas FM, systémy analogové družicové televize ap. [3]

U analogových modulací se používá sinusová nosná vlna a analogový modulační signál. Oba tyto průběhy jsou spojitě v čase, v amplitudě, a také ve frekvenci resp. ve fázi. V rádiové komunikaci, jakož i v komunikaci uskutečňované jinými přenosovými prostředky, se však při přenosu informace uplatňují rovněž diskrétní modulace. Jejich výsledkem jsou potom signály, které jsou nespojitě buď v čase, nebo v amplitudě, nebo ve frekvenci resp. fázi, případně jsou nespojitě současně v několika z uvedených parametrů. [1]

Diskrétní modulace byly realizovány nejprve v základním frekvenčním pásmu. U těchto modulací se převádí analogový modulační signál, ležící v základním pásmu, na diskrétní (impulzový) signál, který je rovněž situován do základního pásma. Podle

některých pramenů by měl být takový proces označován spíše jako kódování, neboť modulace je obvykle spojována s transformací signálu ze základního pásma do pásma rádiového. V ustálené terminologii se však používá pojem „modulace“ i pro zmíněné převody analogových signálů na diskrétní v rámci základního pásma. Diskrétní signály základního pásma se nejčastěji přenášejí metalickými spoji a v posledních letech potom také spoji optickými. Mají-li být tyto signály přenášeny rádiovým kanálem, je nutné je nejprve namodulovat na vysokofrekvenční nebo mikrovlnnou nosnou vlnu. Tímto způsobem vznikají diskrétní modulace s nosnými vlnami. [1] Diskrétní modulace s nosnými vlnami nazýváme digitálními modulacemi.

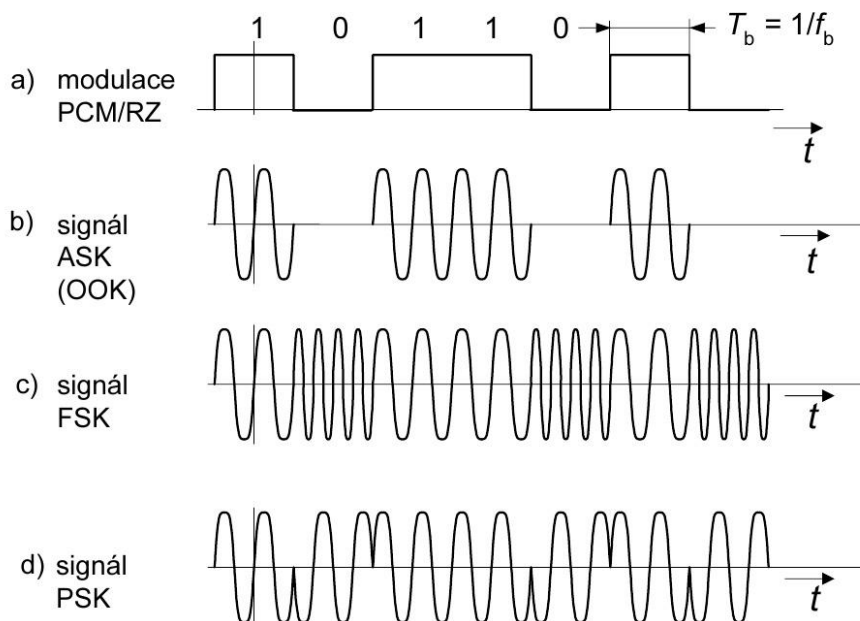
3.2 Rozdělení digitálních modulací

Digitální modulace vznikají tak, že u vysokofrekvenční nebo mikrovlnné sinusové nosné vlny dochází k ovlivňování některého parametru v závislosti na okamžité hodnotě modulačního signálu. Modulovat lze tři parametry nosné vlny, a to amplitudu, frekvenci nebo fázi. U digitálních radiokomunikačních systémů je modulačním signálem digitální signál, který může nabývat pouze dvou různých hodnot, a to modulační bit 1 a modulační byt 0. Proto se podle okamžité hodnoty digitálního modulačního signálu mění parametry nosné vlny skokově.

Podle toho, který parametr nosné vlny je ovlivňován, rozeznáváme tři základní typy digitálních modulací:

- modulace ASK (Amplitude Shift Keying) - modulace s klíčováním amplitudy (klíčování amplitudovým posuvem, zdvihem) nemá ve své základní podobě výhodné vlastnosti, a proto se téměř nepoužívá,
- modulace FSK (Frequency Shift Keying) - modulace s klíčováním frekvence (klíčování frekvenčním posuvem, zdvihem),
- modulace PSK (Phase Shift Keying) - modulace s klíčováním fáze (klíčování fázovým posuvem, zdvihem).

Tři základní typy dvojstavových digitálních modulací jsou znázorněny na následujícím obrázku.



Obr. 3.2 Tři základní varianty dvojestavových digitálních modulací: a) binární modulační signál typu PCM/RZ; b) signál ASK s klíčováním amplitudy; c) signál FSK s klíčováním frekvence; d) signál PSK s klíčováním fáze. [1]

U dvojestavových modulací odpovídá každý modulační stav modulované nosné vlny jedinému bitu modulačního signálu. Snaha o zvětšení přenosové kapacity digitálních modulací však vedla k rychlému rozvoji vícečetných diskretních modulací, u nichž každý signálový prvek (stav) modulované nosné vlny přenáší nejméně dva, nebo i více bitů. [3]

Vývojově mladší kategorii digitálních modulací představují M-stavové modulace se současným klíčováním amplitudy a fáze nosné vlny, značené původně symbolem M-ASK/PSK, jejich novější variantou jsou M-stavové kvadraturní amplitudové modulace M-QAM (M-ary Quadrature Amplitude Modulation). [3]

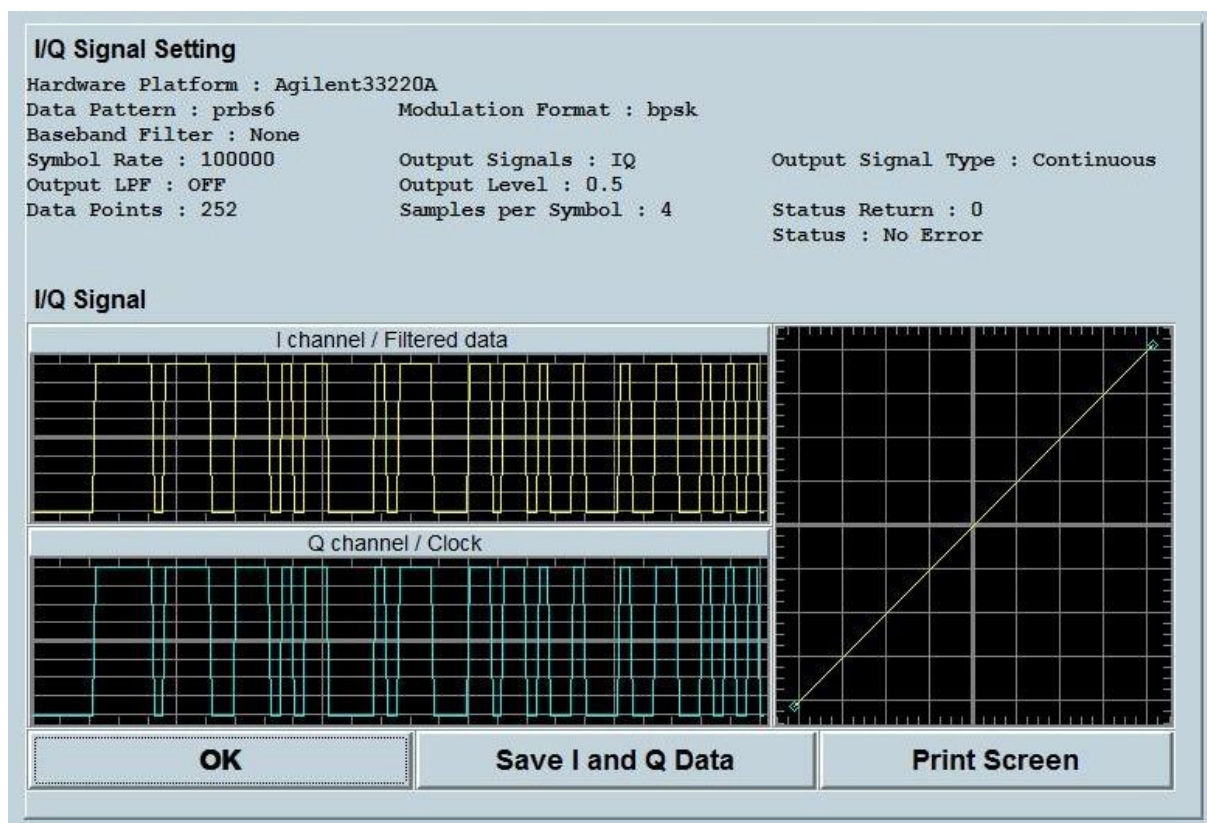
3.3 IQ složky digitálních modulací

Signály s digitálními modulacemi je možné graficky zobrazit v rovině IQ jednak v podobě konstelačních diagramů, jednak ve formě vektorových diagramů.

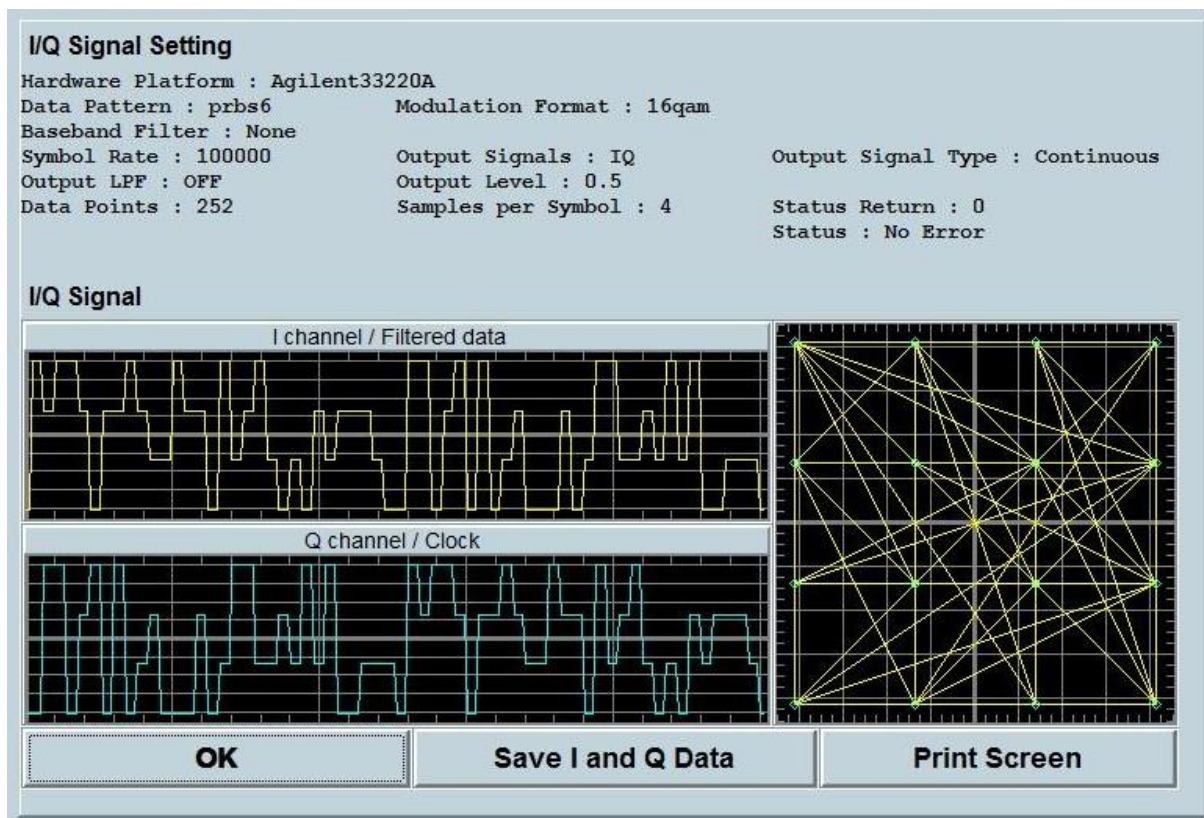
Fázi signálu je obvyklé a názorné vyjadřovat pomocí fázorového diagramu známého pod názvem konstelační diagram. Každou fází lze rozložit do složek

kosinus (I, InPhase) a složek sinus (Q, Quadrature). Modulovaný signál lze pak zapsat obvyklým způsobem

$$f(t) = I \cos \omega_c t + Q \sin \omega_c t . \quad (3.1)$$



Obr. 3.3 Příklad IQ složek digitální modulace BPSK a zobrazení v rovině IQ

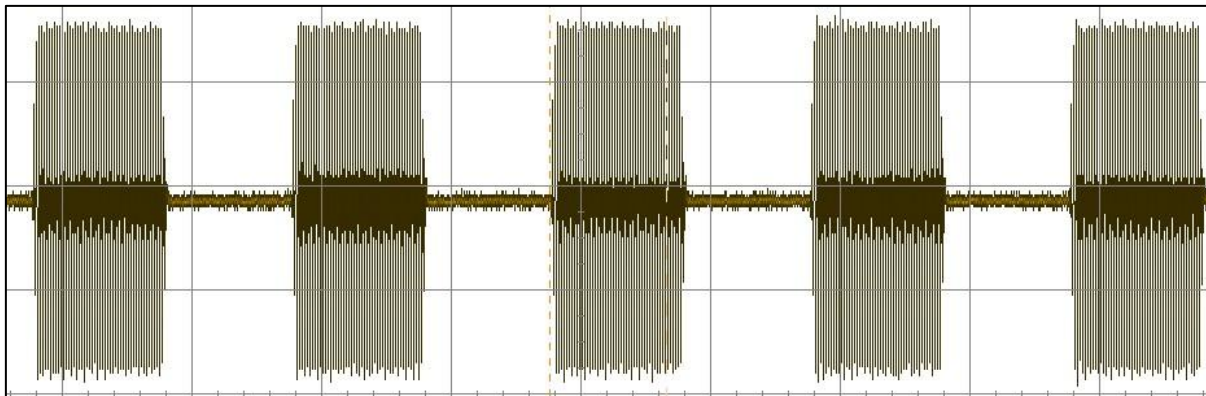


Obr. 3.4 Příklad IQ složek digitální modulace 16-QAM a zobrazení v rovině IQ

3.4 Modulace ASK

Modulace ASK (Amplitude Shift Keying) je modulace s klíčováním amplitudy (klíčování amplitudovým posuvem, zdvihem), modulace nemá ve své základní podobě výhodné vlastnosti, proto se téměř nepoužívá. Z tohoto důvodu dále bude krátce zmíněn pouze základní teoretický popis dvoustavové a vícestavové ASK.

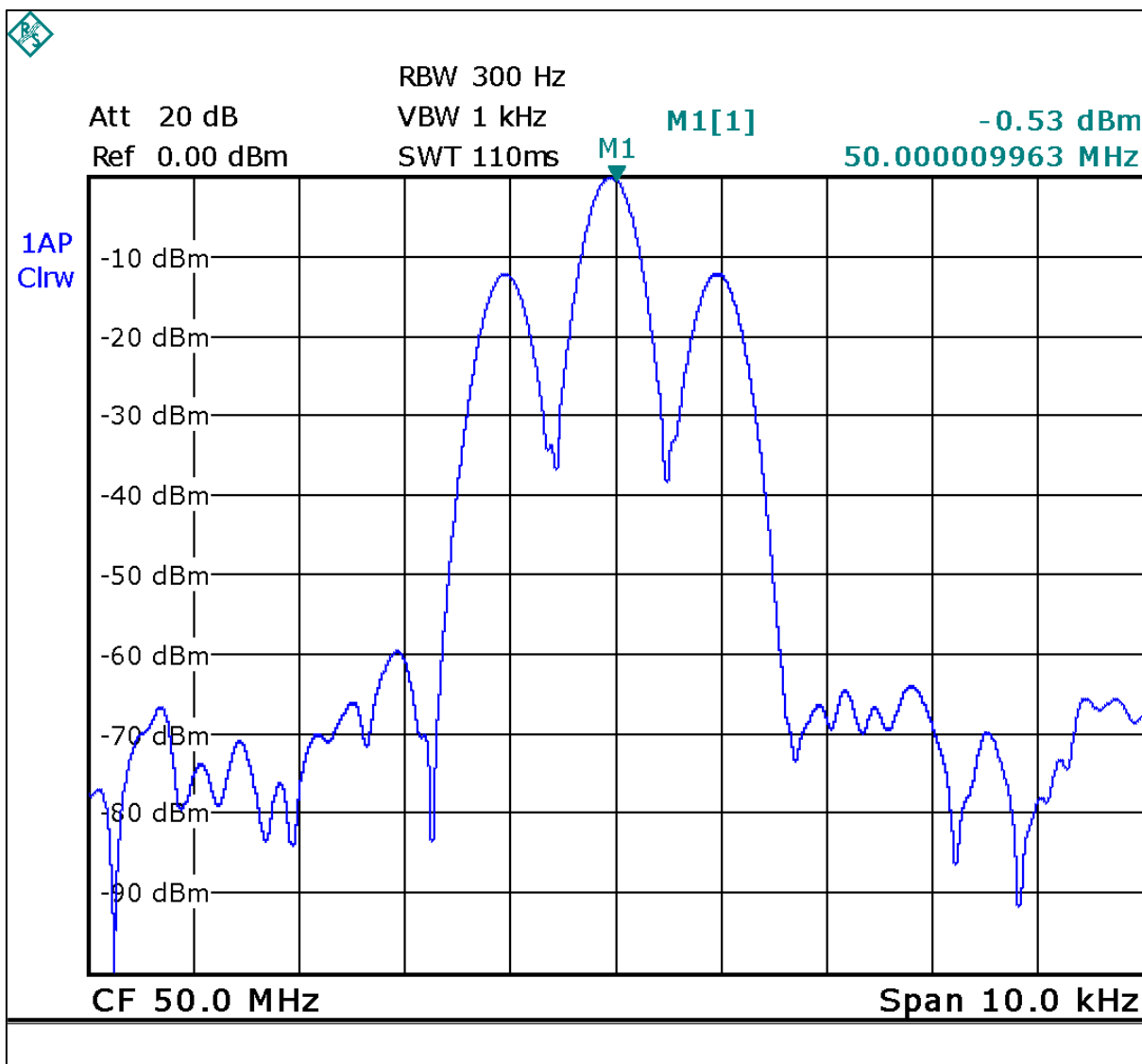
U dvoustavové ASK má amplituda nosné vlny dva stavy, a to buď zapnuto (maximální amplituda nosné vlny) nebo vypnuto (neboli nulové napětí). Maximální amplituda nosné vlny představuje logickou úroveň 1 a ve stavu vypnuto logickou úroveň 0.



Obr. 3.5 Průběh dvoustavové modulace ASK v časové oblasti

Realizovat lze také vícestavové modulace ASK. Například u čtyřstavové ASK amplituda nosné vlny nabývá čtyř různých stavů. Jednotlivé stavy odpovídají dvoubitovým kombinacím. Mezní amplitudy jsou i v tomto případě nulové napětí a maximální napětí nosné vlny. Nosná vlna nabývá ještě dvou dalších stavů s úrovněmi mezi maximální a nulovou hodnotou amplitudy nosné vlny. Nulové napětí představuje dvoubitovou kombinaci 00, větší úroveň představuje logickou hodnotu 01, ještě vyšší úroveň logickou hodnotu 10 a maximální úroveň logickou hodnotu 11. Úrovně amplitud nosné vlny jsou rozdělené s rovnoměrným odstupem, a to kvůli co nejlepší detekci na straně přijímače.

Modulace ASK se v praxi využívá u jednoduchých rádiových spojů pro přenos dat na krátké vzdálenosti.



Obr. 3.6 Spektrum (obálka) dvoustavové modulace ASK ve frekvenční oblasti, nosná vlna 50 MHz

3.5 Modulace PSK

Modulace PSK (Phase Shift Keying) je modulace s klíčováním fáze (klíčování fázovým posuvem, zdvihem).

Nejjednodušší dvoustavová modulace BPSK, s pravouhlými polárními modulačními impulzy o době trvání T_b , nabývá fáze dva diskrétní stavy, například 0° a 180° . Příslušné dva signálové prvky modulované vlny lze popsat vztahy v časové oblasti

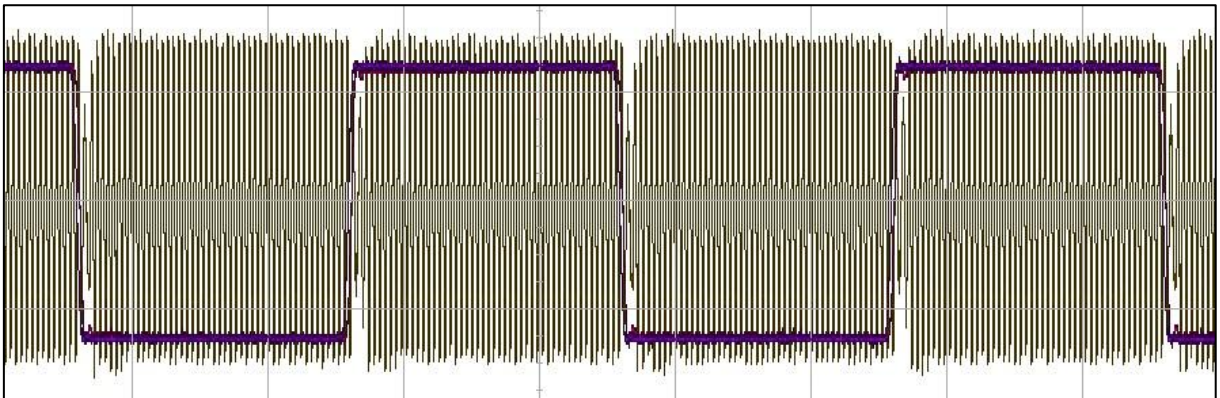
$$s_{BPSK}(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_c t), \text{ pro } 0 \leq t \leq T_b \text{ (binární 1)}, \quad (3.2)$$

$$s_{BPSK}(t) = -\sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_c t), \text{ pro } 0 \leq t \leq T_b \text{ (binární 0),} \quad (3.3)$$

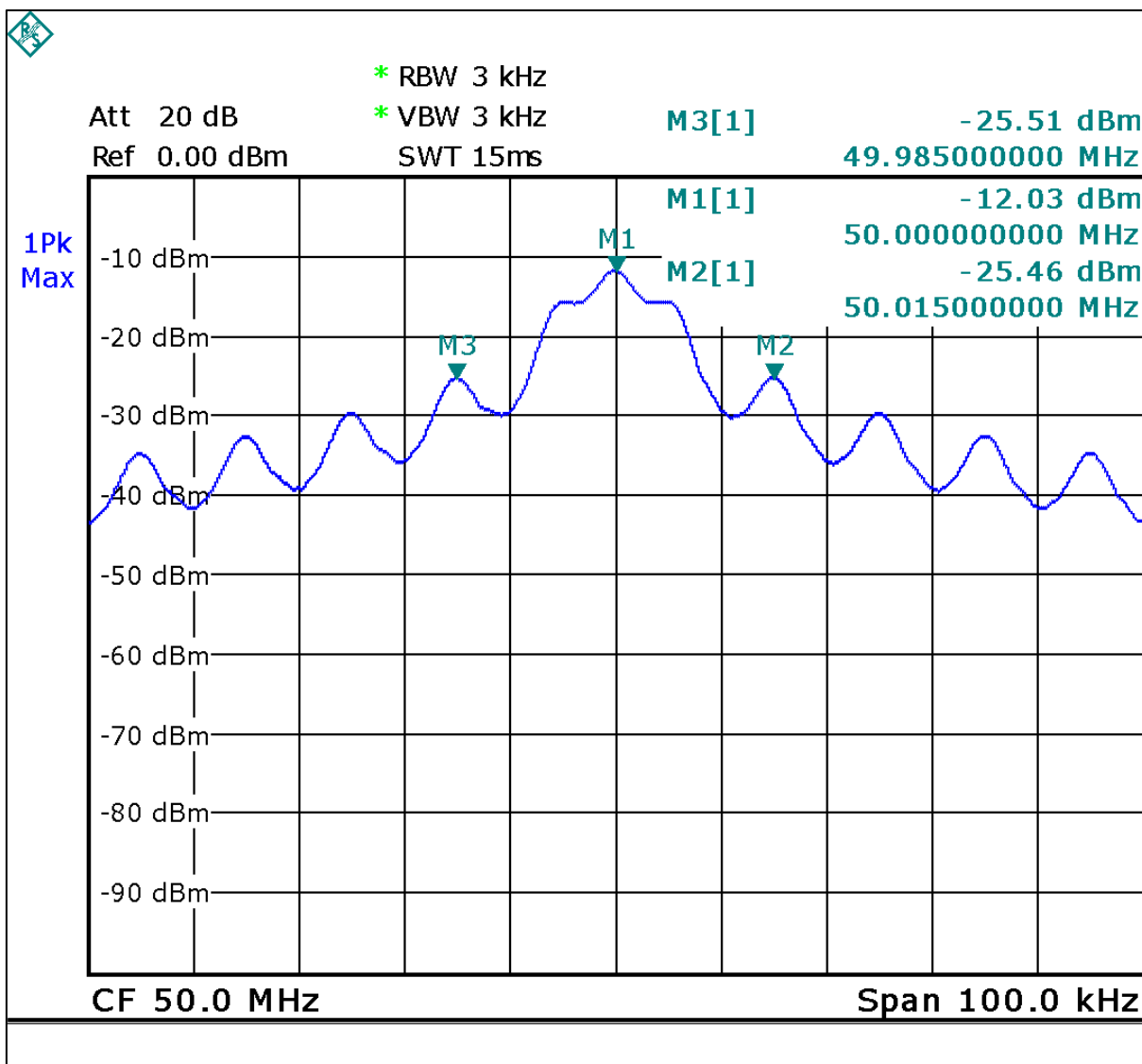
kde amplituda modulované vlny je

$$A_c = \sqrt{2E_b / T_b}, \quad (3.4)$$

E_b je střední energie modulovaného signálu na 1 modulační bit a T_b je bitová perioda.



Obr. 3.7 Průběh dvoustavové modulace PSK v časové oblasti



Obr. 3.8 Spektrum (obálka) dvoustavové modulace PSK ve frekvenční oblasti, nosná vlna 50 MHz

Modulace MPSK (M-ary Phase Shift Keying) má konstantní amplitudu nosné vlny se změnou M možných fázových stavů. Každý z těchto stavů obsahuje informaci o $n = \log_2 M$ bitech. Signál MPSK je v časové oblasti dán vztahem

$$s_{MPSK}(t) = \sqrt{\frac{2E_s}{T_s}} \cos\left[2\pi f_c t + (i-1)\frac{2\pi}{M}\right], \text{ pro } 0 \leq t \leq T_s, i = 1, 2, \dots, M,$$

(3.5)

kde střední energie na jeden symbol je dána vztahem

$$E_s = (\log_2 M)E_b \text{ [J]}. \quad (3.6)$$

E_b je střední energie modulovaného signálu na 1 modulační bit a T_b je bitová perioda. Symbolová perioda je dána vztahem

$$T_s = (\log_2 M)T_b \text{ [s]}. \quad (3.7)$$

Modulace QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) neboli čtyřstavové fázové klíčování, je považována za výhodný kompromis mezi dobrou spektrální a energetickou účinností. Nosná vlna s konstantní amplitudou může zaujímat čtyři fázové stavy, 0° , 90° , 180° a 270° nebo 45° , 135° , 225° a 315° . Každému stavu fáze odpovídá jedna bitová dvojice. Signál QPSK v časové oblasti při pravoúhlém modulačním signálu je dán vztahem

$$s_{QPSK}(t) = \sqrt{\frac{2E_s}{T_s}} \cos\left[2\pi f_c t + (2i - 1)\frac{\pi}{4}\right], \text{ pro } 0 \leq t \leq T_s, i = 1, 2, 3, 4, \quad (3.8)$$

kde střední energie na jeden symbol je dána vztahem

$$E_s = (\log_2 M)E_b = 2E_b \text{ [J]}. \quad (3.9)$$

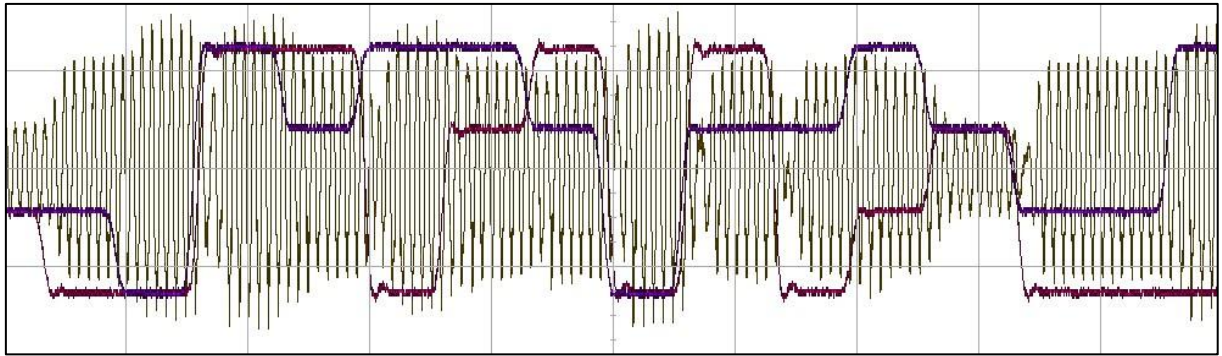
a symbolová perioda je dána vztahem

$$T_s = (\log_2 M)T_b = 2T_b \text{ [s]}. \quad (3.10)$$

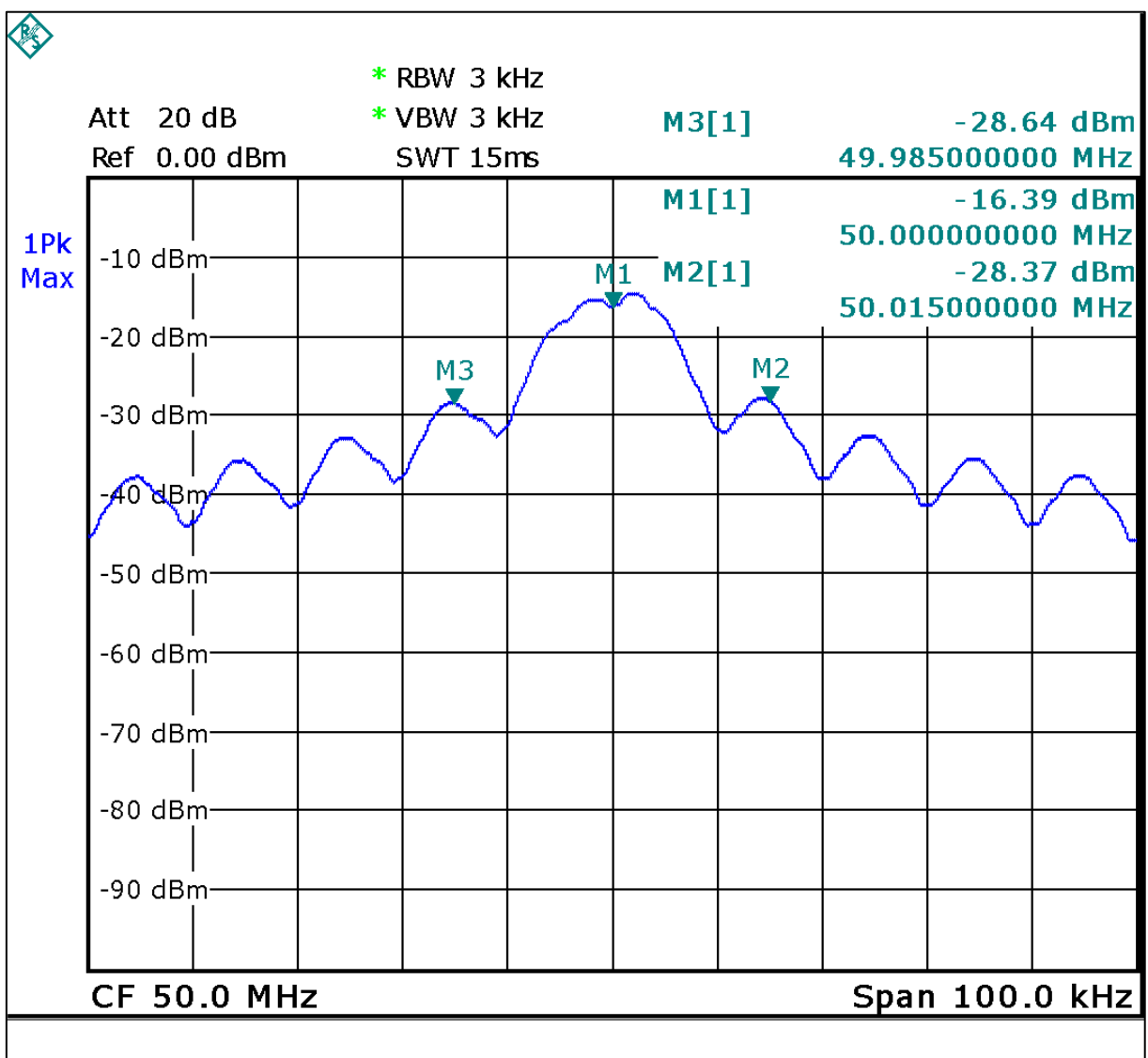
Modulace BPSK se v praxi využívá u technologie GPS a Wi-Fi. Modulace QPSK se využívá například u technologie Bluetooth, Wi-Fi a u pozemního digitálního televizního vysílání DVB-T. Modulace 8-PSK se používá u technologie GSM-Edge.

3.6 Modulace M-QAM

U kvadraturních amplitudových modulací QAM (Quadrature Amplitude Modulation), se modulačním signálem ovlivňuje amplituda a fáze nosné vlny. Jedná se tedy o modulaci s proměnnou obálkou.



Obr. 3.9 Průběh modulace 16-QAM v časové oblasti



Obr. 3.10 Spektrum (obálka) modulace 16-QAM ve frekvenční oblasti, nosná vlna 50 MHz

U M -stavových modulací QAM se sdružují dva nebo více modulačních bitů do n -bitových kódových skupin tj. symbolů, přičemž $M = 2^n$. [3] Tyto symboly jsou

vysílány ve formě signálových prvků $s_1(t), s_2(t), \dots, s_M(t)$, které mají dobu trvání tj. symbolovou periodu T_s , a jsou vyjádřeny obecným vztahem

$$s_{MQAM}(t) = \sqrt{\frac{2E_{\min}}{T_s}} a_i \cos(2\pi f_c t) + \sqrt{\frac{2E_{\min}}{T_s}} b_i \sin(2\pi f_c t),$$

$$\text{pro } 0 \leq t \leq T_s, i = 1, 2, \dots, M, \quad (3.11)$$

kde a_i, b_i jsou páry nezávislých celých čísel, odpovídajících poloze jednotlivých bodů konstelačního diagramu a E_{\min} je střední energie signálového prvku s nejmenší amplitudou. [3]

V praxi se modulace 16-QAM až 256-QAM používá například u technologie Wi-Fi, u pozemního digitálního televizního vysílání DVB-T a DVB-C.

3.7 Modulace FSK

Modulace FSK (Frequency Shift Keying) je modulace s klíčováním frekvence (klíčování frekvenčním posuvem, zdvihem).

U dvoustavové modulace s frekvenčním klíčováním 2FSK má nosná vlna konstantní amplitudu. Její frekvence se mění v rytmu digitálního binárního modulačního signálu mezi dvěma signalizačními frekvencemi $f_1 = f_c - \Delta f$ a $f_2 = f_c + \Delta f$, kde $f_c = (f_1 + f_2) / 2$ je nominální frekvence nedomulované nosné vlny a Δf je frekvenční zdvih (deviace, ofset), tj. odchylka signalizační frekvence od frekvence nosné vlny. [3] Modulovaný signál lze obecně vyjádřit vztahy

$$s_{FSK}(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos[2\pi(f_c + \Delta f)t], \text{ pro } 0 \leq t \leq T_b \text{ (binární 1),} \quad (3.12)$$

$$s_{FSK}(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos[2\pi(f_c - \Delta f)t], \text{ pro } 0 \leq t \leq T_b \text{ (binární 0),} \quad (3.13)$$

kde amplituda modulované vlny je

$$A_c = \sqrt{2E_b / T_b}, \quad (3.14)$$

E_b je energie modulovaného signálu na 1 modulační bit a T_b je bitová perioda. Šířka pásma signálu 2FSK je přibližně dána Carsonovým vzorcem, který lze vyjádřit ve tvaru

$$B_{2FSK} \approx 2(B_m + \Delta f) \text{ [Hz]}, \quad (3.15)$$

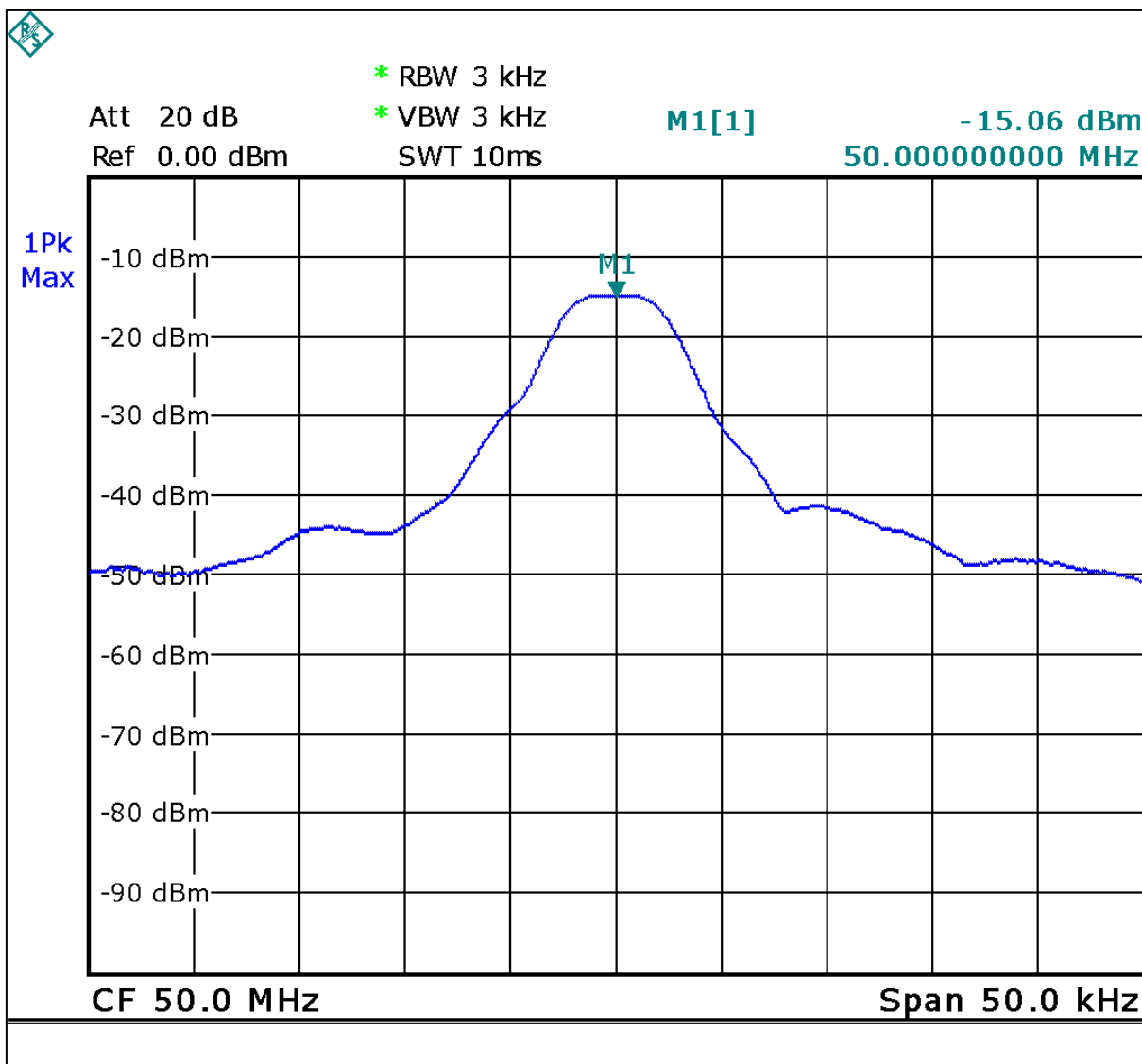
kde B_m je šířka pásma modulačního signálu v základním pásmu.

U vícecestavových modulací MFSK nosná vlna zaujímá vždy jednu z M signalizačních frekvencí, přičemž každé z nich je přiřazena bitová skupina o $n = \log_2 M$ bitech. [3] Zvolené signalizační frekvence mají vzájemný odstup $1 / 2 T_s$ a vysílané signály mají stejnou dobu trvání tj. symbolovou periodu T_s a stejnou energii. Časový průběh takto koncipovaných signálů MFSK je dán vztahem

$$s_{MFSK}(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos \left[\frac{\pi}{T_s} (n_c + i)t \right], \text{ pro } 0 \leq t \leq T_s, i = 1, 2, \dots, M, \quad (3.16)$$

přičemž n_c je určité fixní celé číslo, určující frekvenci nosné vlny $f_c = n_c / 2 T_s$. Signálové prvky předchozího průběhu tvoří ortogonální soustavu.

Dvoustavová modulace FSK se v praxi využívá jako velice bezpečná metoda přenosu, nevýhodou je vyšší energetická náročnost a pomalejší datový přenos. Modulace FSK se používá například pro bezšňůrové telefony nebo paging, případně pro mobilní data.



Obr. 3.11 Spektrum (obálka) dvoustavové modulace FSK ve frekvenční oblasti, nosná vlna 50 MHz

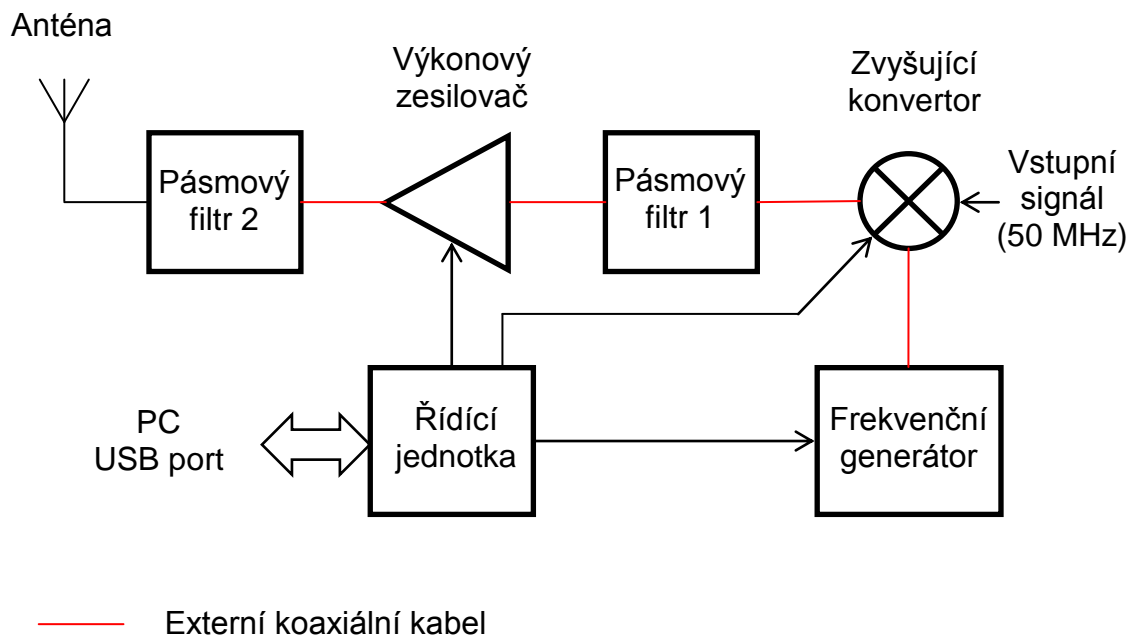
4 KOMPONENTY RÁDIOVÉHO SYSTÉMU PRO MĚŘENÍ PŘENOSOVÝCH CHARAKTERISTIK

4.1 Vysílač ME1000 (TX)

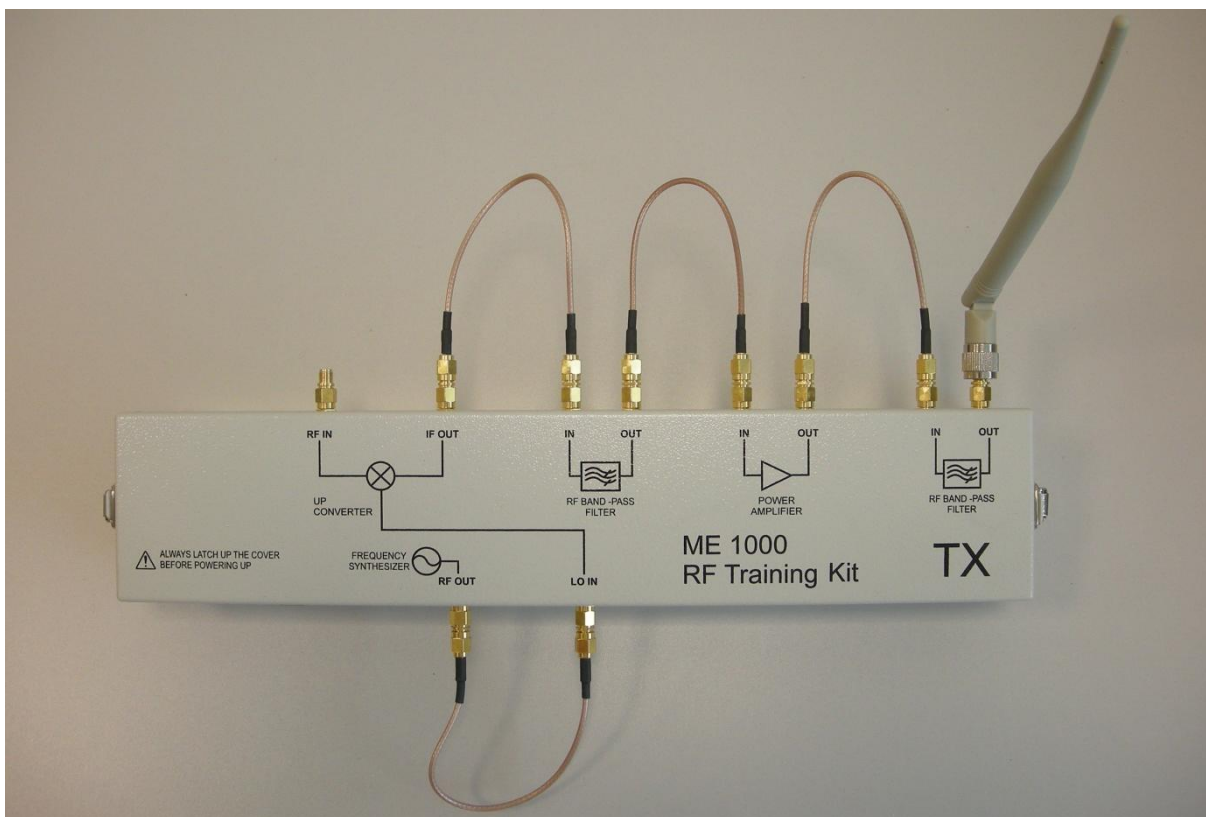
Vysílač obsahuje základní bloky:

- frekvenční generátor,
- 2x pásmový filtr,
- zvyšovací konvertor,
- výkonový zesilovač,
- řídicí jednotku.

Blokové schéma vysílače je uvedeno níže. Vysílač přijímá modulovaný 50 MHz střední kmitočet s maximální šířkou pásma 1 MHz. Ten je pak převeden do pásma 868 MHz zvyšovacím konvertorem. Pásmové filtry potlačují nežádoucí frekvenční složky napájení. Zesilovač zesiluje signál maximálně na 1 mW (do 50 Ω zátěže) před tím, než je přiveden k anténě. Výkonový zesilovač, zvyšovací konvertor a frekvenční generátor, jsou řízeny řídicí jednotkou. Řídicí jednotka přijímá příkazy z osobního počítače přes univerzální sériovou sběrnici (USB). Aplikace spuštěná v osobním počítači odesílá příslušné příkazy do řídicí jednotky vysílače.



Obr. 4.1 Blokové schéma vysílače (TX)



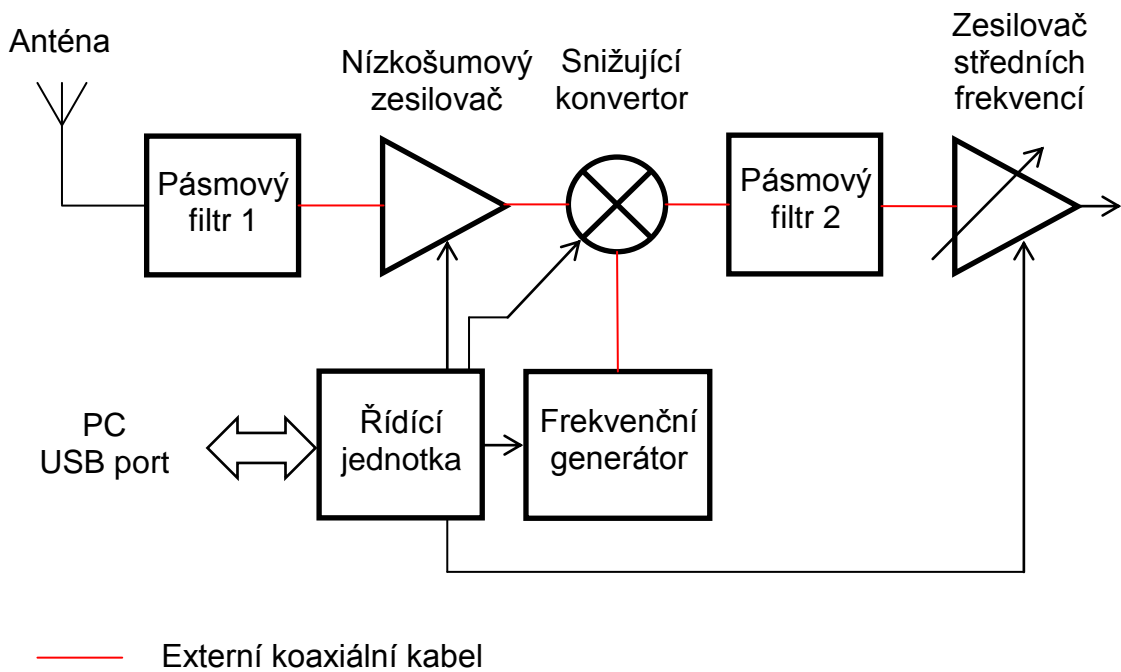
Obr. 4.2 Vysílač (TX)

4.2 Přijímač ME1000 (RX)

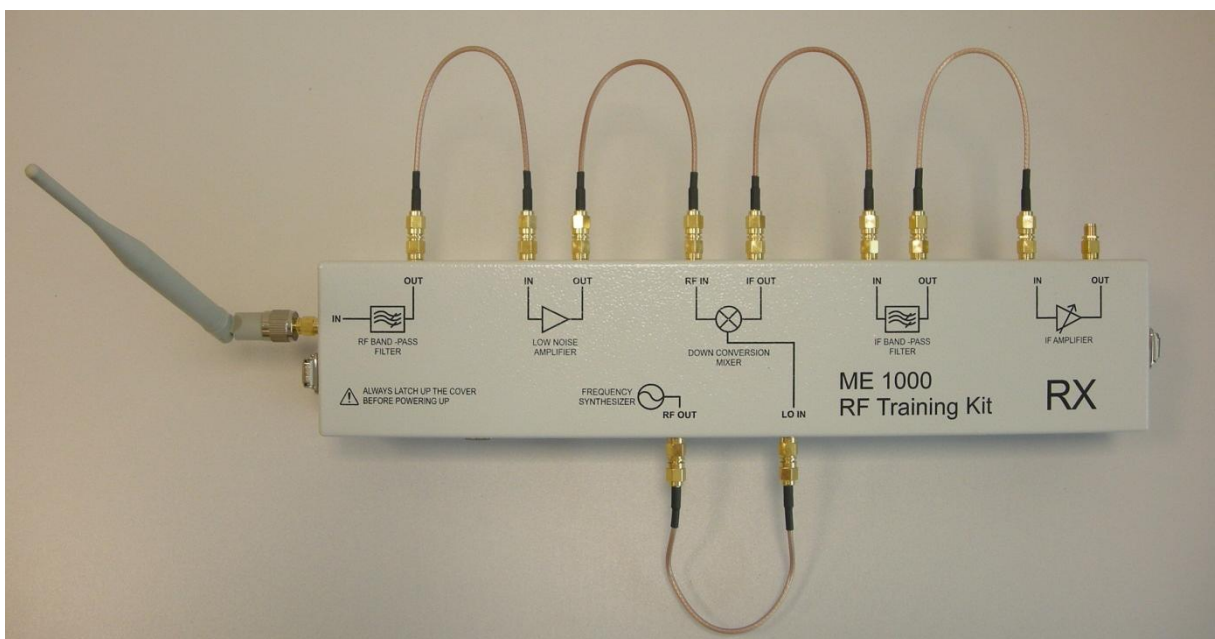
Přijímač obsahuje základní bloky:

- frekvenční generátor,
- 2x pásmový filtr,
- snižující konvertor,
- nízkošumový zesilovač,
- zesilovač středních frekvencí,
- řídicí jednotku.

Blokové schéma přijímače je uvedeno níže. Anténa přijímače přijímá modulovaný 868 MHz signál s maximální šířkou pásma 1 MHz. Signál je zesílen nízkošumovým zesilovačem a následně převeden na 50 MHz snižujícím konvertorem. Zesilovač středních frekvencí poskytuje další zesílení signálu na maximálně 3 mW (do 50 Ω zátěže). Pásmové filtry potlačují nežádoucí frekvenční složky. Nízkošumový zesilovač, snižující konvertor, frekvenční generátor a zesilovač středních frekvencí, jsou řízeny řídicí jednotkou. Řídicí jednotka přijímá příkazy z osobního počítače přes univerzální sériovou sběrnici (USB). Aplikace spuštěná v osobním počítači posílá příslušné příkazy do řídicí jednotky přijímače.

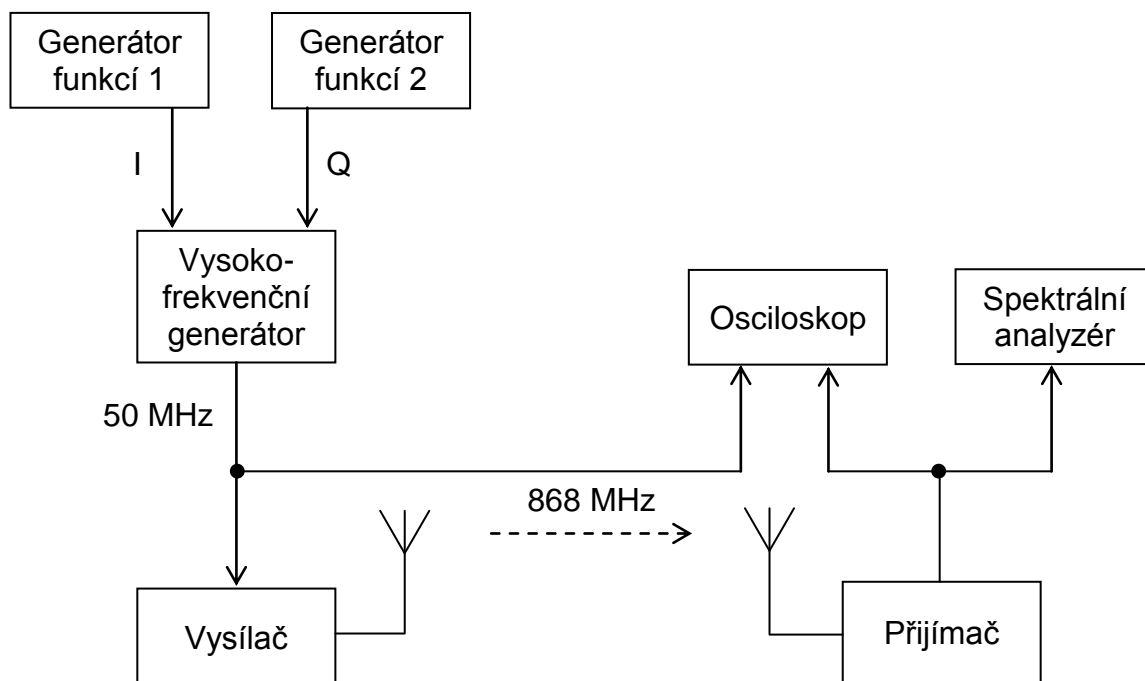


Obr. 4.3 Blokové schéma přijímače (RX)



Obr. 4.4 Přijímač (RX)

4.3 Návrh měřicího řetězce



Obr. 4.5 Blokové schéma návrhu měřicího řetězce

5 POPIS LABORATORNÍHO PRACOVISTĚ

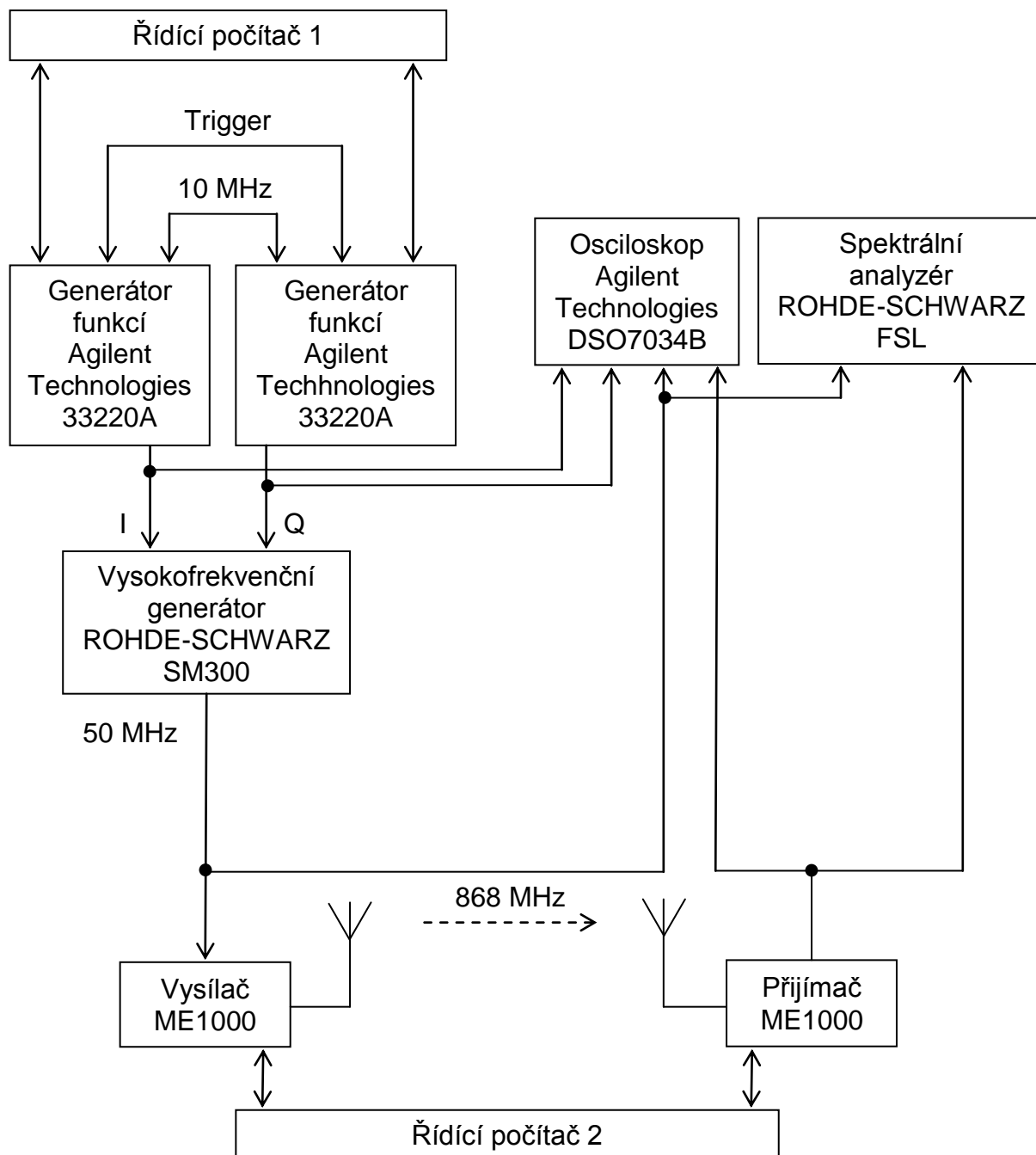
5.1 Reálný měřicí řetězec

Laboratorní pracoviště se skládá z následujících zařízení a softwaru:

- 1x ME1000 vysílač (TX),
- 1x ME1000 přijímač (RX),
- 2x osobní počítač s operačním systémem Microsoft Windows 2000/XP/Vista s minimální operační pamětí 512 MB RAM,
- 2x Agilent 33220A funkční generátor 20 MHz,
- 1x ROHDE-SCHWARZ SM300 vysokofrekvenční generátor 9 kHz – 3 GHz,
- 1x Agilent Technologies DSO7034B osciloskop 350 MHz,
- 1x ROHDE-SCHWARZ FSL spektrální analyzátor 9 kHz – 3 GHz,
- software Agilent Technologies U1035A IQ Signal Generator,
- software Agilent Technologies VEE verze 7.5 nebo vyšší,
- software Agilent Technologies RF Trainer Control Panel,
- software Agilent Technologies Connection Expert.

Blokové schéma reálného měřicího řetězce je uvedeno níže. Řídící počítač 1 za pomoci softwaru Agilent Technologies U1035A IQ Signal Generator komunikuje s dvěma Agilent Technologies 33220A funkčními generátory přes USB porty. Tyto funkční generátory slouží ke generování IQ složek signálu digitálních modulací. IQ složky jsou modulovány na nosnou vlnu 50 MHz ve vysokofrekvenčním generátoru ROHDE-SCHWARZ SM300. Namodulovaný signál je veden na vstup vysílače ME1000, dále na vstup 1 osciloskopu Agilent Technologies DSO7034B k zobrazení v časové oblasti před vstupem do bezdrátového komunikačního kanálu a dále na vstup spektrálního analyzátoru ROHDE-SCHWARZ FSL k zobrazení spektra signálu. Z přijímače ME1000 je přenesený signál bezdrátovým komunikačním kanálem přiveden na vstup 2 osciloskopu Agilent Technologies DSO7034B k zobrazení v časové oblasti a dále na vstup spektrálního analyzátoru ROHDE-SCHWARZ FSL k zobrazení spektra signálu. Pro přehledné zobrazení signálu před i po přenesení bezdrátovým komunikačním kanálem v časové oblasti jsou přivedeny referenční složky IQ signálu na vstup 3 a 4 osciloskopu Agilent Technologies DSO7034B. Řídící

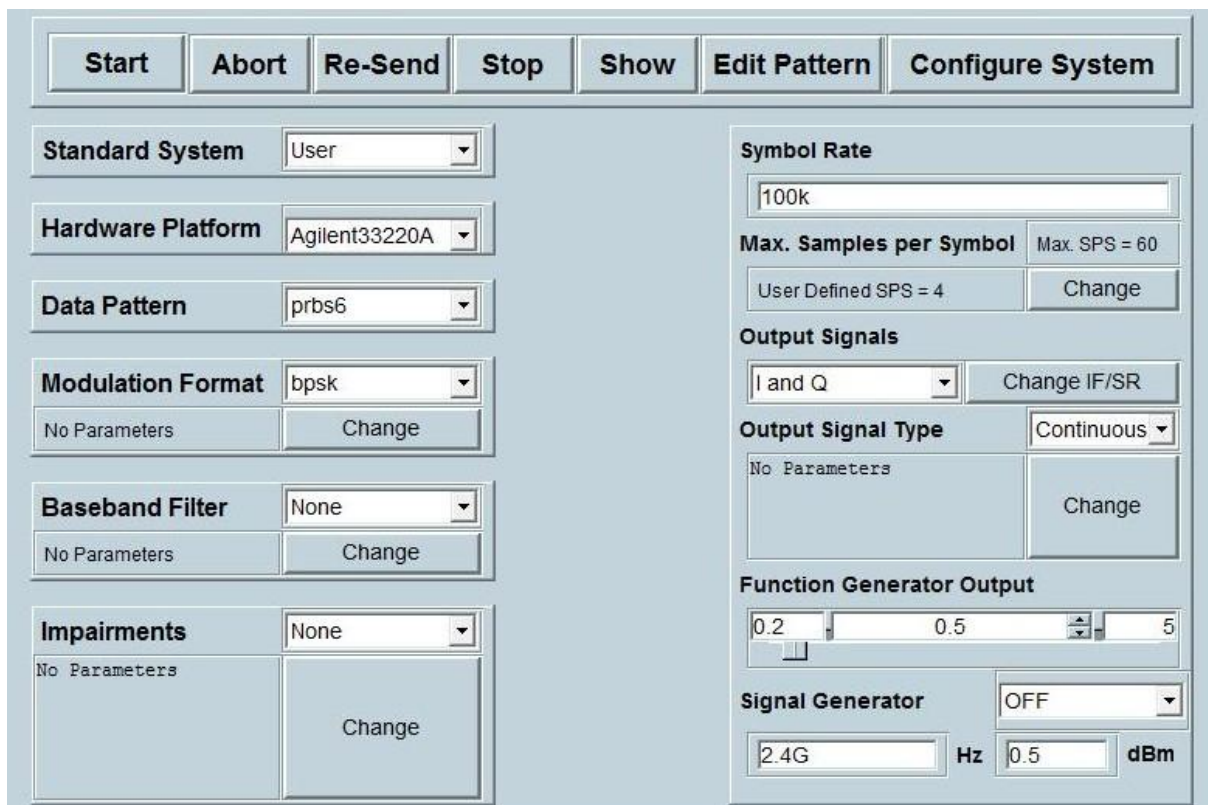
počítač 2 komunikuje s vysílačem ME1000 a přijímačem ME1000 pomocí USB portů, které slouží zároveň k jejich napájení.



Obr. 5.1 Blokové schéma reálného měřicího řetězce



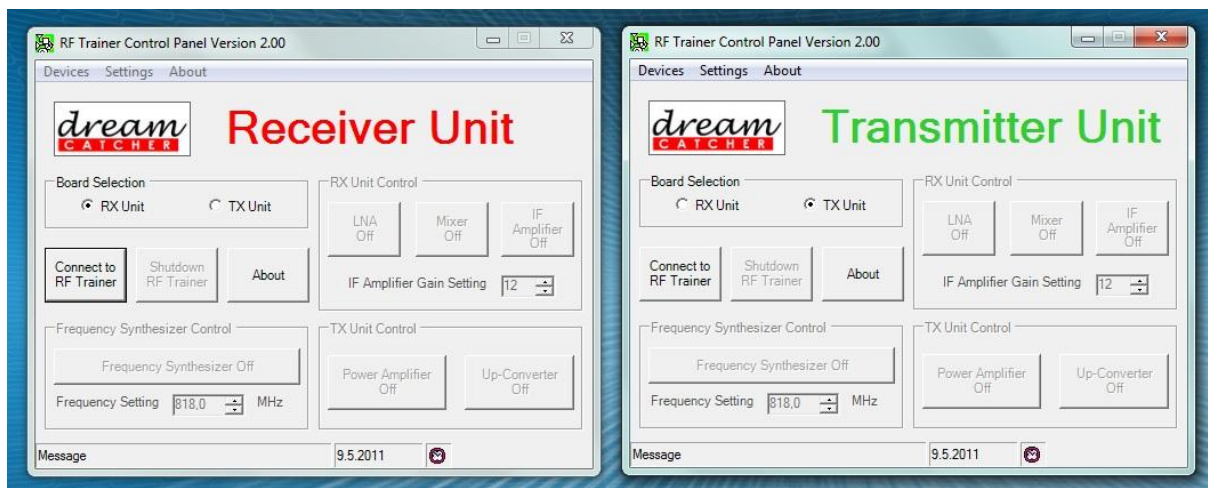
Obr. 5.2 Laboratorní pracoviště, část generování IQ složek signálu



Obr. 5.3 Software Agilent Technologies U1035A IQ Signal Generátor



Obr. 5.4 Laboratorní pracoviště, část modulace nosného signálu a vlastního přenosu signálu bezdrátovým komunikačním systémem

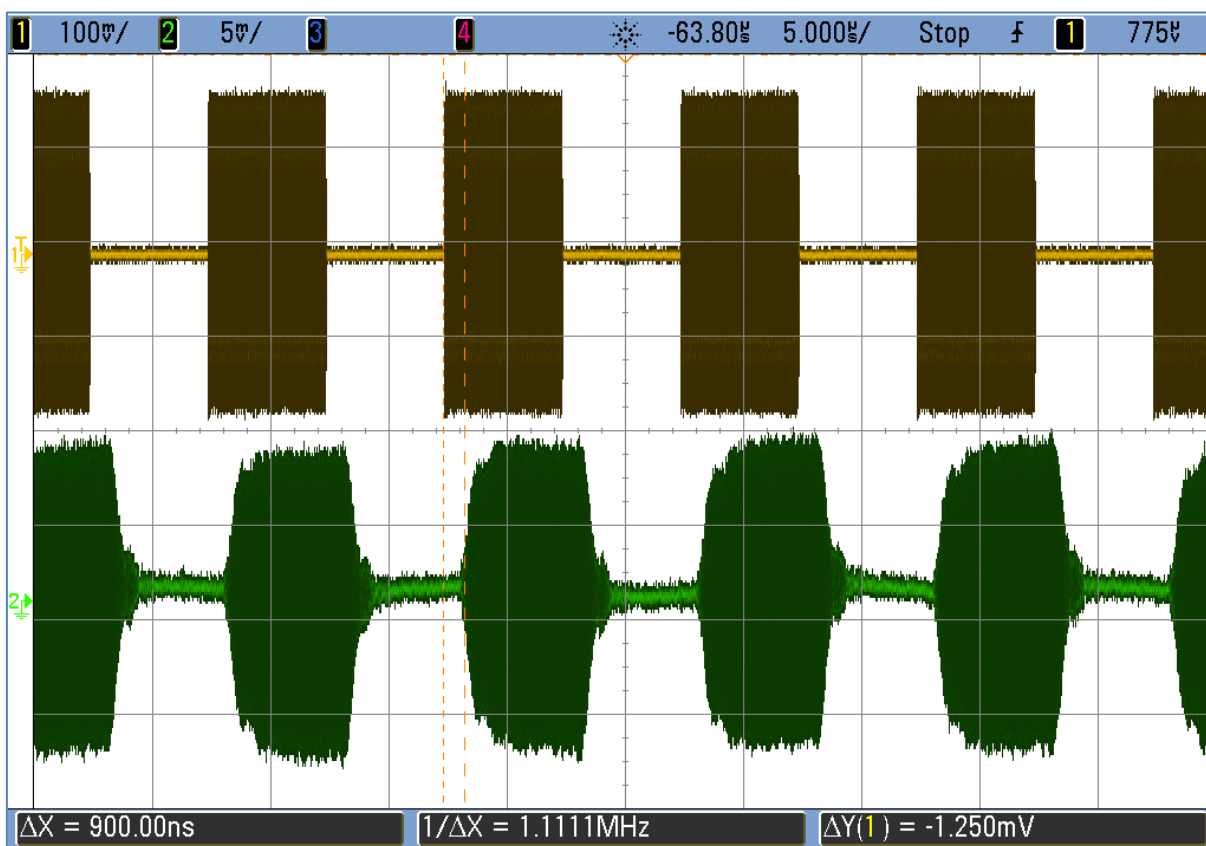


Obr. 5.5 Software Agilent Technologies RF Trainer Control Panel, který slouží ke komunikaci prostřednictvím USB portů s vysílačem ME1000 a přijímačem ME1000

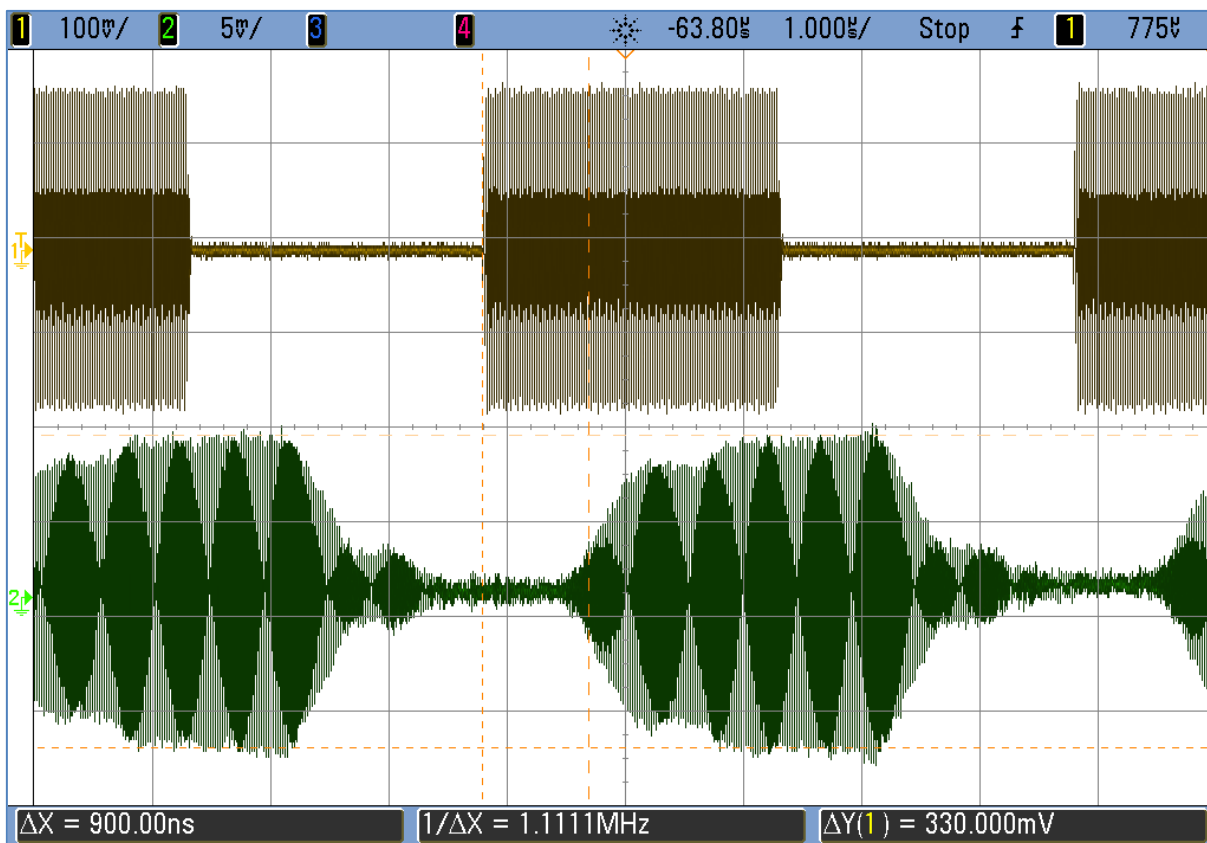
6 PŘENOS DATOVÝCH SIGNÁLŮ POMOCÍ DIGITÁLNÍCH MODULACÍ REÁLNÝM RÁDIOVÝM PROSTŘEDÍM

6.1 Přenos s modulací ASK

Přenos datových signálů pomocí dvoustavové digitální modulace ASK reálným rádiovým prostředím byl realizován pomocí generátoru funkcí Agilent 33220A. Generátorem funkcí byl generován obdélníkový signál o různých frekvencích do vstupu I složky modulátoru vysokofrekvenčního generátoru ROHDE-SCHWARZ SM300, Q složka modulátoru vysokofrekvenčního generátoru ROHDE-SCHWARZ SM300 byla uzemněna. Následující obrázky znázorňují průběh signálu v časové oblasti při symbolové rychlosti 100 kS/s, 200 kS/s, 500 kS/s a 2 MS/s. V horní polovině obrázku je znázorněn průběh signálu před rádiovým přenosem a v dolní polovině po rádiovém přenosu v pásmu 868 MHz. Nosný kmitočet je 50 MHz.

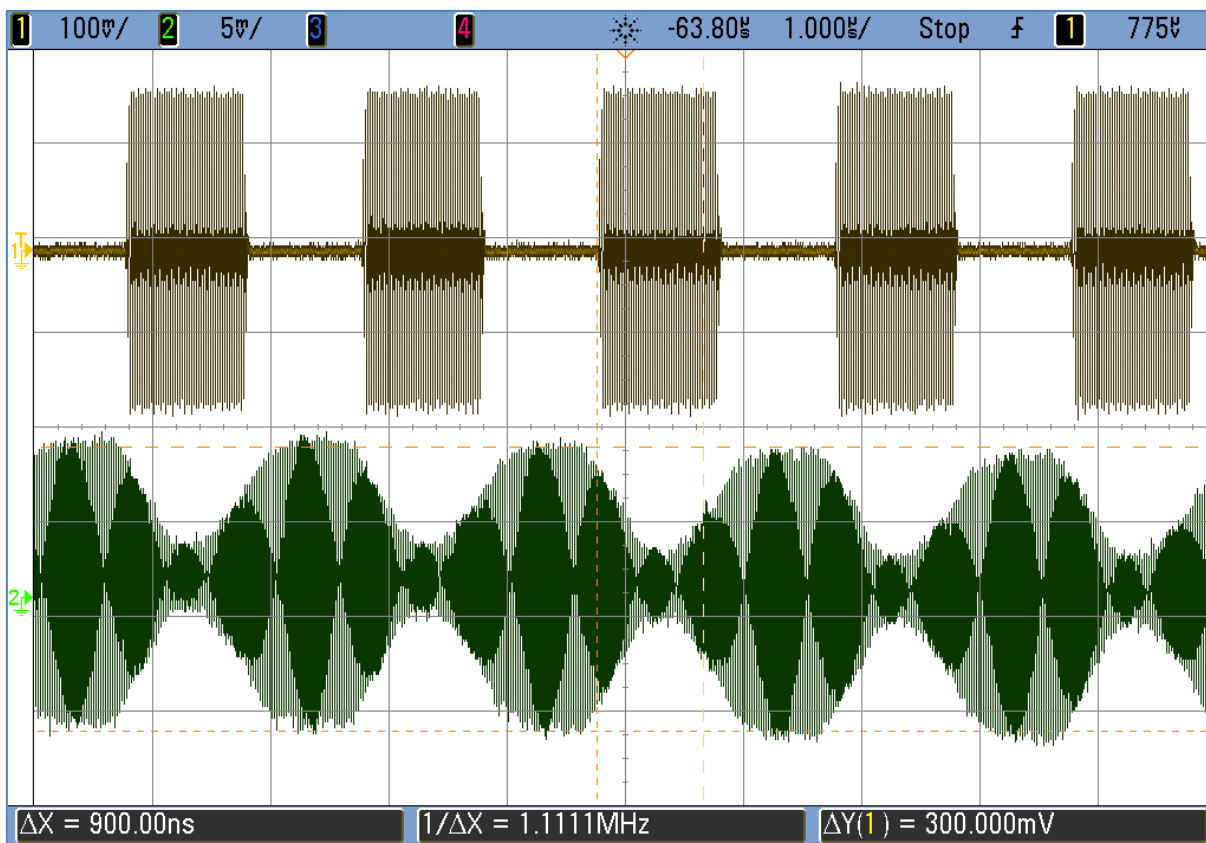


Obr. 6.1 Průběh signálu modulace ASK při modulační frekvenci 100 kS/s



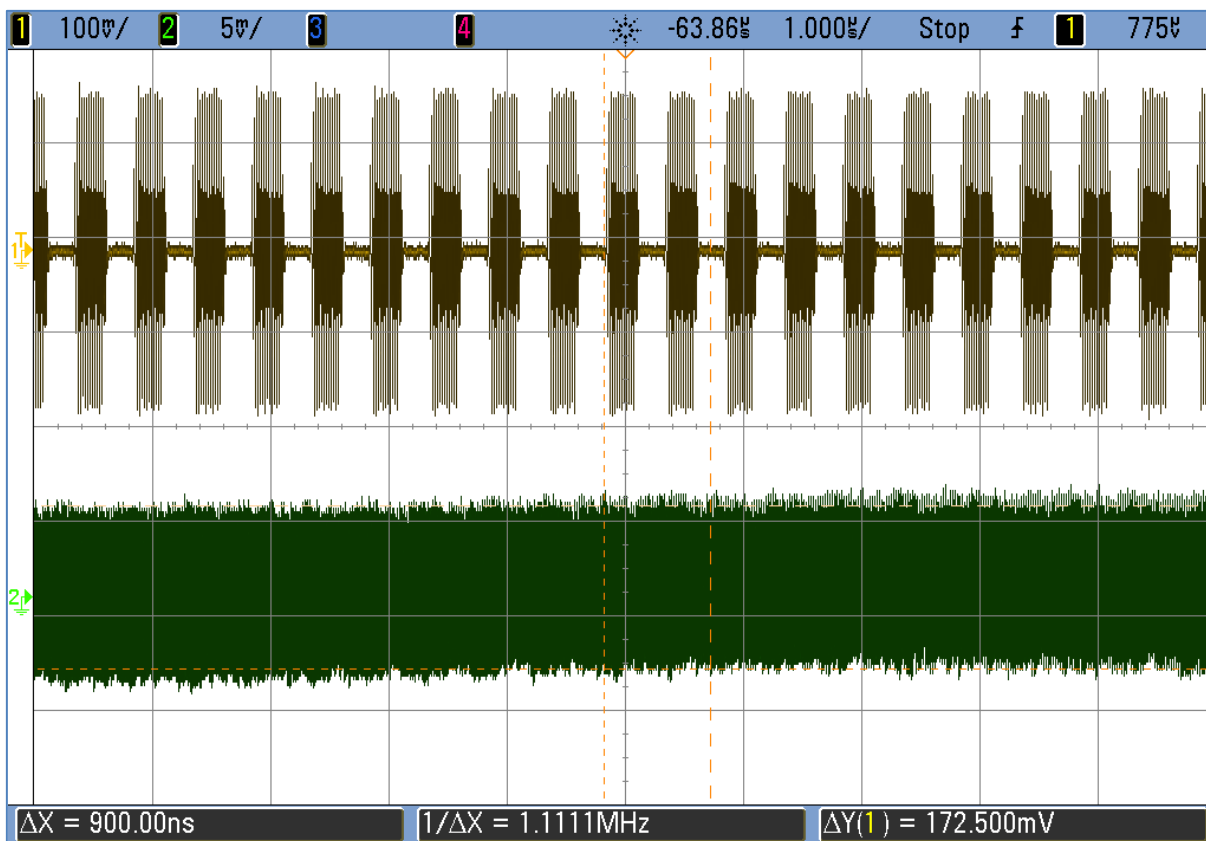
Obr. 6.2 Průběh signálu modulace ASK při modulační frekvenci 200 kS/s

Z předchozího obrázku je patrné časové zpoždění signálu po přenosu rádiovou cestou $\Delta X = 900$ ns.



Obr. 6.3 Průběh signálu modulace ASK při modulační frekvenci 500 kS/s

Při symbolové rychlosti 500 kS/s již dochází k deformaci amplitudy dvou stavů ASK, tedy logické „1“ a logické „0“.

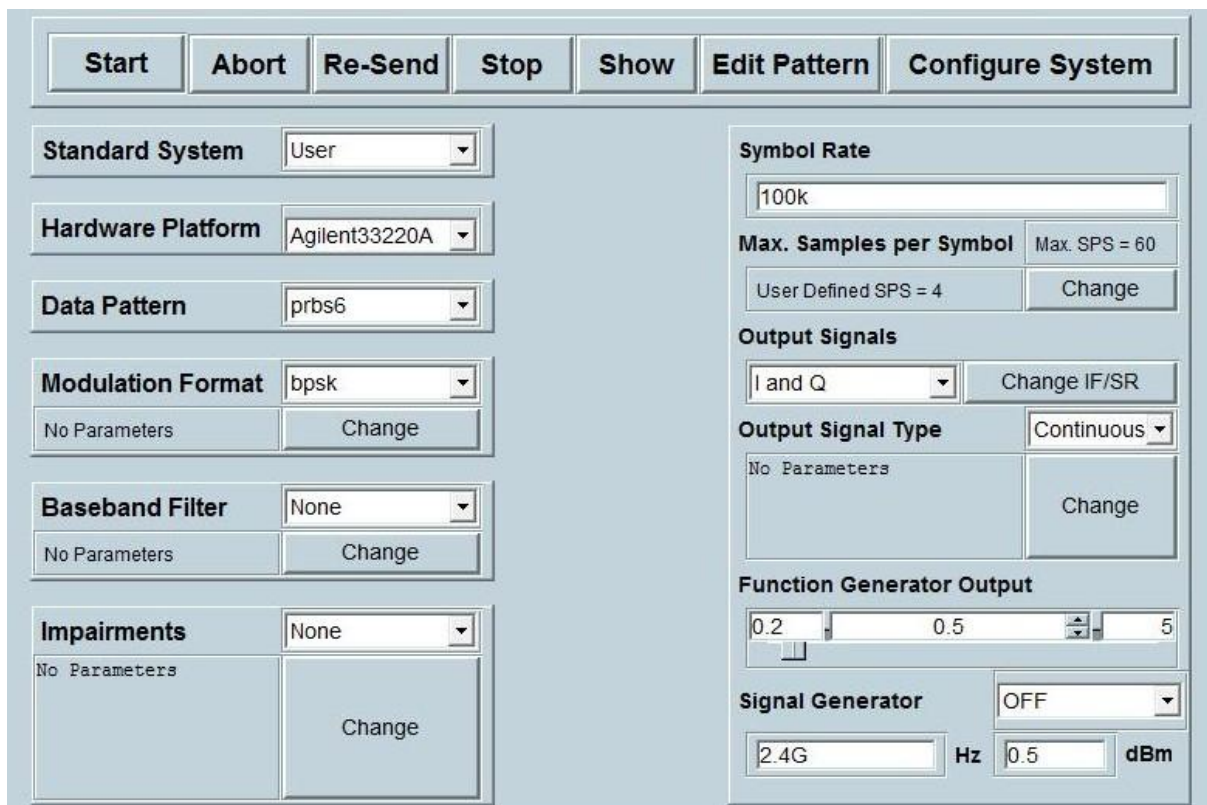


Obr. 6.4 Průběh signálu modulace ASK při modulační frekvenci 2 MS/s

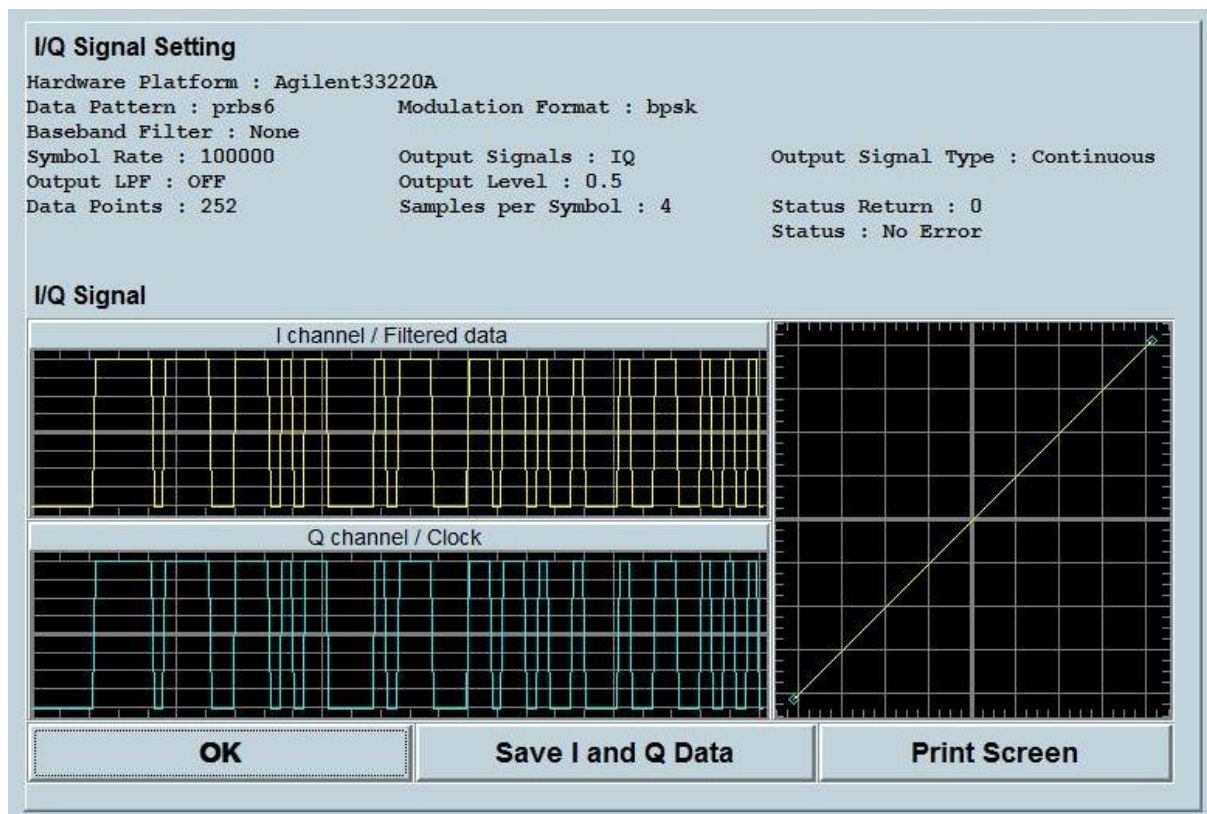
Z předchozího obrázku je patrná úplná deformace signálu při symbolové rychlosti 2 MS/s po přenosu rádiovou cestou.

6.2 Přenos s modulací PSK

Dvoustavová digitální modulace BPSK byla realizována pomocí dvou generátorů funkcí Agilent 33220A a řídicího počítače 1 se softwarem Agilent Technologies U1035A IQ Signal Generator. Náhodný signál vygenerovaný v řídicím počítači 1 o různé symbolové rychlosti a počtu vzorků na jeden symbol byl rozložen do IQ složek a za pomoci dvou generátorů funkcí Agilent 33220A přenesen na IQ vstupy modulátoru vysokofrekvenčního generátoru ROHDE-SCHWARZ SM300.

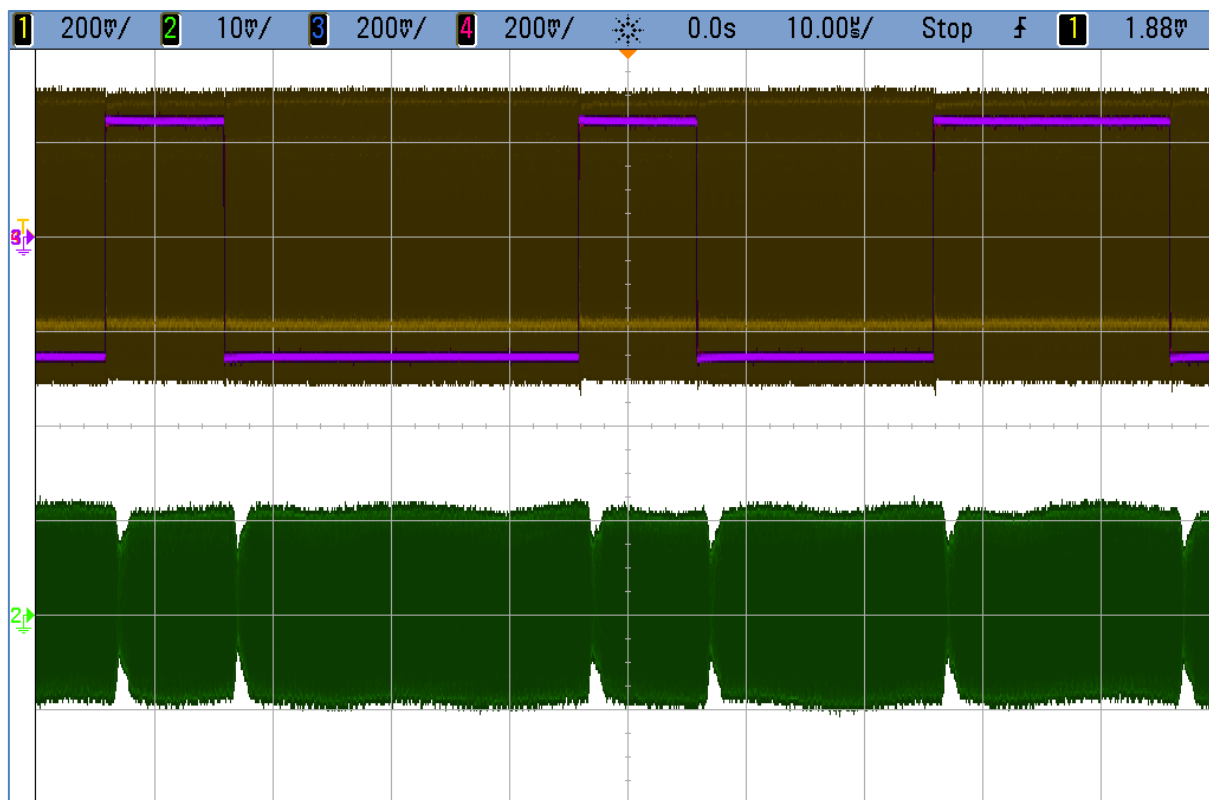


Obr. 6.5 Generování modulace BPSK

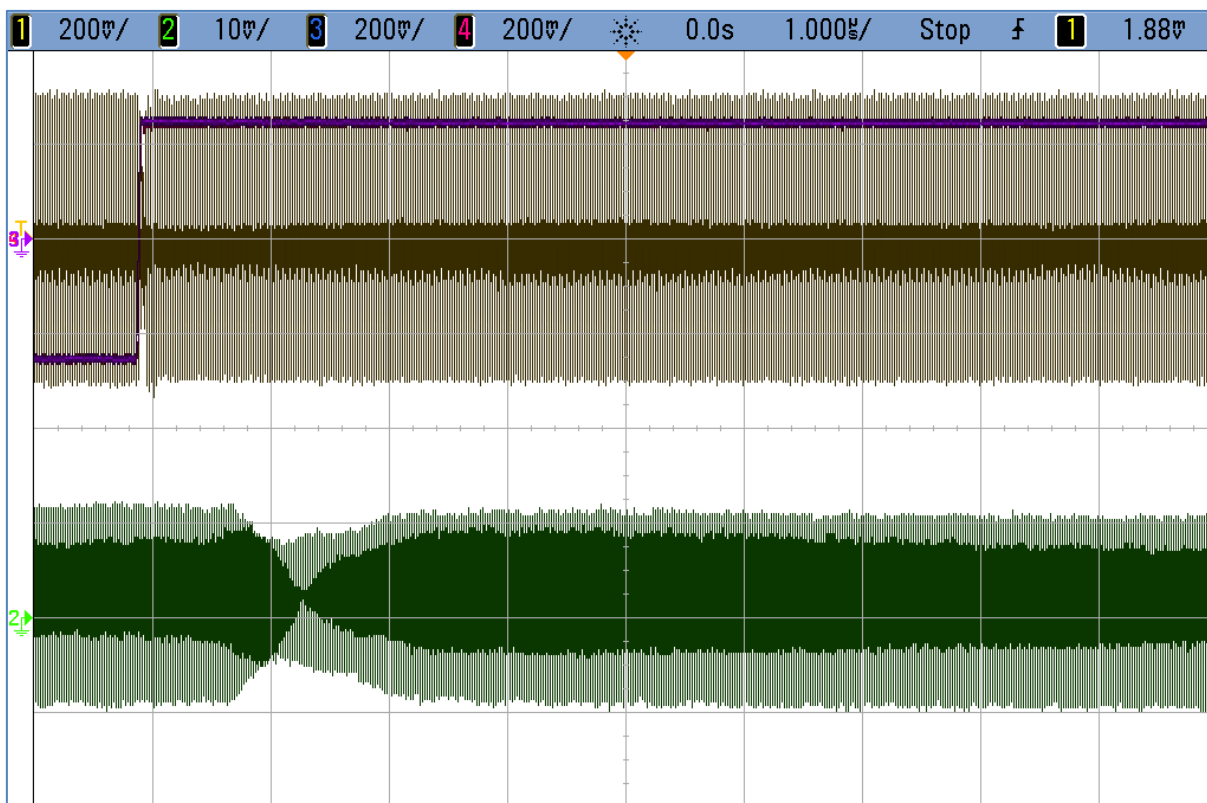


Obr. 6.6 IQ složky signálu a konstelační diagram modulace BPSK

Následující obrázky ukazují průběh signálu v časové oblasti při symbolové rychlosti 100 kS/s a počtu 4 vzorků na symbol. V horní polovině obrázku je znázorněn průběh signálu před rádiovým přenosem včetně IQ složek signálu a v dolní polovině signál po rádiovém přenosu v pásmu 868 MHz. Nosný kmitočet je 50 MHz.



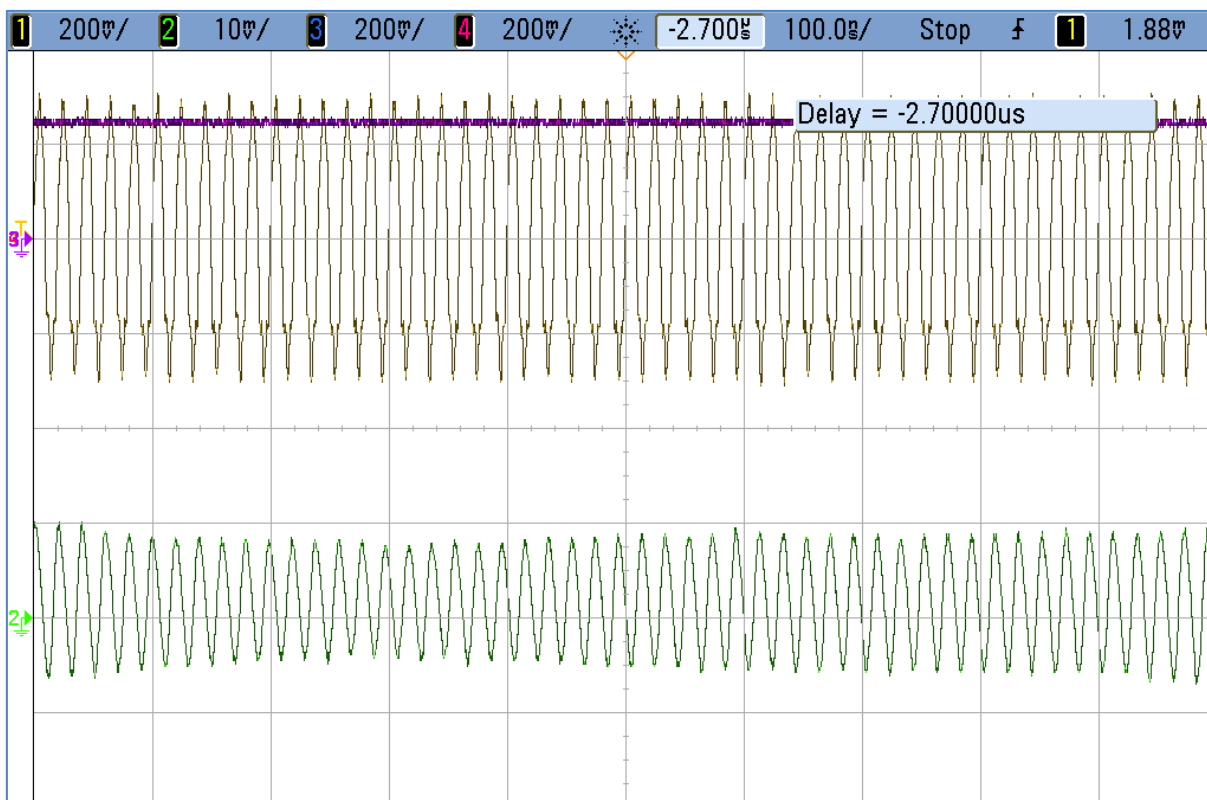
Obr. 6.7 Průběh signálu v časové oblasti modulace BPSK



Obr. 6.8 Změna fáze modulace BPSK



Obr. 6.9 Změna fáze modulace BPSK, detail signálu před rádiovou cestou



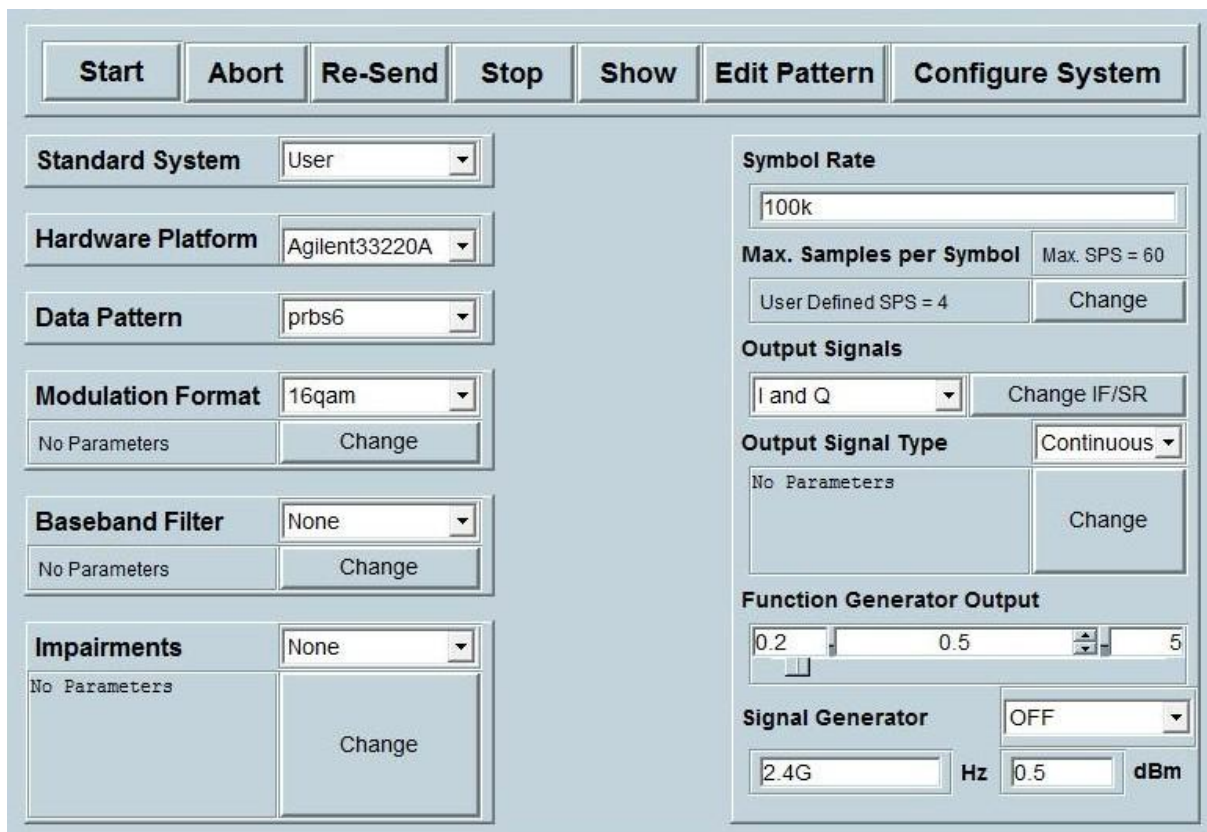
Obr. 6.10 Změna fáze modulace BPSK, detail signálu za rádiovou cestou

Z předchozích dvou obrázků je zřetelně patrná skoková změna fáze o 180° před vstupem do rádiové cesty. Kdežto po průchodu signálu rádiovou cestou je změna fáze o 180° plynulá.

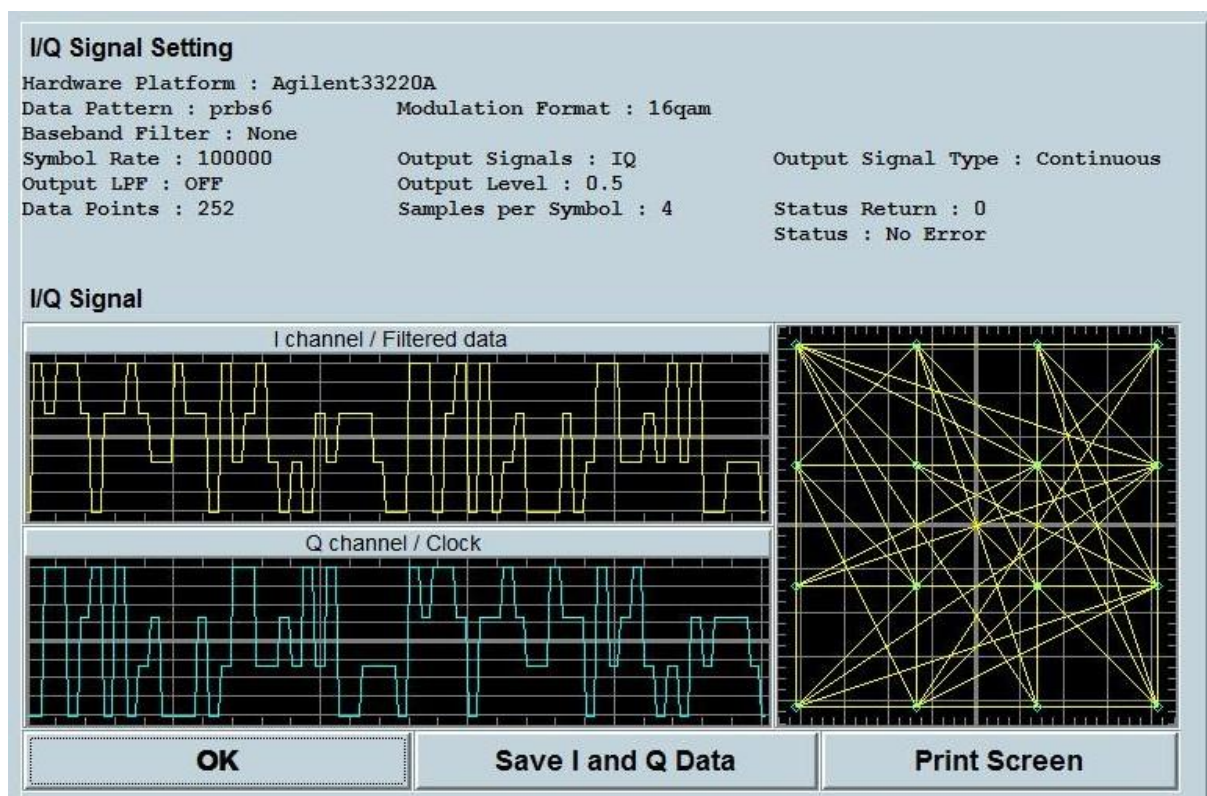
Měření bylo provedeno pro další symbolové rychlosti a počty vzorků na symbol. Výsledky měření jsou uvedeny v příloze diplomové práce.

6.3 Přenos s modulací 16-QAM

Digitální modulace 16-QAM byla realizována pomocí dvou generátorů funkcí Agilent 33220A a řídicího počítače 1 se softwarem Agilent Technologies U1035A IQ Signal Generator. Náhodný signál vygenerovaný v řídicím počítači 1 o různé symbolové rychlosti a počtu vzorků na jeden symbol byl rozložen do IQ složek a za pomoci dvou generátorů funkcí Agilent 33220A přenesen na IQ vstupy modulátoru vysokofrekvenčního generátoru ROHDE-SCHWARZ SM300.

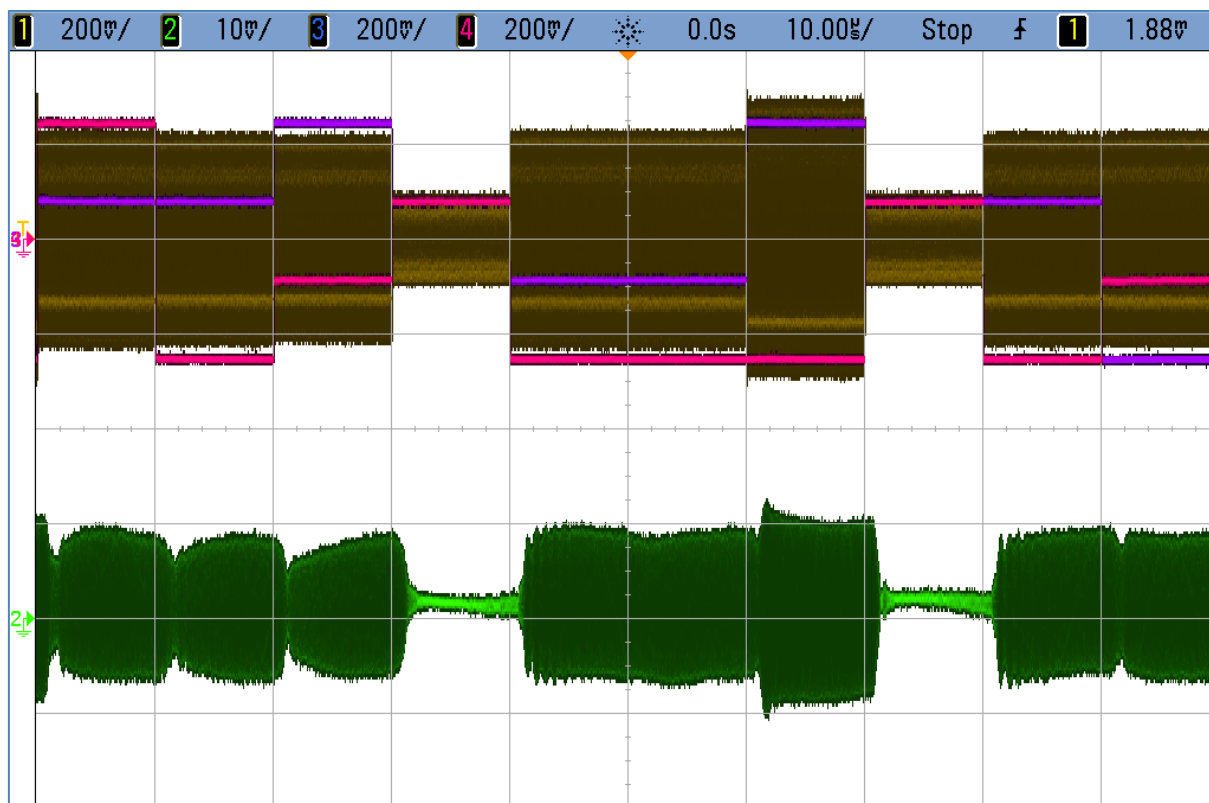


Obr. 6.11 Generování modulace 16-QAM

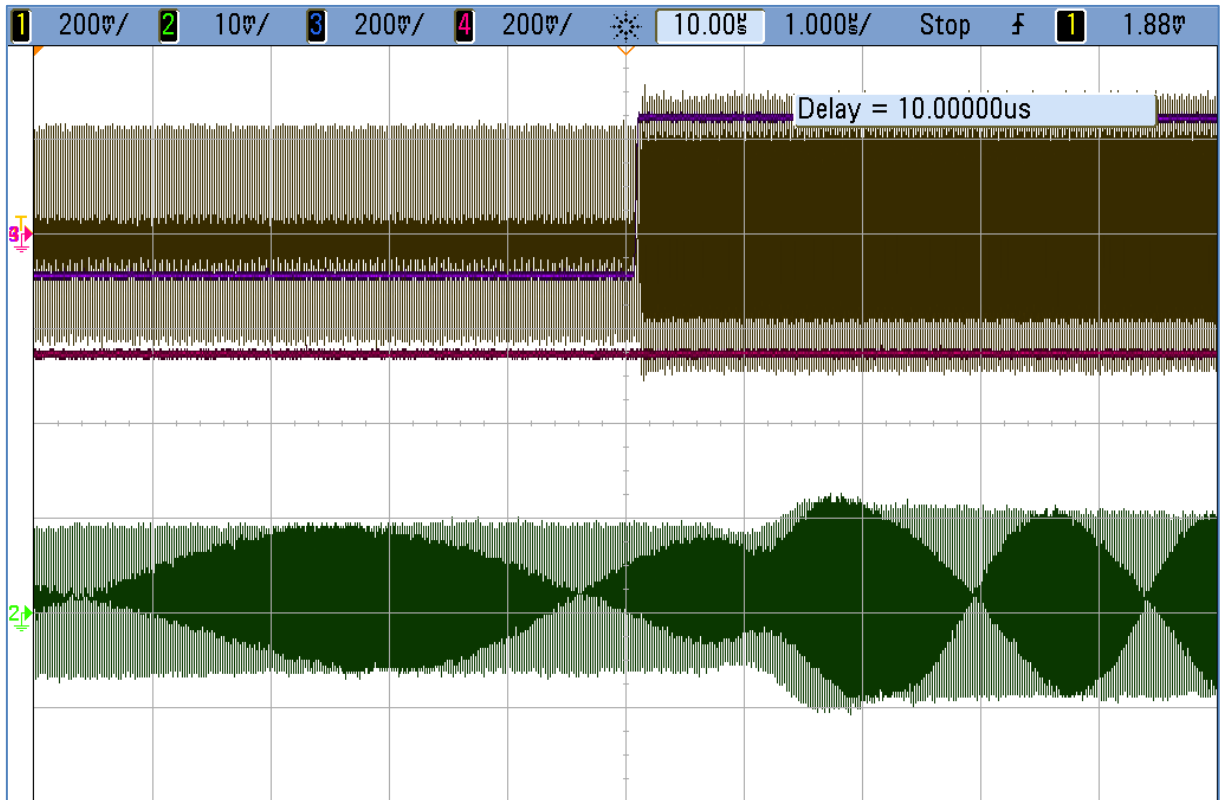


Obr. 6.12 IQ složky signálu a konstelační diagram modulace 16-QAM

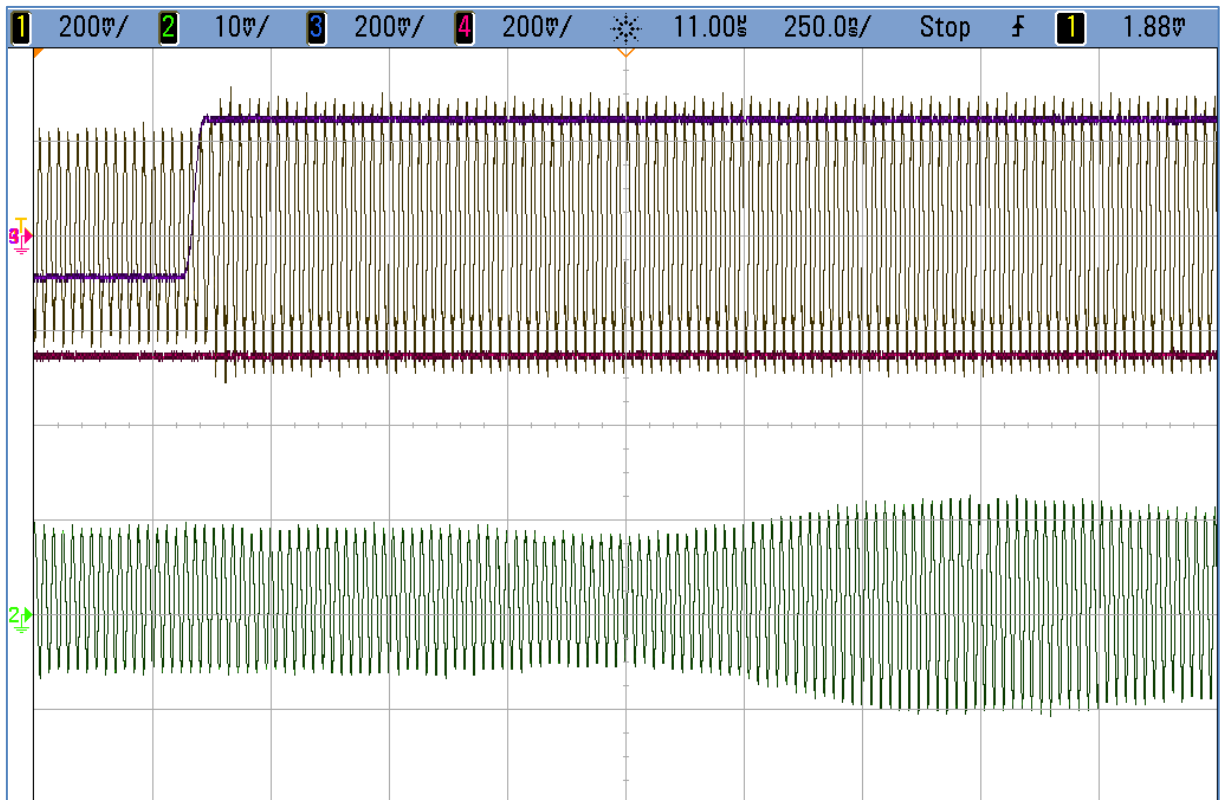
Následující obrázky ukazují průběh signálu v časové oblasti při symbolové rychlosti 100 kS/s a počtu 4 vzorků na symbol. V horní polovině obrázku je znázorněn průběh signálu před rádiovým přenosem včetně IQ složek signálu a v dolní polovině signál po rádiovém přenosu v pásmu 868 MHz. Nosný kmitočet je 50 MHz.



Obr. 6.13 Průběh signálu v časové oblasti modulace 16-QAM



Obr. 6.14 Změna amplitudy modulace 16-QAM

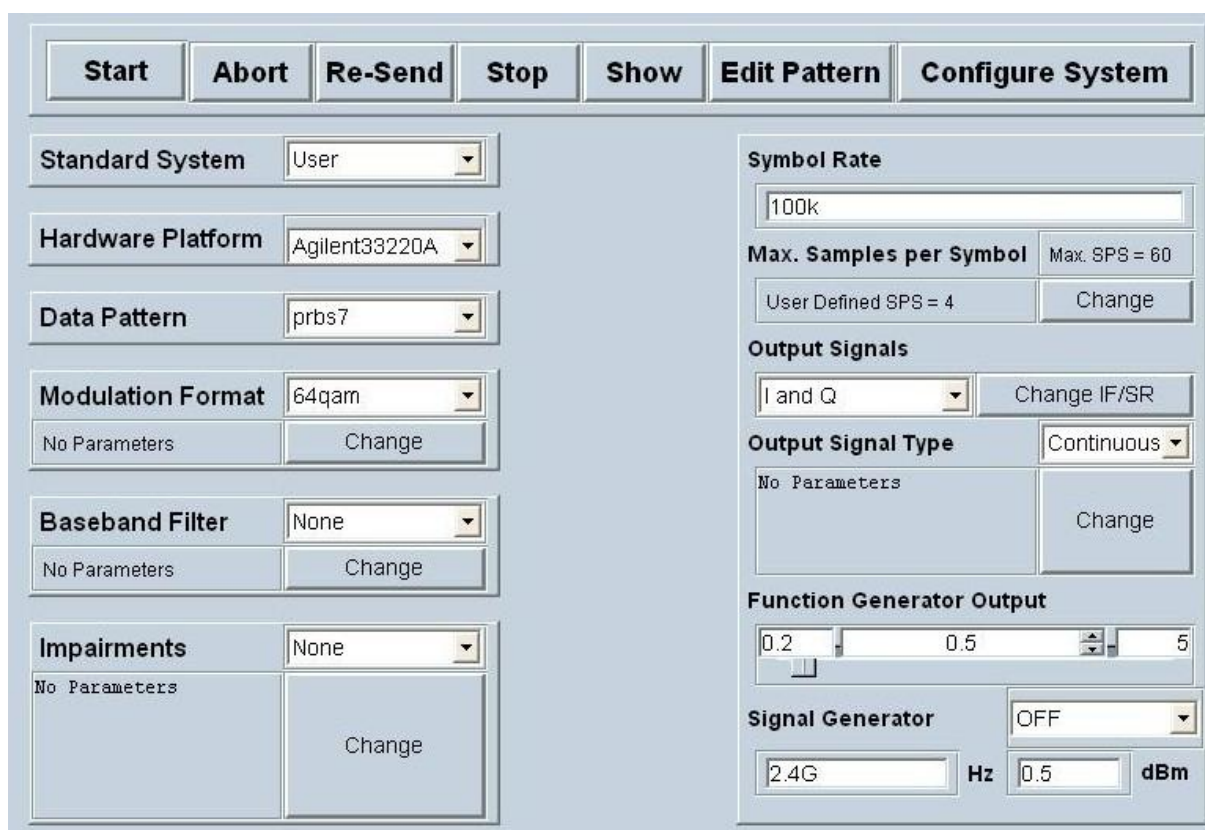


Obr. 6.15 Změna amplitudy modulace 16-QAM, detail signálu

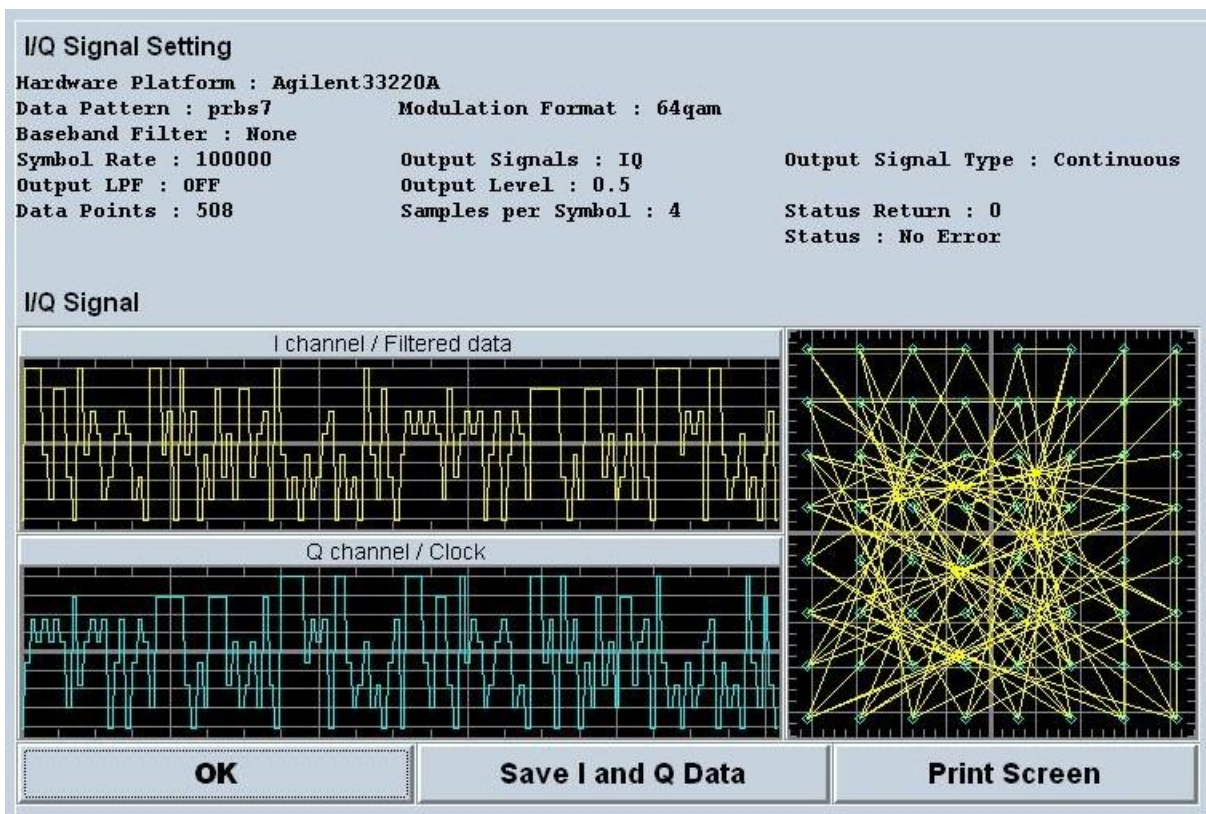
Měření bylo provedeno pro další symbolové rychlosti a počty vzorků na symbol. Výsledky měření jsou uvedeny v příloze diplomové práce.

6.4 Přenos s modulací 64-QAM

Digitální modulace 64-QAM byla realizována pomocí dvou generátorů funkcí Agilent 33220A a řídicího počítače 1 se softwarem Agilent Technologies U1035A IQ Signal Generator. Náhodný signál vygenerovaný v řídicím počítači 1 o různé symbolové rychlosti a počtu vzorků na jeden symbol byl rozložen do IQ složek a za pomoci dvou generátorů funkcí Agilent 33220A přenesen na IQ vstupy modulátoru vysokofrekvenčního generátoru ROHDE-SCHWARZ SM300.

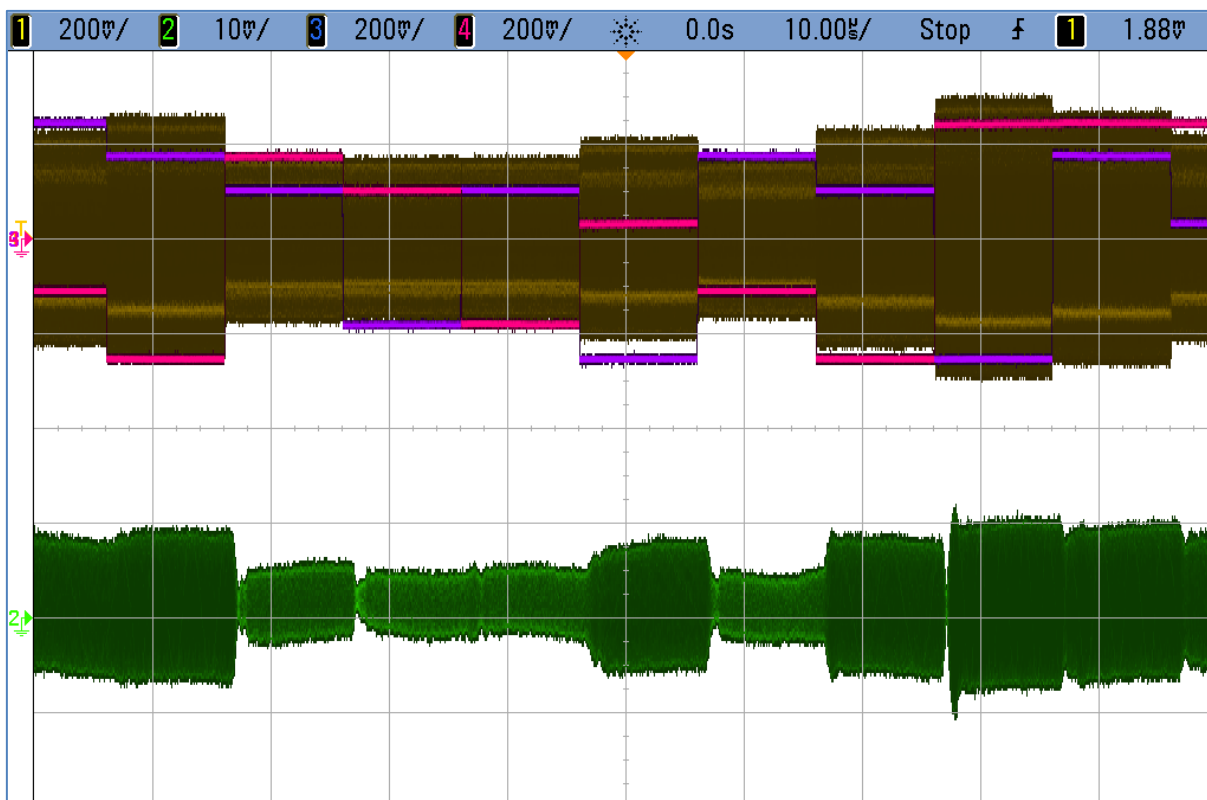


Obr. 6.16 Generování modulace 64-QAM



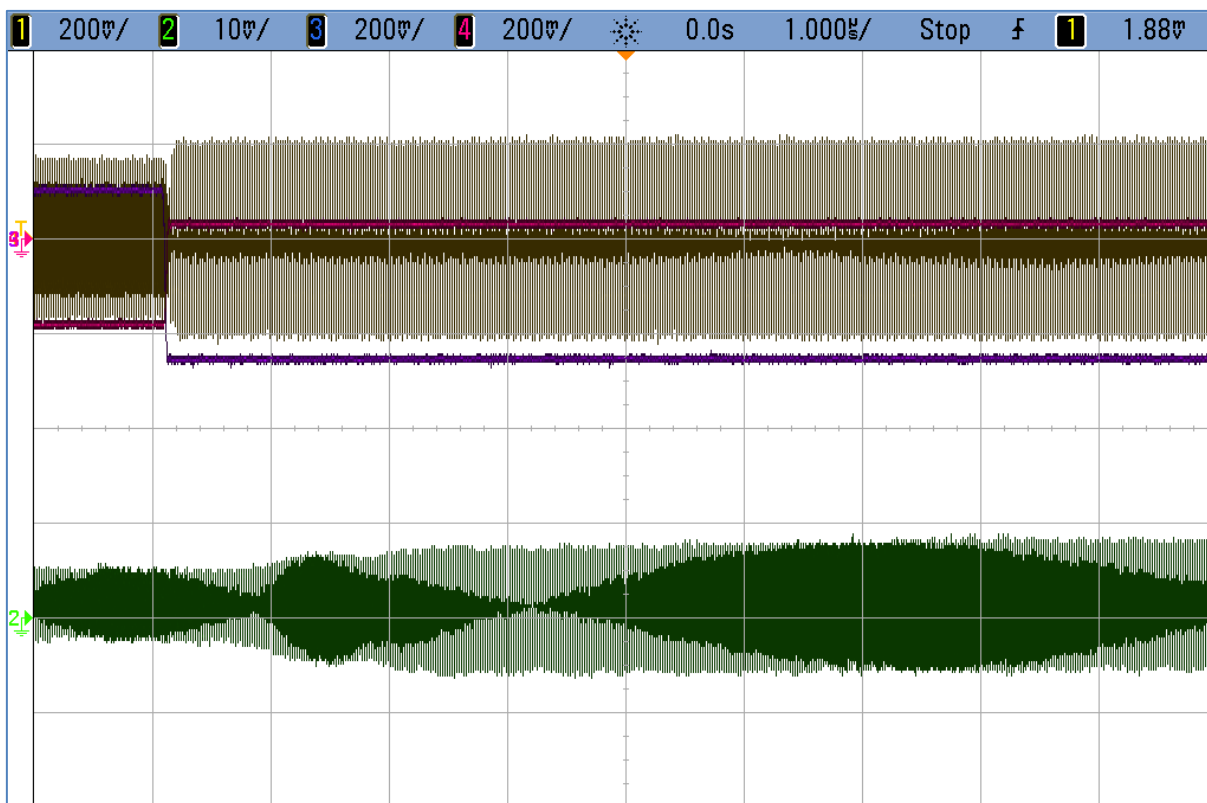
Obr. 6.17 IQ složky signálu a konstelační diagram modulace 64-QAM

Následující obrázky ukazují průběh signálu v časové oblasti při symbolové rychlosti 100 kS/s a počtu 4 vzorků na symbol. V horní polovině obrázku je znázorněn průběh signálu před rádiovým přenosem včetně IQ složek signálu a v dolní polovině signál po rádiovém přenosu v pásmu 868 MHz. Nosný kmitočet je 50 MHz.

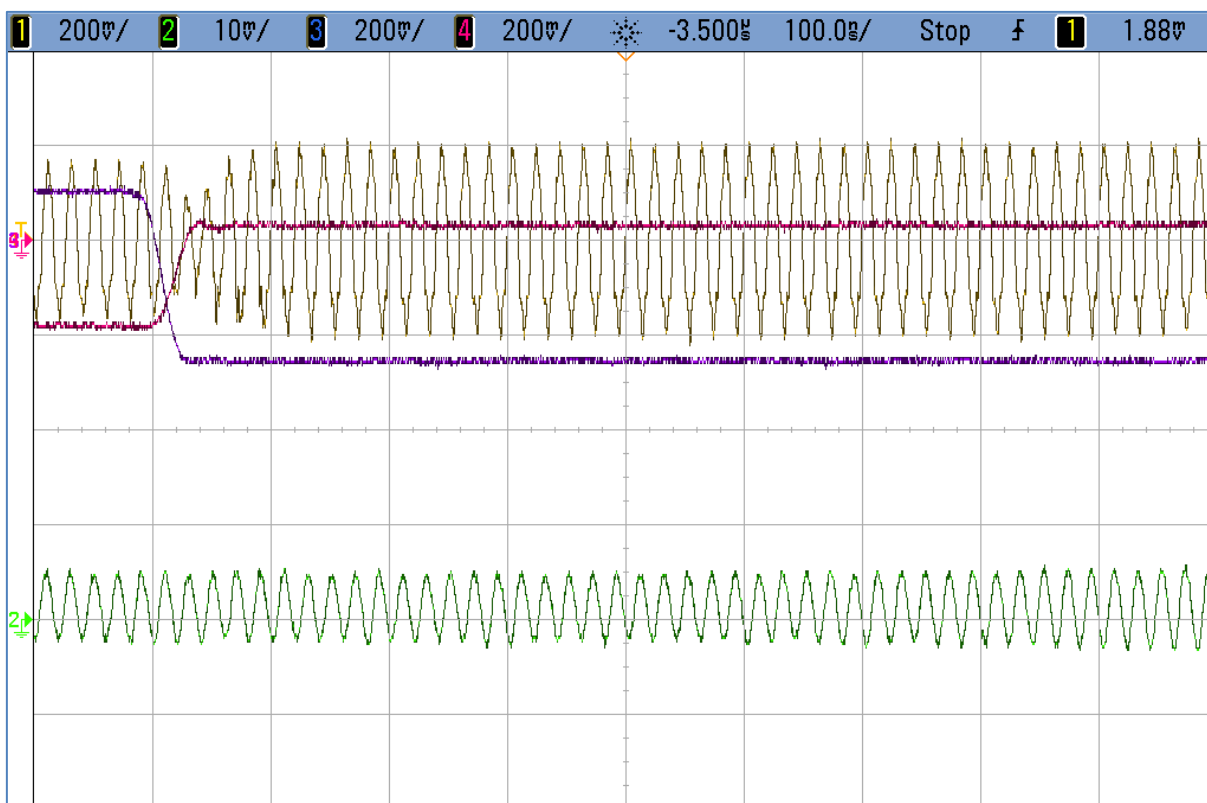


Obr. 6.18 Průběh signálu v časové oblasti modulace 64-QAM

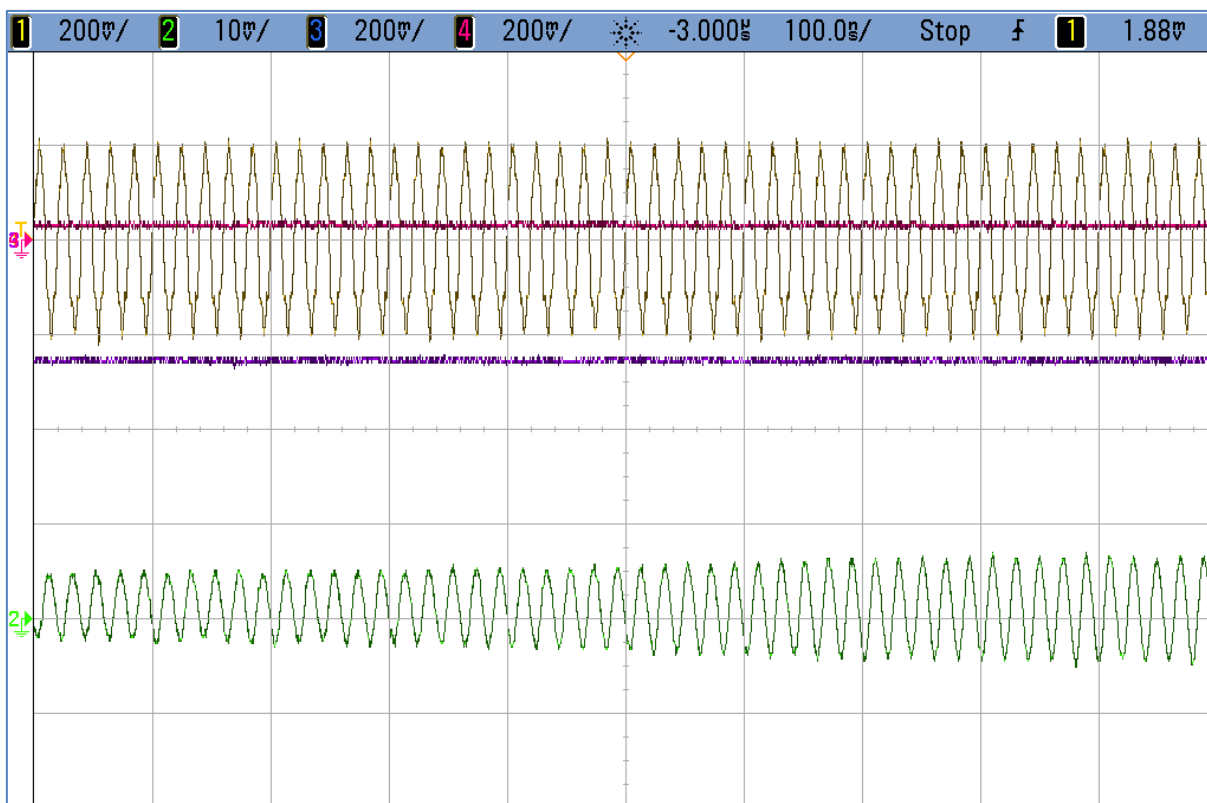
Z předešlého obrázku je již patrný limit symbolové rychlosti 100 kS/s pro rádiovou cestu u modulace 64-QAM, a to v přenesených stavech amplitudy signálu.



Obr. 6.19 Změna amplitudy a fáze modulace 64-QAM



Obr. 6.20 Změna amplitudy a fáze modulace 64-QAM, detail signálu před rádiovou cestou

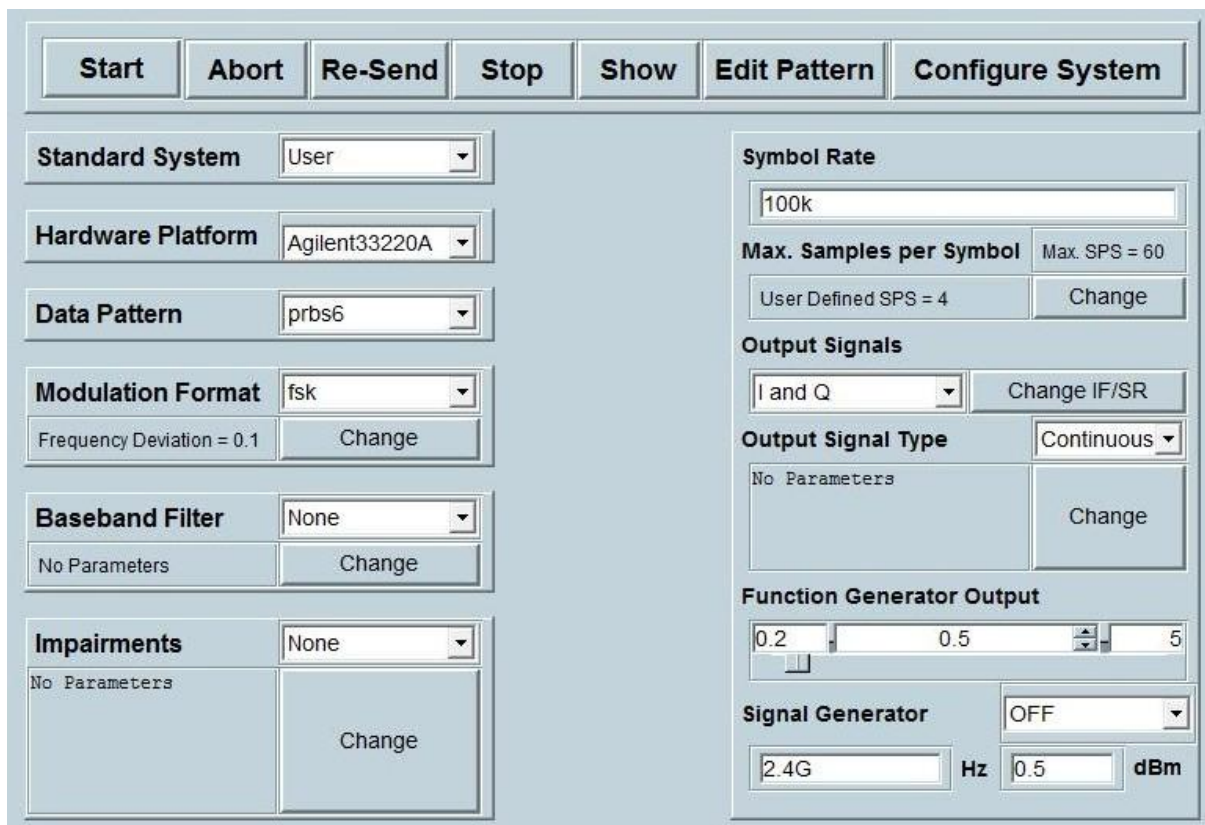


Obr. 6.21 *Změna amplitudy a fáze modulae 64-QAM, detail signálu za rádiovou cestou*

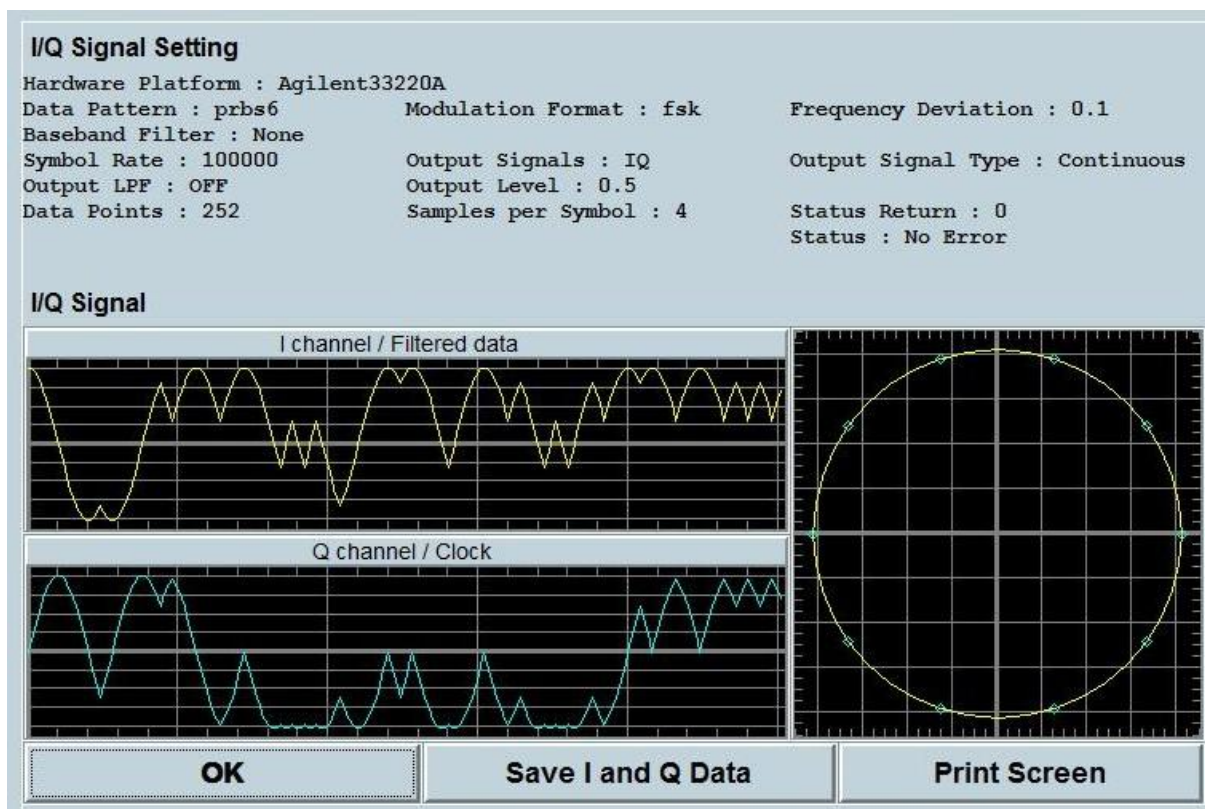
Měření bylo provedeno pro další symbolové rychlosti a počty vzorků na symbol. Výsledky měření jsou uvedeny v příloze diplomové práce.

6.5 Přenos s modulací FSK

Digitální modulae FSK byla realizována pomocí dvou generátorů funkcí Agilent 33220A a řídicího počítače 1 se softwarem Agilent Technologies U1035A IQ Signal Generator. Náhodný signál vygenerovaný v řídicím počítači 1 o různé symbolové rychlosti a počtu vzorků na jeden symbol byl rozložen do IQ složek a za pomocí dvou generátorů funkcí Agilent 33220A přenesen na IQ vstupy modulátoru vysokofrekvenčního generátoru ROHDE-SCHWARZ SM300.

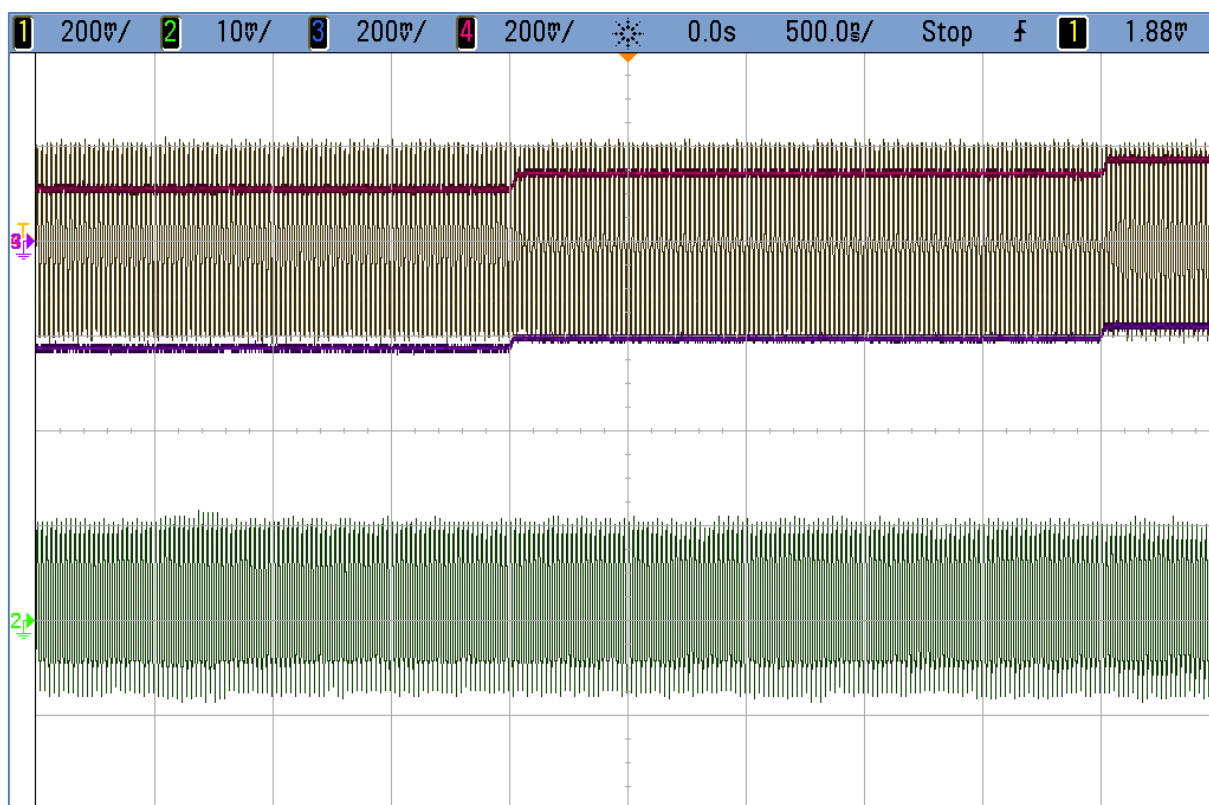


Obr. 6.22 Generování modulae FSK



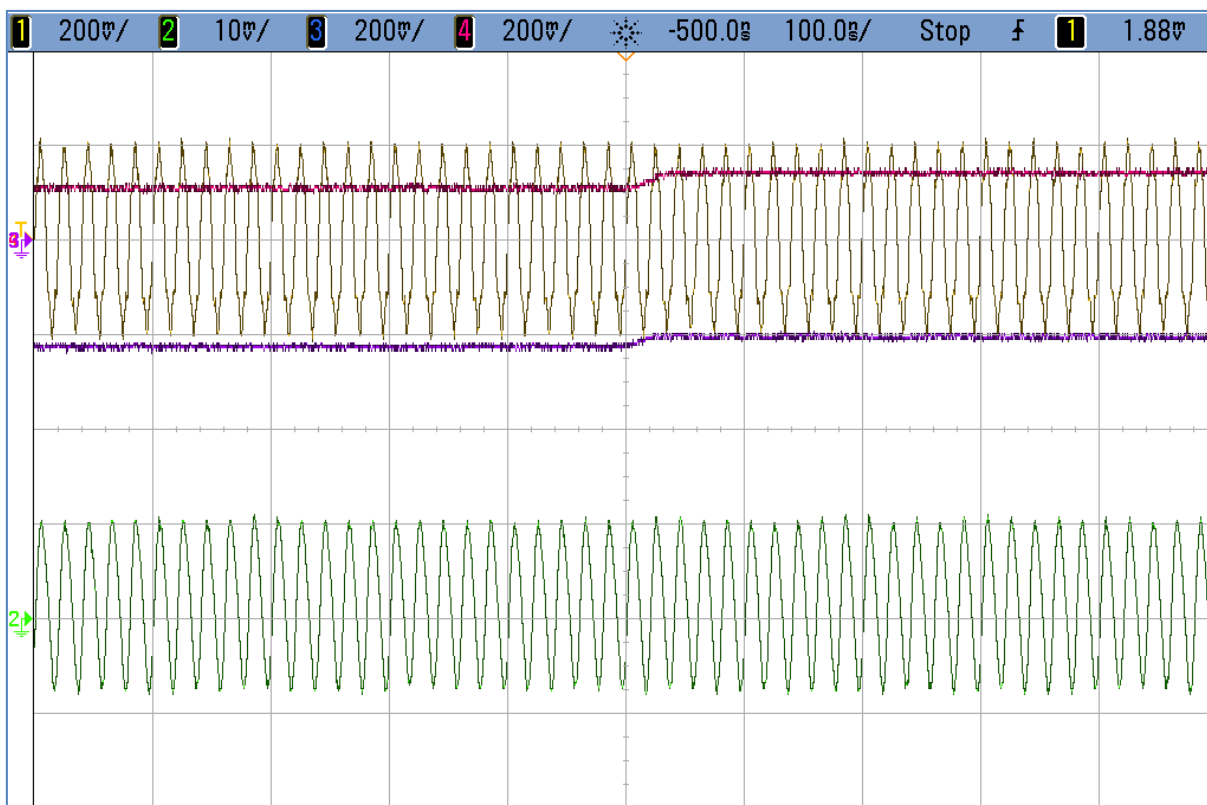
Obr. 6.23 IQ složky signálu a konstelační diagram modulae FSK

Následující obrázky ukazují průběh signálu v časové oblasti při symbolové rychlosti 100 kS/s a počtu 4 vzorků na symbol. V horní polovině obrázku je znázorněn průběh signálu před rádiovým přenosem včetně IQ složek signálu a v dolní polovině signál po rádiovém přenosu v pásmu 868 MHz. Nosný kmitočet je 50 MHz.



Obr. 6.24 Průběh signálu v časové oblasti modulace FSK

Z předešlého obrázku je zřetelné, že se jedná o digitální modulaci s konstantní amplitudou. U provedeného měření není patrná změna frekvence signálu jednotlivých stavů modulace FSK před ani po přenosu rádiovou cestou. Důvodem je velice malá změna frekvence jednotlivých stavů signálu.



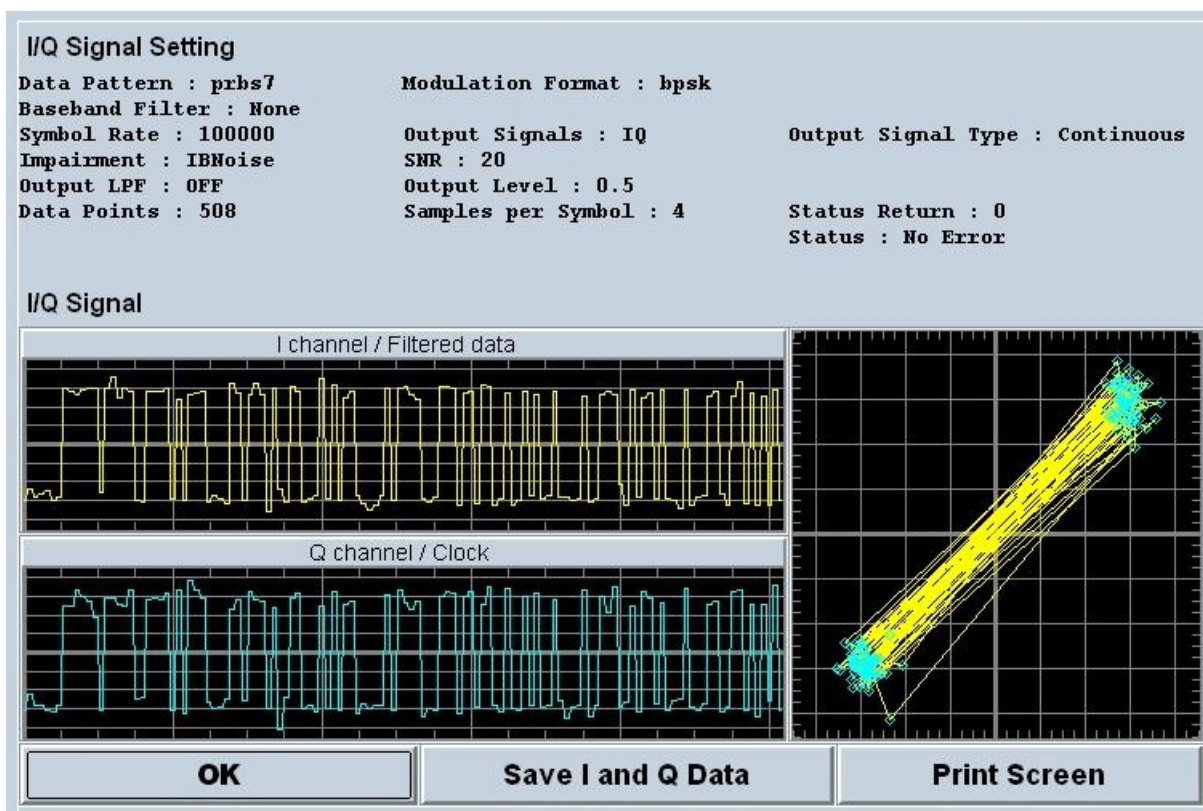
Obr. 6.25 Detail průběhu signálu v časové oblasti modulace FSK

Měření bylo provedeno pro další symbolové rychlosti a počty vzorků na symbol. Výsledky měření jsou uvedeny v příloze diplomové práce.

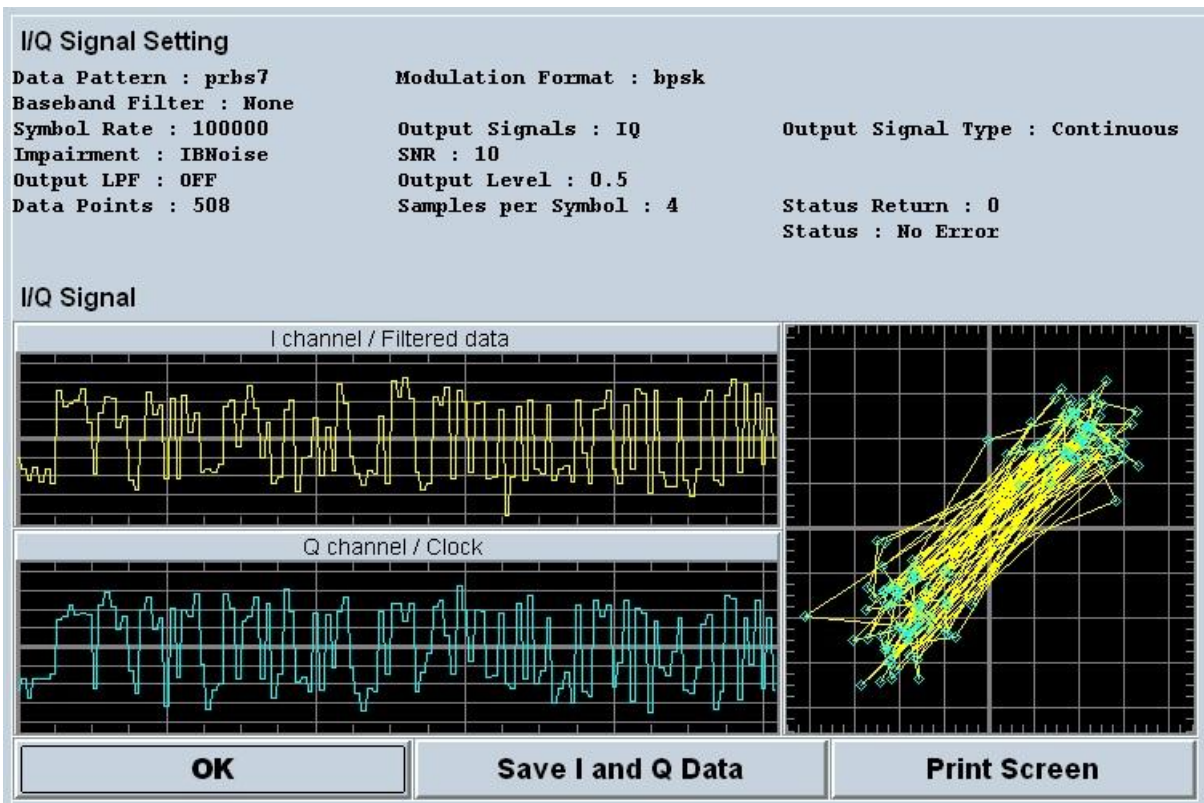
7 ODOLNOST DIGITÁLNÍCH MODULACÍ PROTI ŠUMU A RUŠENÍ

7.1 Simulace odolnosti proti šumu a rušení

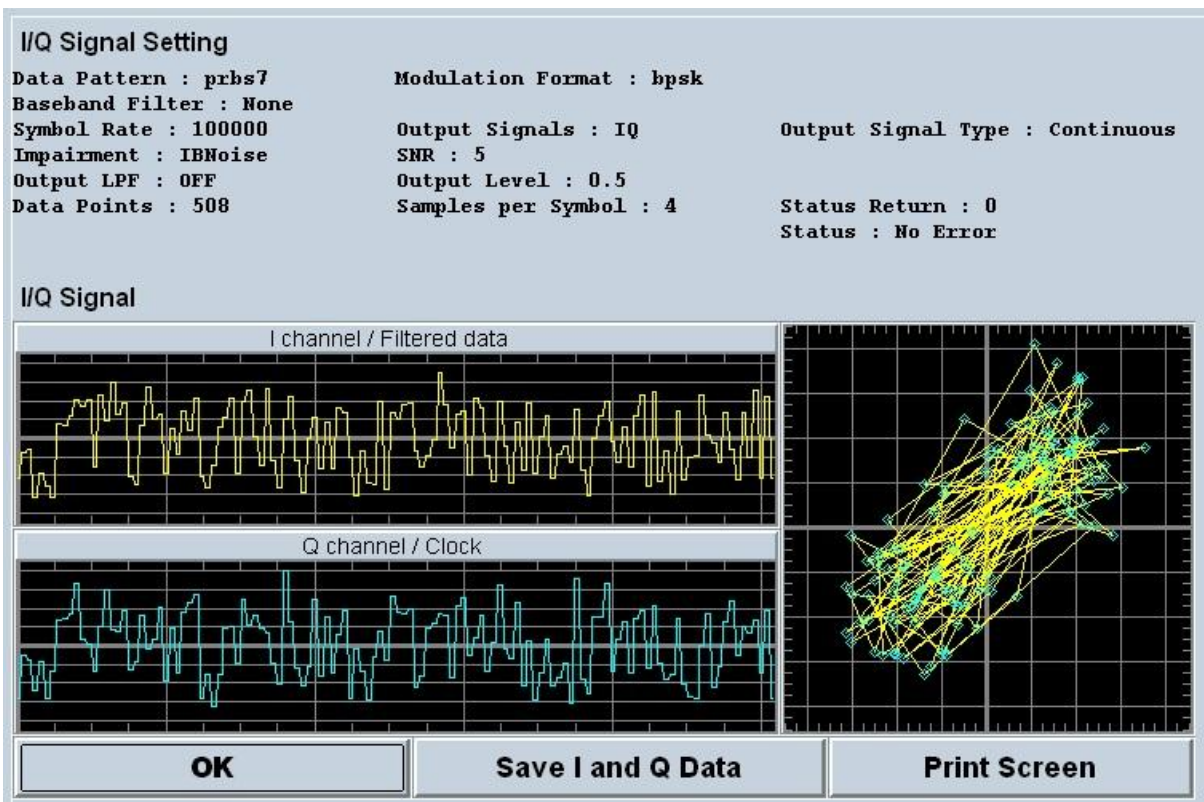
Odolnost digitálních modulací proti šumu a rušení byla ověřena simulací za pomoci softwaru Agilent Technologies U1035A IQ Signal Generator. Chybovost je definována jako poměr počtu chybně přijatých symbolů k celkovému počtu přijatých symbolů a je závislá na rušivých vlivech, to je na poměru signálu nosné k šumu S/N . Následuje porovnání odolnosti digitálních modulací BPSK, 16-QAM a 64-QAM při různých hodnotách poměru nosné k šumu. Výsledky simulace jsou zobrazeny v konstelačním diagramu v rovině IQ.



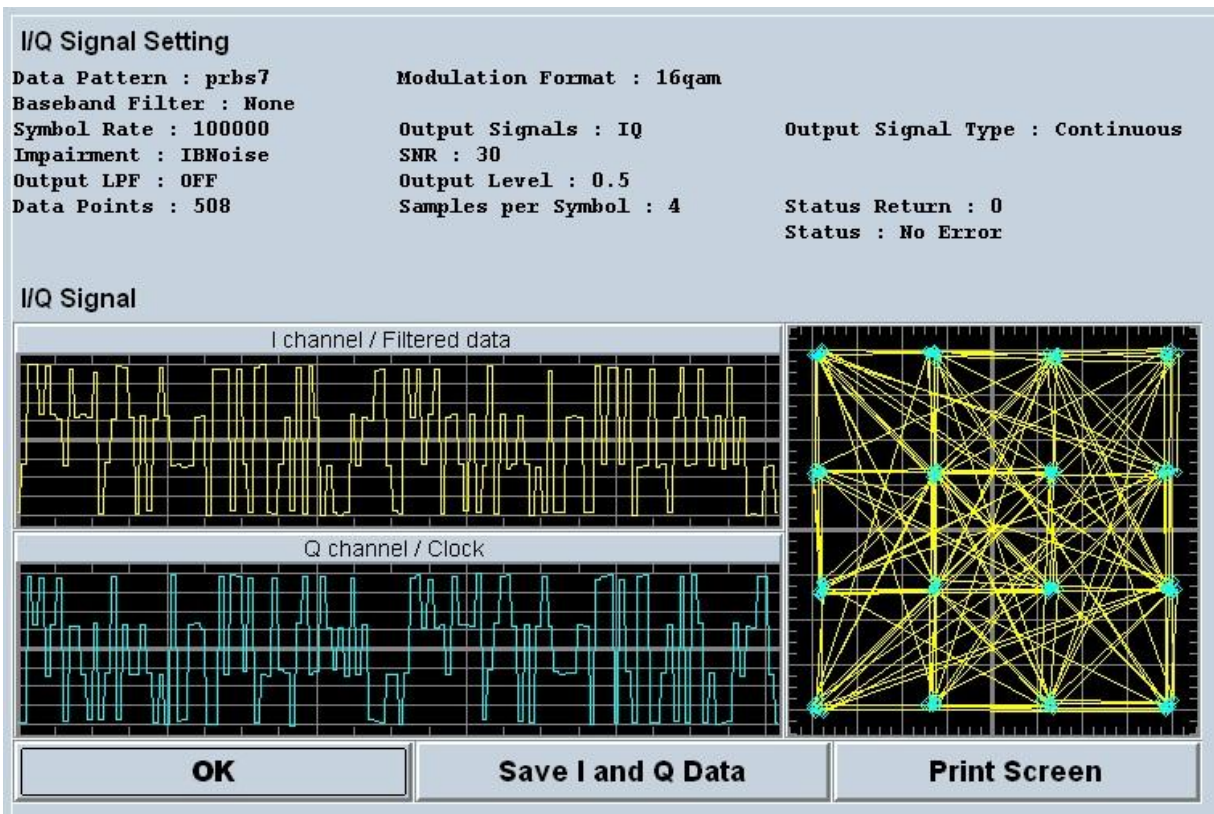
Obr. 7.1 Modulace BPSK při odstupu nosné od šumu 20 dB



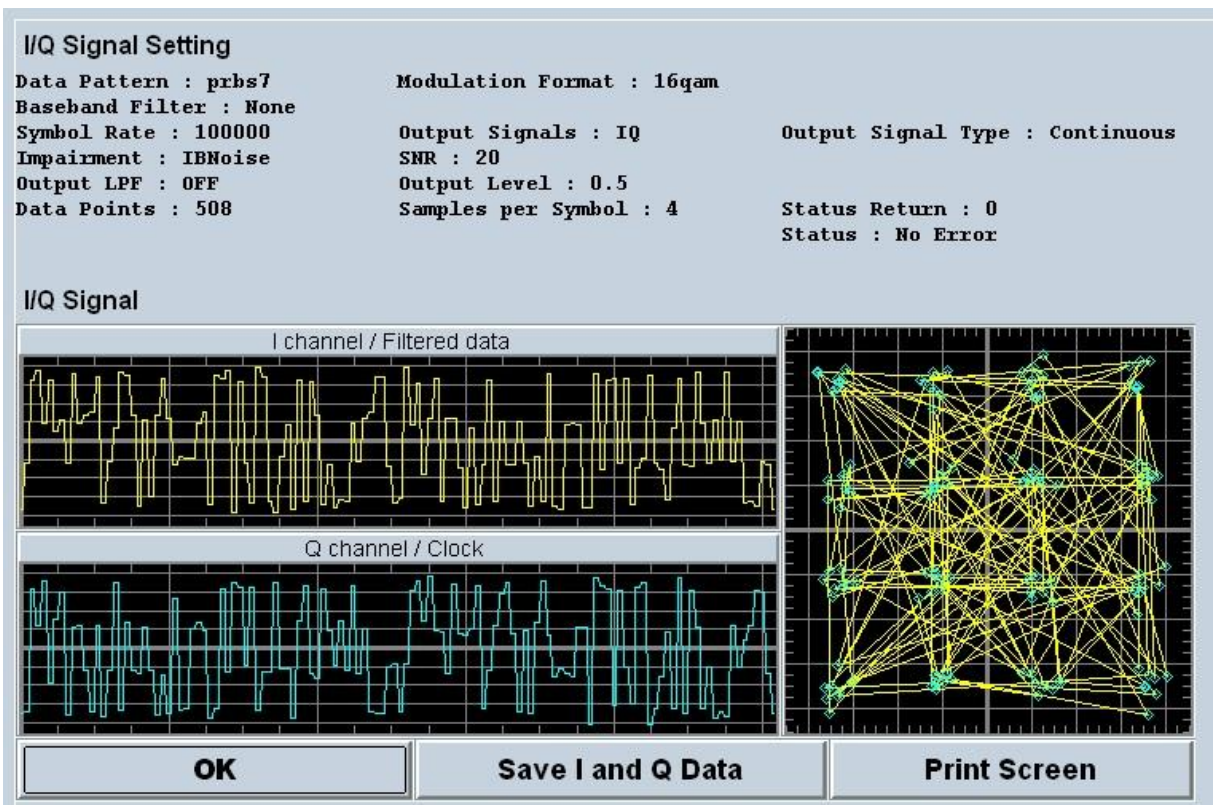
Obr. 7.2 Modulace BPSK při odstupu nosné od šumu 10 dB



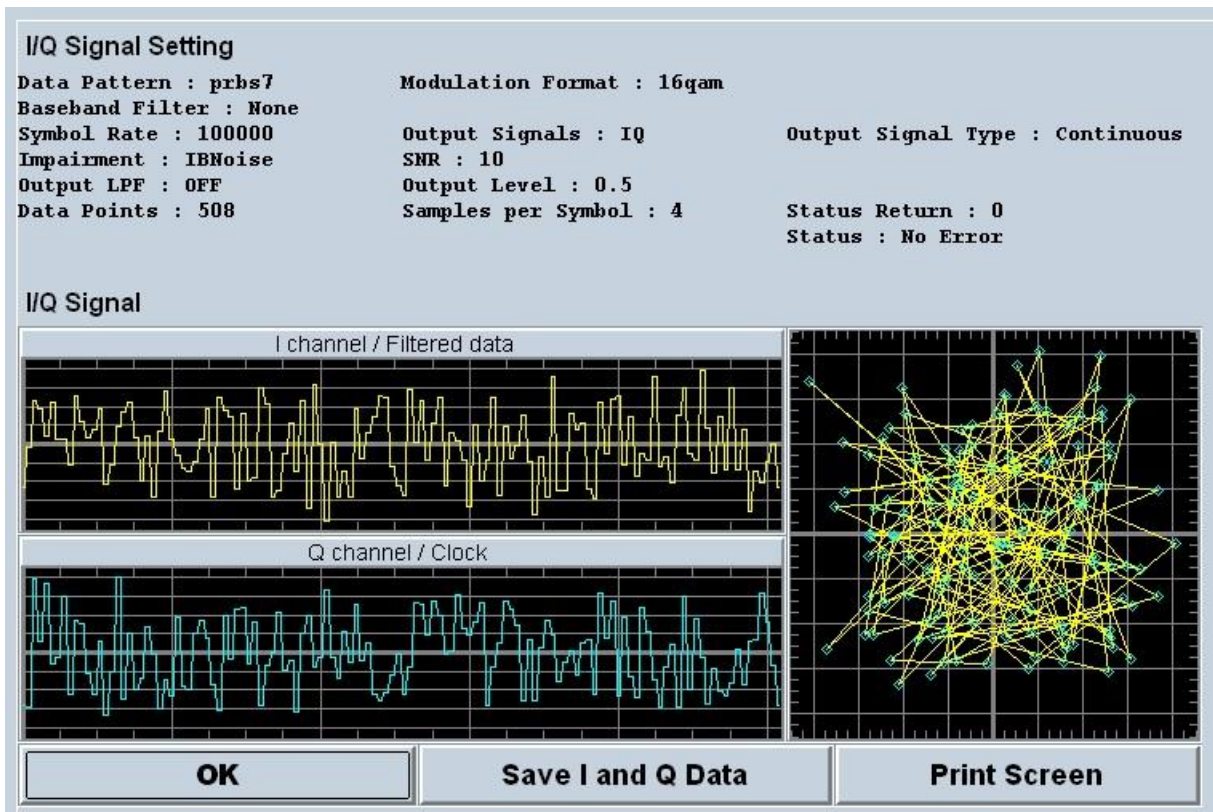
Obr. 7.3 Modulace BPSK při odstupu nosné od šumu 5 dB



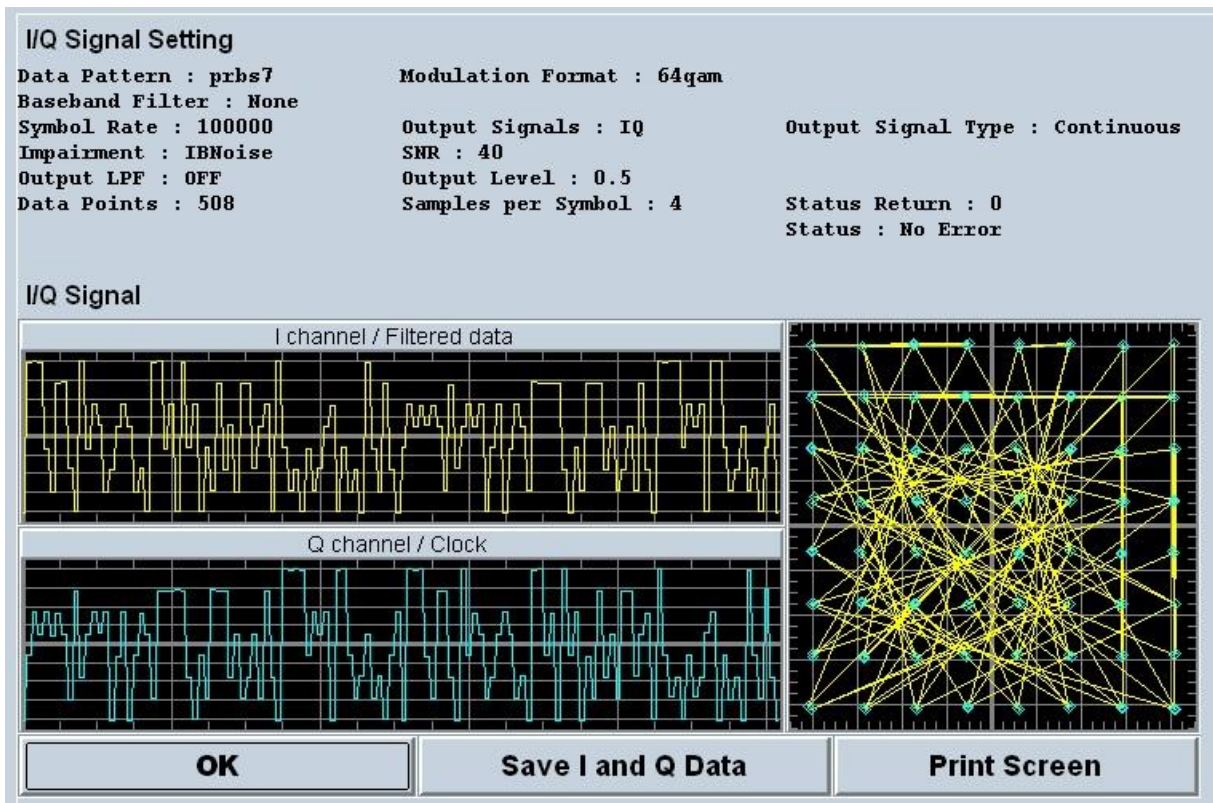
Obr. 7.4 Modulace 16-QAM při odstupu nosné od šumu 30 dB



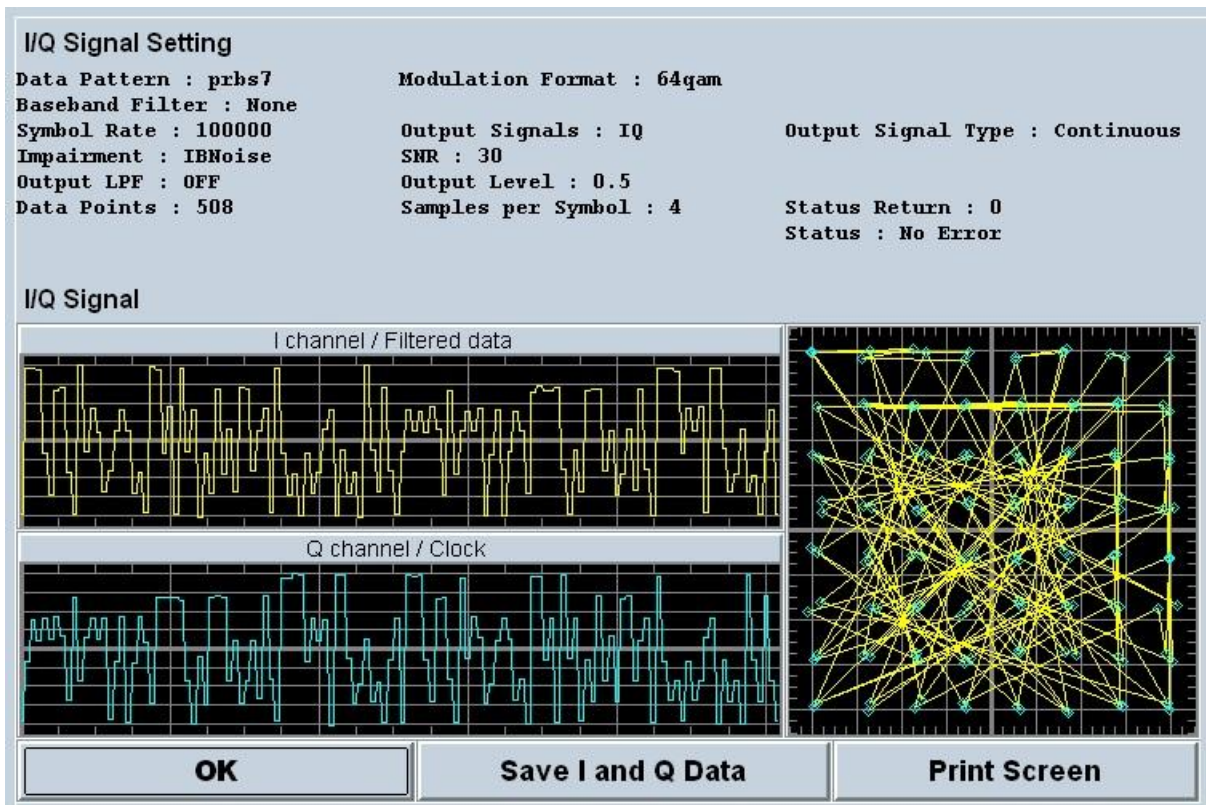
Obr. 7.5 Modulace 16-QAM při odstupu nosné od šumu 20 dB



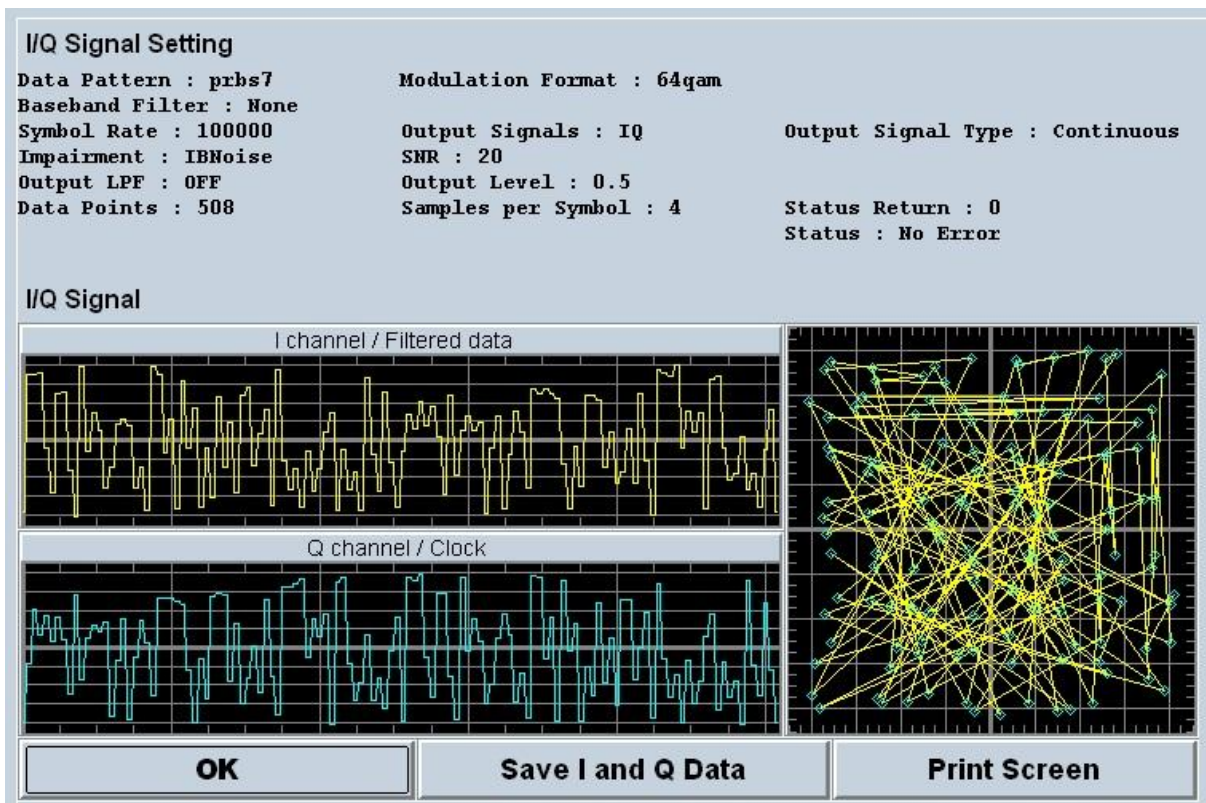
Obr. 7.6 Modulace 16-QAM při odstupu nosné od šumu 10 dB



Obr. 7.7 Modulace 64-QAM při odstupu nosné od šumu 40 dB



Obr. 7.8 Modulace 64-QAM při odstupu nosné od šumu 30 dB



Obr. 7.9 Modulace 64-QAM při odstupu nosné od šumu 20 dB

8 VYHODNOCENÍ

8.1 Vyhodnocení měření a simulací

V praktické části diplomové práce bylo po sestavení měřícího řetězce provedeno měření přenosu datových signálů pomocí digitálních modulací ASK, BPSK, 16-QAM, 64-QAM a FSK.

Přenos datových signálů s digitální modulací ASK byl měřen při symbolové rychlosti 100 kS/s, 200 kS/s, 500 kS/s a 2 MS/s. Přenos datových signálů s digitálními modulacemi BPSK, 16-QAM a 64-QAM byl měřen při symbolové rychlosti 10 kS/s, 100 kS/s, 1 MS/s a 6 MS/s. Přenos datových signálů s digitální modulací FSK byl měřen při symbolové rychlosti 100 kS/s a 6 MS/s.

Při porovnání přenosu datového signálu bez rádiové cesty a následně s rádiovou cestou v pásmu 868 MHz došlo k časovému zpoždění signálu po přenosu rádiovou cestou přibližně o 900 ns a ke snížení napěťové úrovně signálu v průměru o 25 dB. U digitální modulace ASK docházelo k postupné deformaci dvou stavů amplitudy přenášeného signálu od symbolové rychlosti 500 kS/s. Při symbolové rychlosti 2 MS/s je přenesená amplituda konstantní, to znamená, že po rádiovém přenosu již nelze rozeznat dva stavy amplitudy signálu, které vstupují do rádiové cesty. Digitální modulace BPSK je pro přenos signálu rádiovou cestou bezproblémová do symbolové rychlosti 1 MS/s. U vyšších rychlostí již dochází k deformaci signálu v rádiové cestě. Digitální modulace 16-QAM je pro přenos datového signálu rádiovou cestou využitelná do symbolové rychlosti 100 kS/s a modulace 64-QAM do symbolové rychlosti 10 kS/s. U provedeného měření modulace FSK se nepodařilo změřit hraniční symbolovou rychlost pro bezchybný přenos rádiovou cestou. Důvodem je malá změna frekvence jednotlivých stavů signálu.

Z hlediska vyhodnocení správnosti přijatého signálu je systém klíčování s minimálním počtem fázových a amplitudových změn nejodolnější. Složitější modulační systémy s větším počtem fázových a amplitudových změn jsou méně odolné proti šumu a rušení. Tento závěr je jednoznačně demonstrován na provedených simulacích. Modulace 64-QAM nevykazuje chyby přibližně do odstavu signálu od šumu 30 dB, modulace 16-QAM nevykazuje chyby přibližně do odstavu signálu od šumu 20 dB a modulace BPSK nevykazuje chyby přibližně do odstavu signálu od šumu 10 dB.

ZÁVĚR

V úvodní části diplomové práce byl teoreticky popsán rádiový komunikační systém, rádiové šíření a digitální modulace.

Teoretické poznatky byly dále využity v praktické části diplomové práce při návrhu způsobu generování digitálních modulací pomocí IQ složek signálu a návrhu měřícího řetězce k laboratornímu ověření možnosti rádiového přenosu signálu v pásmu 868 MHz za pomoci vybraných digitálních modulací ASK, BPSK, 16-QAM, 64-QAM a FSK.

Měření přenosu datových signálů pomocí výše uvedených digitálních modulací bylo provedeno dle návrhu měřícího řetězce. Testy proběhly pro různé rychlosti přenosu dat tak, aby byly ověřeny vlastnosti a limity přenosu dat při použití vybraných digitálních modulací v rádiovém pásmu 868 MHz.

Při měření odolnosti digitálních modulací proti šumu a rušení se zjišťují odchylky amplitudy a fáze v přijatém datovém signálu od ideálního bezchybného stavu. Vzhledem k vybavení laboratorního pracoviště byla odolnost digitálních modulací BPSK, 16-QAM a 64-QAM ověřena simulací za pomoci softwaru Agilent Technologies U1035A IQ Signal Generator. Z hlediska vyhodnocení správnosti přijatého signálu je systém klíčování s minimálním počtem fázových a amplitudových změn nejodolnější. Složitější modulační systémy se používají kvůli efektivnějšímu využití komunikačního kanálu a zvýšené rychlosti přenosu informací, ale bohužel na úkor odolnosti proti šumu a rušení. Tento závěr jednoznačně potvrzují výsledky simulací odolnosti uvedených digitálních modulací proti šumu a rušení.

Uplatnění digitálních modulací s malým počtem modulačních stavů je především v nepříznivých podmínkách pro šíření rádiových vln, kde se využívá jejich vysoká energetická účinnost. Používají se například u buňkových systémů pro pozemní mobilní komunikace nebo pro kosmické spoje. Uplatnění digitálních modulací s větším počtem modulačních stavů je zejména v pásmech spektrálně limitovaných, kde je vyžadováno co nejefektivnější využití omezeného frekvenčního spektra, tedy vysoká spektrální účinnost. Využívají se například u pozemního digitálního televizního vysílání.

Při porovnání bezlicenčního rádiového pásma 868 MHz s ostatními licencovanými i bezlicenčními pásmy lze obecně říci, že pro přenos velkého množství

dat je vhodné zvolit pásmo s vyšší nosnou frekvencí a tomu úměrnou šířku pásma. Pro přenos menšího množství dat potom pásmo s frekvencí nižší.

Cíl diplomové práce, ověření možnosti rádiového přenosu signálu v pásmu 868 MHz za pomoci digitálních modulací, se díky velmi dobrému technickému vybavení laboratoře podařilo naplnit. Navržený způsob měření vlastností datových přenosů rádiovou cestou za pomoci generování digitálních modulací pomocí IQ složek signálu lze dále využít k výuce a zkoumání uvedené problematiky.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] ŽALUD, V. Moderní Radioelektronika. Praha: Technická literatura - Ben, 2000. 656 s. ISBN 978-80-7300-292-3.
- [2] CHI-HSI LI, Richard. RF Circuit Design.: John Wiley & Sons, 2009. 828 s. ISBN 978-0-470-16758-8.
- [3] DOBEŠ, J., ŽALUD, V. Moderní Radioelektrotechnika. Praha: Technická literatura - Ben, 2006. 768 s. ISBN 978-80-7300-293-0.
- [4] HRDINA, Z., VEJRAŽKA F. Signály a soustavy. [Skriptum]. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1998.
- [5] NEVŘIVA, P. Analýza signálů a soustav. Praha: Technická literatura - Ben, 2000. 670 s. ISBN 80-7300-004-0.
- [6] Agilent Technologies [online]. [cit. 2011-05-14]. Dostupné z www: <<http://www.agilent.com>>.
- [7] Rohde & Schwarz [online]. [cit. 2011-05-14]. Dostupné z www: <<http://www.rohde-schwarz.cz>>.
- [8] Wikipedia [online]. [cit. 2011-05-14]. Dostupné z www: <<http://www.wikipedia.org>>.
- [9] Kmitočtová pásma [online]. [cit. 2011-05-14]. Dostupné z www: <<http://www.radiolokatory.cz>>.
- [10] Elektromagnetické vlny [online]. [cit. 2011-05-14]. Dostupné z www: <<http://www.urel.feec.vutbr.cz>>.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1	Obecné schéma rádiového komunikačního systému	12
Obr. 2.1	Závislost normované přenosové kapacity = C_0 / B_0 a poměru signál / šum = S / N idealizovaného rádiového komunikačního systému, na normované šířce pásma B / B_0 [1].....	18
Obr. 3.1	Přehled základních modulačních způsobů používaných v rádiové komunikaci	21
Obr. 3.2	Tři základní varianty dvoustavových digitálních modulací: a) binární modulační signál typu PCM/RZ; b) signál ASK s klíčováním amplitudy; c) signál FSK s klíčováním frekvence; d) signál PSK s klíčováním fáze. [1].....	23
Obr. 3.3	Příklad IQ složek digitální modulační BPSK a zobrazení v rovině IQ	24
Obr. 3.4	Příklad IQ složek digitální modulační 16-QAM a zobrazení v rovině IQ ..	25
Obr. 3.5	Průběh dvoustavové modulační ASK v časové oblasti.....	26
Obr. 3.6	Spektrum (obálka) dvoustavové modulační ASK ve frekvenční oblasti, nosná vlna 50 MHz.....	27
Obr. 3.7	Průběh dvoustavové modulační PSK v časové oblasti.....	28
Obr. 3.8	Spektrum (obálka) dvoustavové modulační PSK ve frekvenční oblasti, nosná vlna 50 MHz.....	29
Obr. 3.9	Průběh modulační 16-QAM v časové oblasti.....	31
Obr. 3.10	Spektrum (obálka) modulační 16-QAM ve frekvenční oblasti, nosná vlna 50 MHz	31
Obr. 3.11	Spektrum (obálka) dvoustavové modulační FSK ve frekvenční oblasti, nosná vlna 50 MHz.....	34
Obr. 4.1	Blokové schéma vysílače (TX)	36
Obr. 4.2	Vysílač (TX).....	36
Obr. 4.3	Blokové schéma přijímače (RX)	38
Obr. 4.4	Přijímač (RX)	38
Obr. 4.5	Blokové schéma návrhu měřicího řetězce	39
Obr. 5.1	Blokové schéma reálného měřicího řetězce.....	41
Obr. 5.2	Laboratorní pracoviště, část generování IQ složek signálu	42
Obr. 5.3	Software Agilent Technologies U1035A IQ Signal Generátor	43

Obr. 5.4	Laboratorní pracoviště, část modulace nosného signálu a vlastního přenosu signálu bezdrátovým komunikačním systémem	43
Obr. 5.5	Software Agilent Technologies RF Trainer Control Panel, který slouží ke komunikaci prostřednictvím USB portů s vysílačem ME1000 a přijímačem ME1000	44
Obr. 6.1	Průběh signálu modulace ASK při modulační frekvenci 100 kS/s	45
Obr. 6.2	Průběh signálu modulace ASK při modulační frekvenci 200 kS/s	46
Obr. 6.3	Průběh signálu modulace ASK při modulační frekvenci 500 kS/s	47
Obr. 6.4	Průběh signálu modulace ASK při modulační frekvenci 2 MS/s	48
Obr. 6.5	Generování modulace BPSK.....	49
Obr. 6.6	IQ složky signálu a konstelační diagram modulace BPSK	49
Obr. 6.7	Průběh signálu v časové oblasti modulace BPSK.....	50
Obr. 6.8	Změna fáze modulace BPSK	51
Obr. 6.9	Změna fáze modulace BPSK, detail signálu před rádiovou cestou	51
Obr. 6.10	Změna fáze modulace BPSK, detail signálu za rádiovou cestou.....	52
Obr. 6.11	Generování modulace 16-QAM.....	53
Obr. 6.12	IQ složky signálu a konstelační diagram modulace 16-QAM	53
Obr. 6.13	Průběh signálu v časové oblasti modulace 16-QAM	54
Obr. 6.14	Změna amplitudy modulace 16-QAM.....	55
Obr. 6.15	Změna amplitudy modulace 16-QAM, detail signálu	55
Obr. 6.16	Generování modulace 64-QAM.....	56
Obr. 6.17	IQ složky signálu a konstelační diagram modulace 64-QAM	57
Obr. 6.18	Průběh signálu v časové oblasti modulace 64-QAM	58
Obr. 6.19	Změna amplitudy a fáze modulace 64-QAM	59
Obr. 6.20	Změna amplitudy a fáze modulace 64-QAM, detail signálu před rádiovou cestou	59
Obr. 6.21	Změna amplitudy a fáze modulace 64-QAM, detail signálu za rádiovou cestou	60
Obr. 6.22	Generování modulace FSK	61
Obr. 6.23	IQ složky signálu a konstelační diagram modulace FSK.....	61
Obr. 6.24	Průběh signálu v časové oblasti modulace FSK.....	62
Obr. 6.25	Detail průběhu signálu v časové oblasti modulace FSK.....	63
Obr. 7.1	Modulace BPSK při odstupu nosné od šumu 20 dB.....	64
Obr. 7.2	Modulace BPSK při odstupu nosné od šumu 10 dB.....	65

Obr. 7.3	Modulace BPSK při odstupu nosné od šumu 5 dB.....	65
Obr. 7.4	Modulace 16-QAM při odstupu nosné od šumu 30 dB	66
Obr. 7.5	Modulace 16-QAM při odstupu nosné od šumu 20 dB	66
Obr. 7.6	Modulace 16-QAM při odstupu nosné od šumu 10 dB	67
Obr. 7.7	Modulace 64-QAM při odstupu nosné od šumu 40 dB	67
Obr. 7.8	Modulace 64-QAM při odstupu nosné od šumu 30 dB	68
Obr. 7.9	Modulace 64-QAM při odstupu nosné od šumu 20 dB	68

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Kmitočtová pásma rádiových vln

SEZNAM ZKRATEK

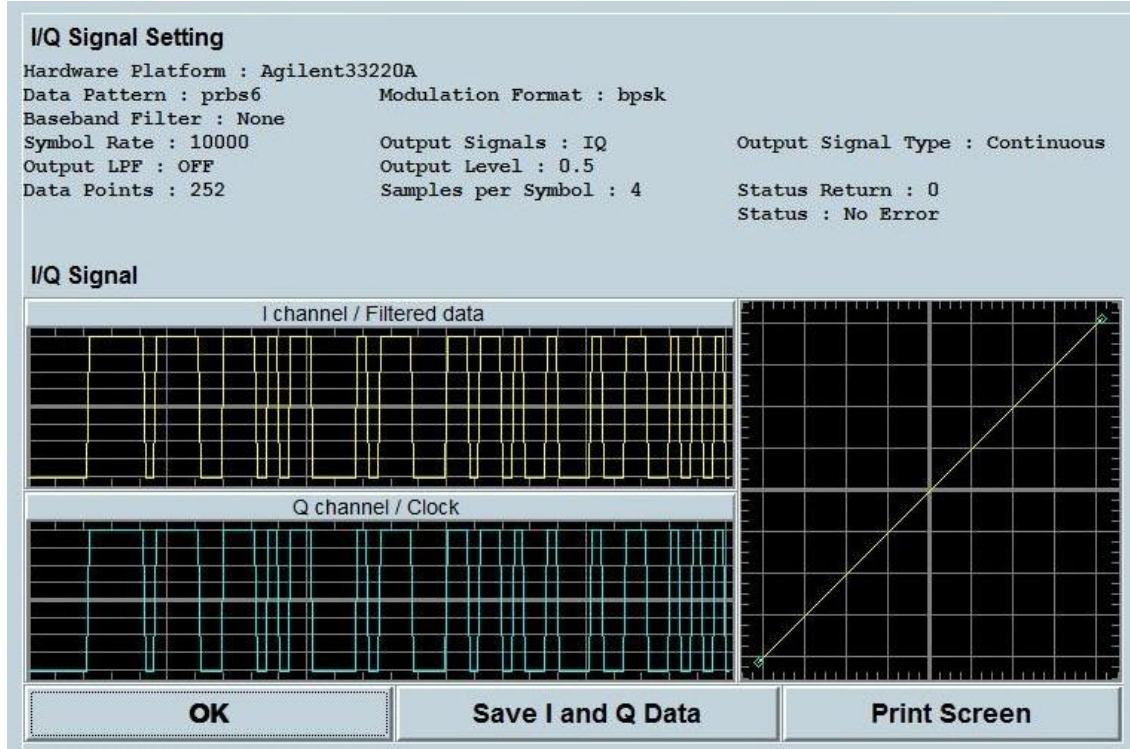
EIRP	Efektivní izotropický vyzařovaný výkon
UHF	Ultra vysoké frekvence
UKV	Ultra krátké vlny
BER	Chybovost
AWGN	Gaussovský bílý šum
AM	Amplitudová modulace
FM	Frekvenční modulace
PM	Fázová modulace
ASK	Modulace s klíčováním amplitudy
FSK	Modulace s klíčováním frekvence
PSK	Modulace s klíčováním fáze
QAM	Kvadraturní amplitudová modulace
USB	Univerzální sériová sběrnice

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1	Ostatní výsledky měření, BPSK
Příloha č. 2	Ostatní výsledky měření, 16-QAM
Příloha č. 3	Ostatní výsledky měření, 64-QAM
Příloha č. 4	Ostatní výsledky měření, FSK

Ostatní výsledky měření, BPSK

Start	Abort	Re-Send	Stop	Show	Edit Pattern	Configure System
Standard System User		Symbol Rate 10k				
Hardware Platform Agilent33220A		Max. Samples per Symbol Max. SPS = 600 User Defined SPS = 4 Change				
Data Pattern prbs6		Output Signals I and Q Change IF/SR				
Modulation Format bpsk No Parameters Change		Output Signal Type Continuous No Parameters Change				
Baseband Filter None No Parameters Change		Function Generator Output 0.2 0.5 5				
Impairments None No Parameters Change		Signal Generator OFF 2.4G Hz 0.5 dBm				

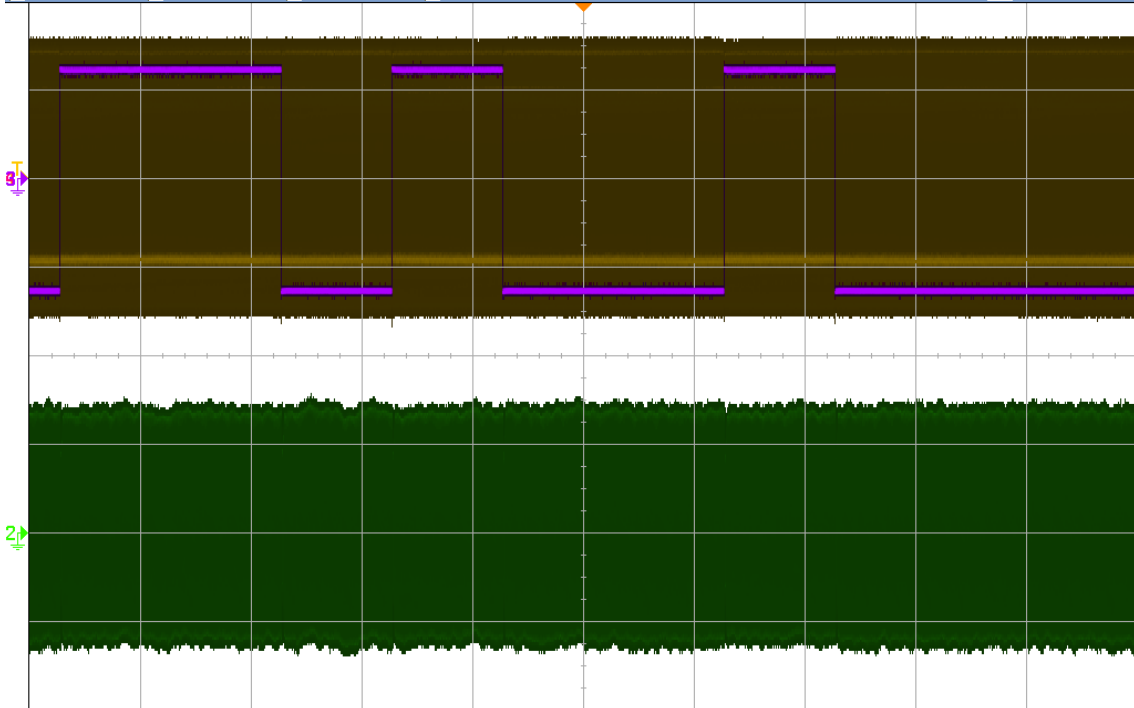




Agilent Technologies

TUE MAY 03 18:58:53 2011

1 200V/ 2 10V/ 3 200V/ 4 200V/ 0.0s 100.0%/ Stop f 1 1.88V



Channel 3 Menu

Coupling DC

Imped 1M Ohm

BW Limit

Fine

Invert

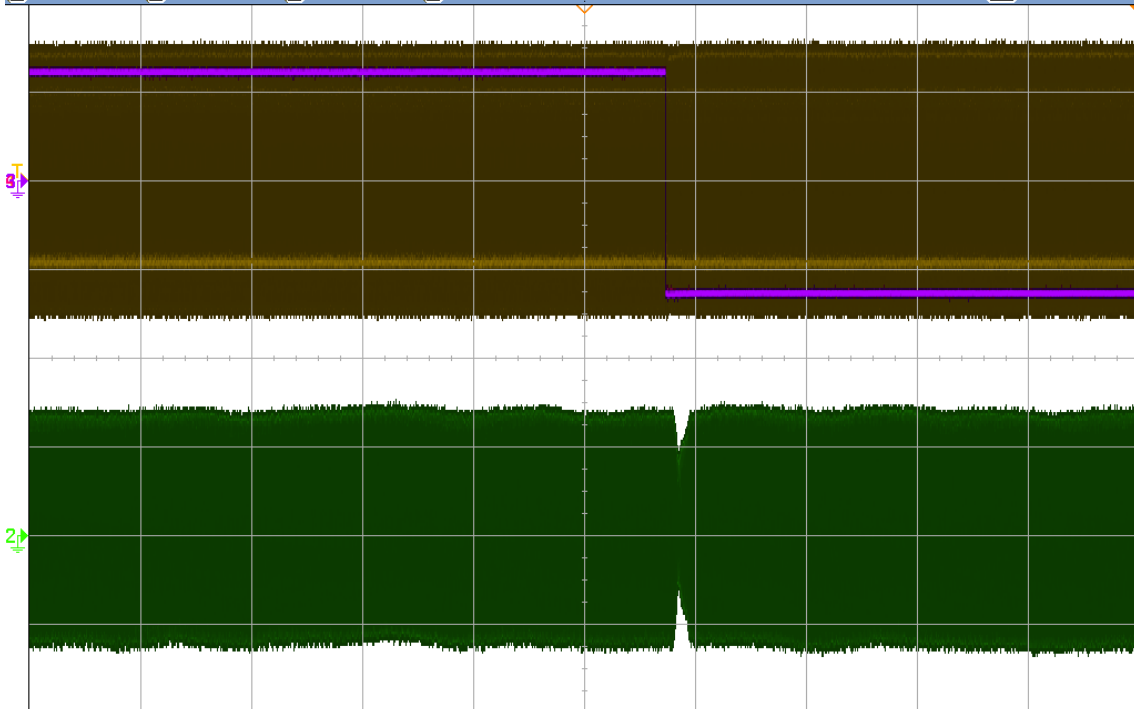
Probe



Agilent Technologies

TUE MAY 03 18:59:18 2011

1 200V/ 2 10V/ 3 200V/ 4 200V/ -80.00% 10.00%/ Stop f 1 1.88V



Channel 3 Menu

Coupling DC

Imped 1M Ohm

BW Limit

Fine

Invert

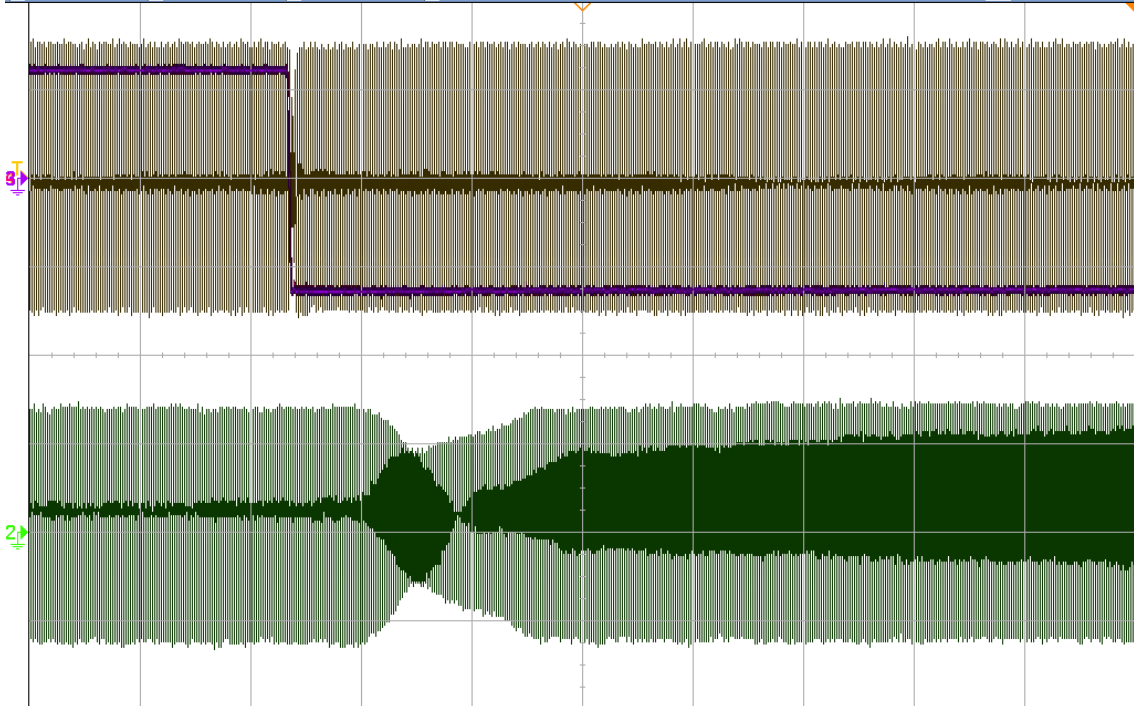
Probe



Agilent Technologies

TUE MAY 03 18:59:45 2011

1 200V/ 2 10V/ 3 200V/ 4 200V/ -70.00% 1.000%/ Stop f 1 1.88V



Channel 3 Menu

Coupling DC

Imped 1M Ohm

BW Limit

Fine

Invert

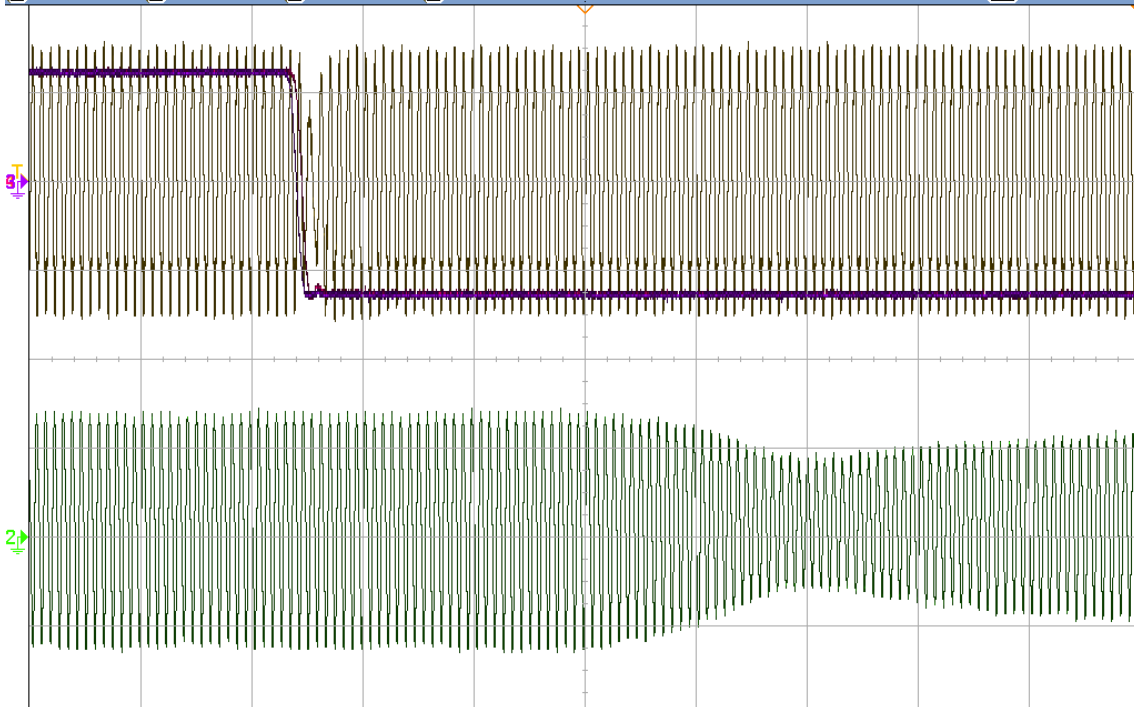
Probe



Agilent Technologies

TUE MAY 03 19:00:13 2011

1 200V/ 2 10V/ 3 200V/ 4 200V/ -72.00% 250.0%/ Stop f 1 1.88V



Channel 3 Menu

Coupling DC

Imped 1M Ohm

BW Limit

Fine

Invert

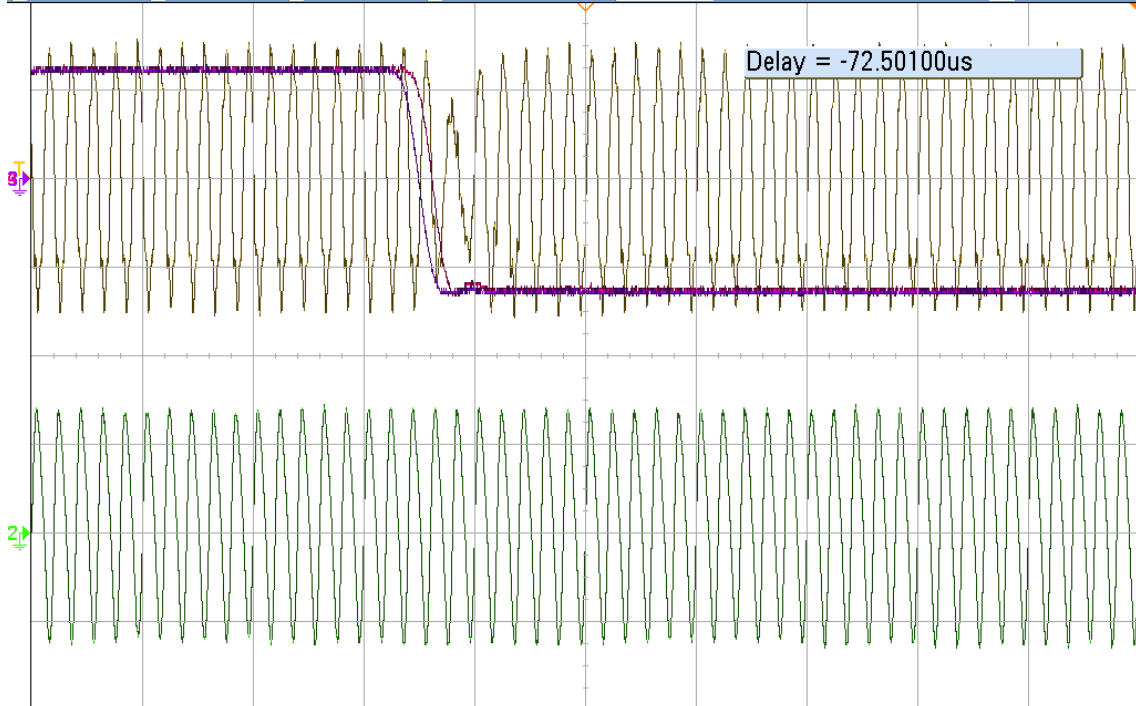
Probe



Agilent Technologies

TUE MAY 03 19:00:32 2011

1 200mV/ 2 10mV/ 3 200mV/ 4 200mV/ -72.50µs 100.0%/ Stop f 1 1.88µs



Channel 3 Menu

Coupling
DC

Imped
1M Ohm

BW Limit

Fine

Invert

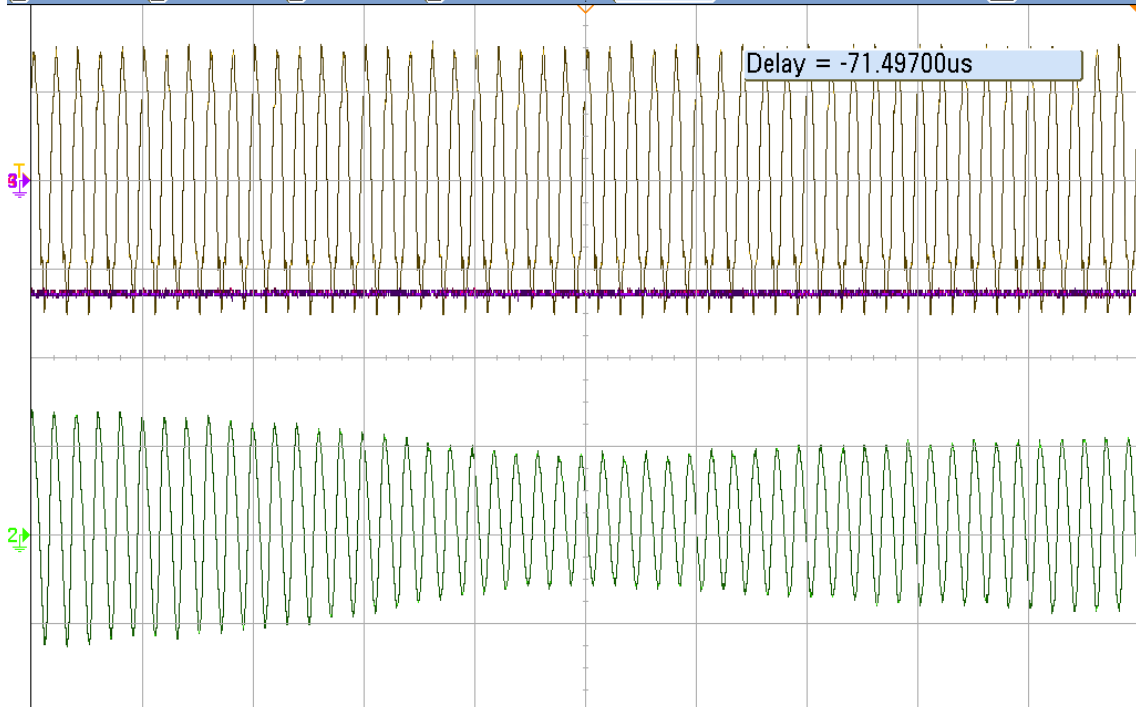
Probe



Agilent Technologies

TUE MAY 03 19:00:46 2011

1 200mV/ 2 10mV/ 3 200mV/ 4 200mV/ -71.50µs 100.0%/ Stop f 1 1.88µs



Channel 3 Menu

Coupling
DC

Imped
1M Ohm

BW Limit

Fine

Invert

Probe

Start	Abort	Re-Send	Stop	Show	Edit Pattern	Configure System
--------------	--------------	----------------	-------------	-------------	---------------------	-------------------------

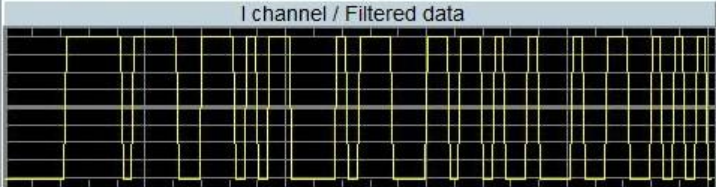
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 150px;">Standard System</td> <td>User</td> </tr> <tr> <td>Hardware Platform</td> <td>Agilent33220A</td> </tr> <tr> <td>Data Pattern</td> <td>prbs6</td> </tr> <tr> <td>Modulation Format</td> <td>bpsk</td> </tr> <tr> <td>No Parameters</td> <td style="text-align: center;">Change</td> </tr> <tr> <td>Baseband Filter</td> <td>None</td> </tr> <tr> <td>No Parameters</td> <td style="text-align: center;">Change</td> </tr> <tr> <td>Impairments</td> <td>None</td> </tr> <tr> <td>No Parameters</td> <td style="text-align: center;">Change</td> </tr> </table>	Standard System	User	Hardware Platform	Agilent33220A	Data Pattern	prbs6	Modulation Format	bpsk	No Parameters	Change	Baseband Filter	None	No Parameters	Change	Impairments	None	No Parameters	Change	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2">Symbol Rate</td> </tr> <tr> <td colspan="2">1M</td> </tr> <tr> <td>Max. Samples per Symbol</td> <td>Max. SPS = 6</td> </tr> <tr> <td>User Defined SPS = 4</td> <td style="text-align: center;">Change</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Output Signals</td> </tr> <tr> <td>I and Q</td> <td style="text-align: center;">Change IF/SR</td> </tr> <tr> <td>Output Signal Type</td> <td>Continuous</td> </tr> <tr> <td>No Parameters</td> <td style="text-align: center;">Change</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Function Generator Output</td> </tr> <tr> <td>0.2</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">5</td> </tr> <tr> <td>Signal Generator</td> <td>OFF</td> </tr> <tr> <td>2.4G</td> <td>Hz</td> </tr> <tr> <td>0.5</td> <td>dBm</td> </tr> </table>	Symbol Rate		1M		Max. Samples per Symbol	Max. SPS = 6	User Defined SPS = 4	Change	Output Signals		I and Q	Change IF/SR	Output Signal Type	Continuous	No Parameters	Change	Function Generator Output		0.2	0.5	5		Signal Generator	OFF	2.4G	Hz	0.5	dBm
Standard System	User																																														
Hardware Platform	Agilent33220A																																														
Data Pattern	prbs6																																														
Modulation Format	bpsk																																														
No Parameters	Change																																														
Baseband Filter	None																																														
No Parameters	Change																																														
Impairments	None																																														
No Parameters	Change																																														
Symbol Rate																																															
1M																																															
Max. Samples per Symbol	Max. SPS = 6																																														
User Defined SPS = 4	Change																																														
Output Signals																																															
I and Q	Change IF/SR																																														
Output Signal Type	Continuous																																														
No Parameters	Change																																														
Function Generator Output																																															
0.2	0.5																																														
5																																															
Signal Generator	OFF																																														
2.4G	Hz																																														
0.5	dBm																																														

I/Q Signal Setting


Hardware Platform : Agilent33220A
 Data Pattern : prbs6 Modulation Format : bpsk
 Baseband Filter : None Output Signals : IQ Output Signal Type : Continuous
 Symbol Rate : 1000000 Output Level : 0.5 Status Return : 0
 Output LPF : OFF Samples per Symbol : 4 Status : No Error
 Data Points : 252

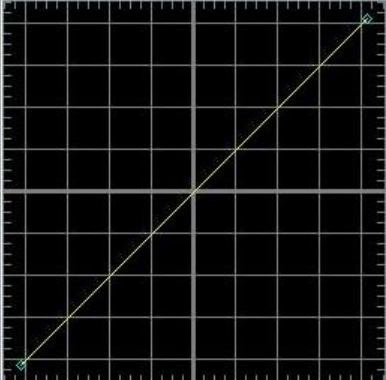
I/Q Signal

I channel / Filtered data



Q channel / Clock





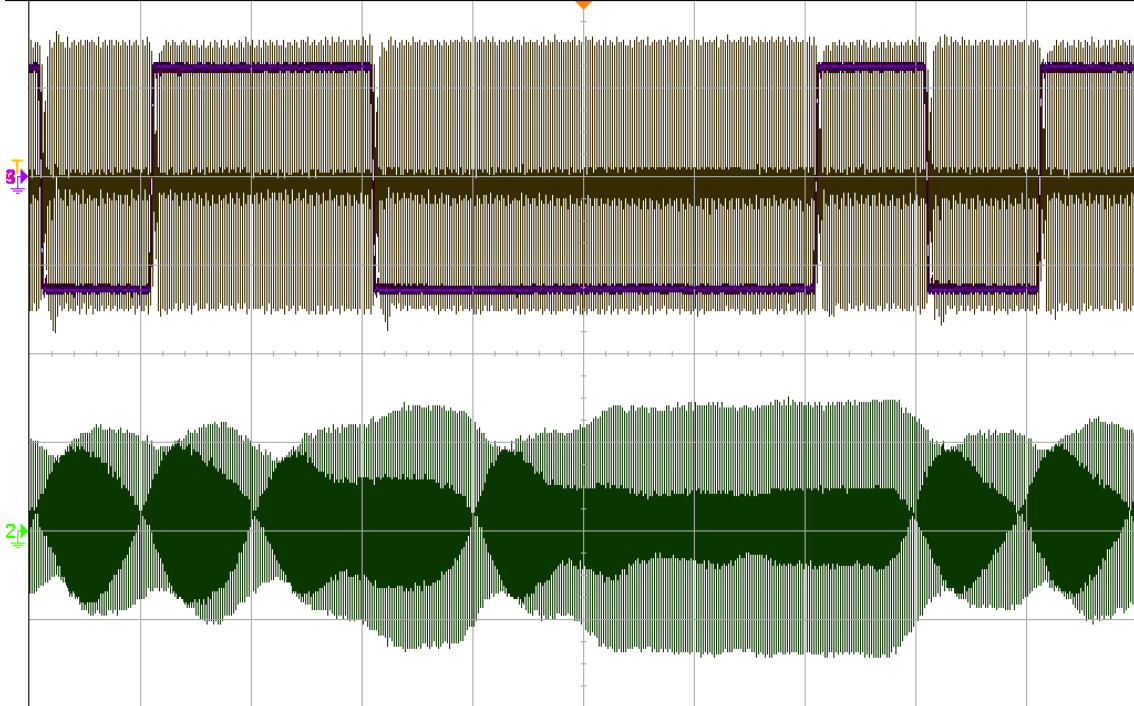
OK	Save I and Q Data	Print Screen
-----------	--------------------------	---------------------



Agilent Technologies

TUE MAY 03 19:15:39 2011

1 200V/ 2 10V/ 3 200V/ 4 200V/ 0.0s 1.000%/ Stop f 1 1.88V



Channel 3 Menu

Coupling
DC

Imped
1M Ohm

BW Limit

Fine

Invert

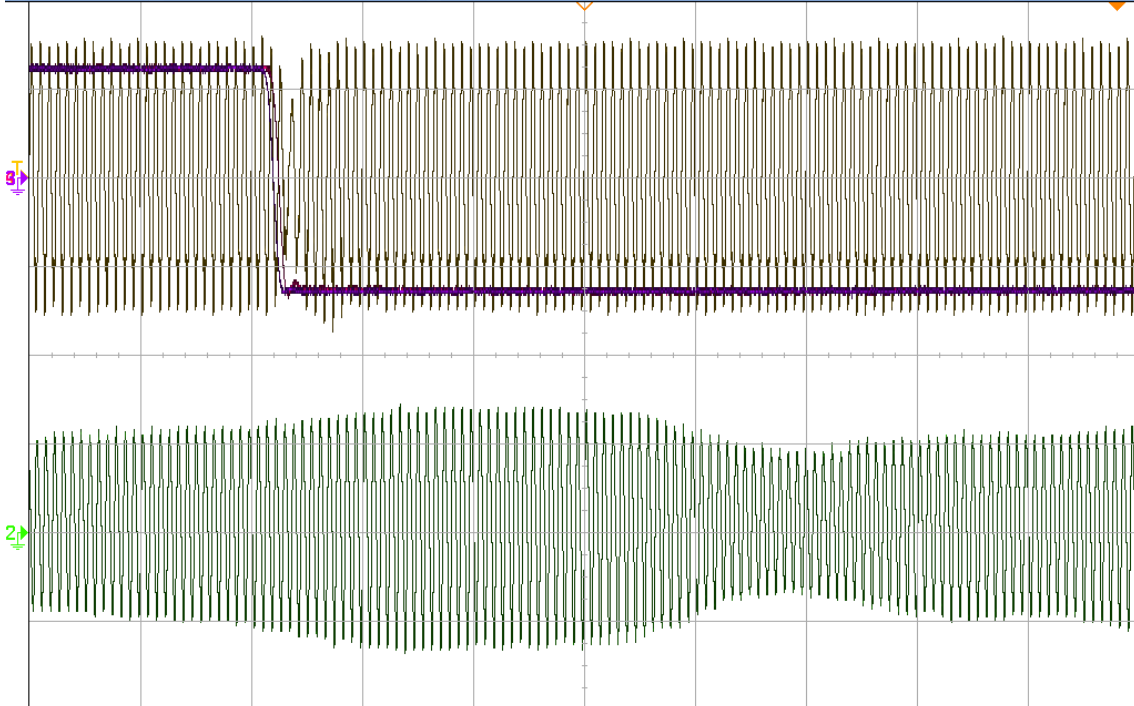
Probe



Agilent Technologies

TUE MAY 03 19:16:07 2011

1 200V/ 2 10V/ 3 200V/ 4 200V/ -1.200s 250.0%/ Stop f 1 1.88V



Channel 3 Menu

Coupling
DC

Imped
1M Ohm

BW Limit

Fine

Invert

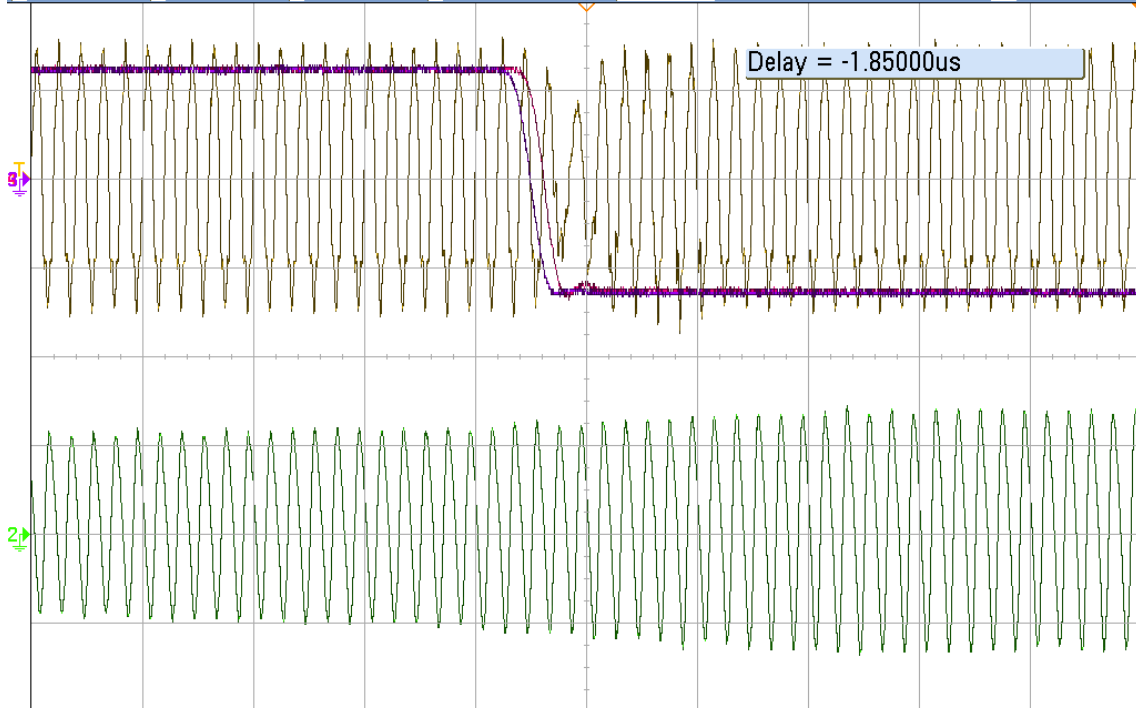
Probe



Agilent Technologies

TUE MAY 03 19:16:29 2011

1 200V/ 2 10V/ 3 200V/ 4 200V/ -1.850µs 100.0%/ Stop f 1 1.88V



Channel 3 Menu

Coupling
DC

Imped
1M Ohm

BW Limit

Fine

Invert

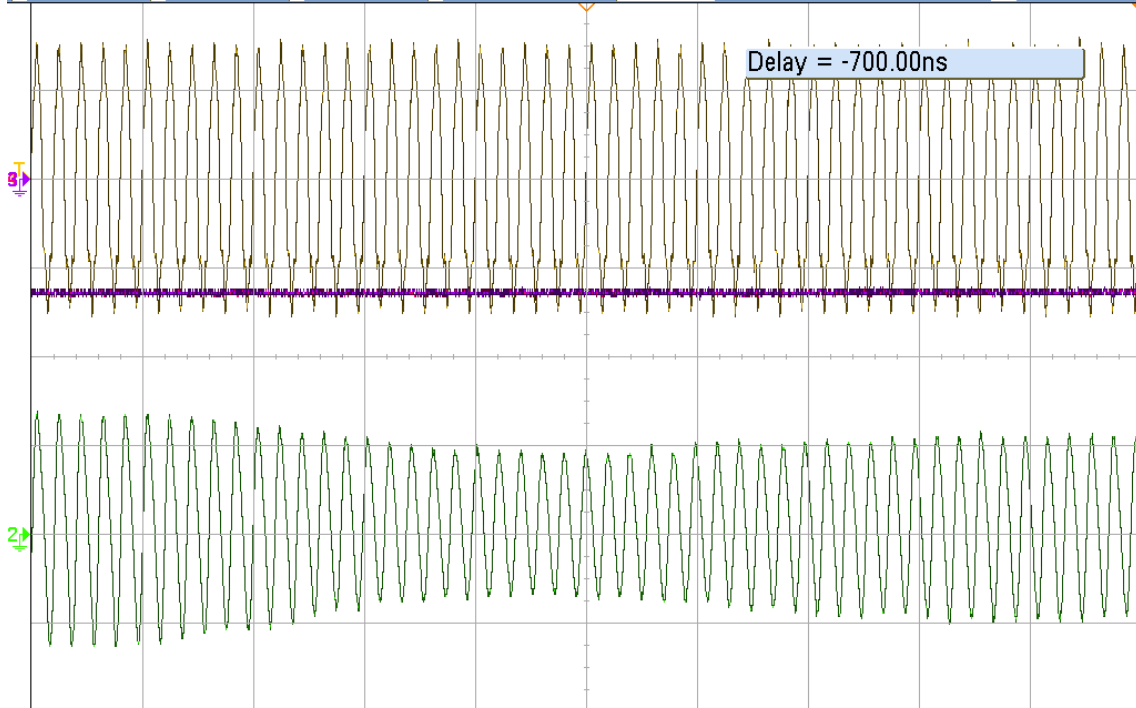
Probe



Agilent Technologies

TUE MAY 03 19:16:43 2011

1 200V/ 2 10V/ 3 200V/ 4 200V/ -700.0ns 100.0%/ Stop f 1 1.88V



Channel 3 Menu

Coupling
DC

Imped
1M Ohm

BW Limit

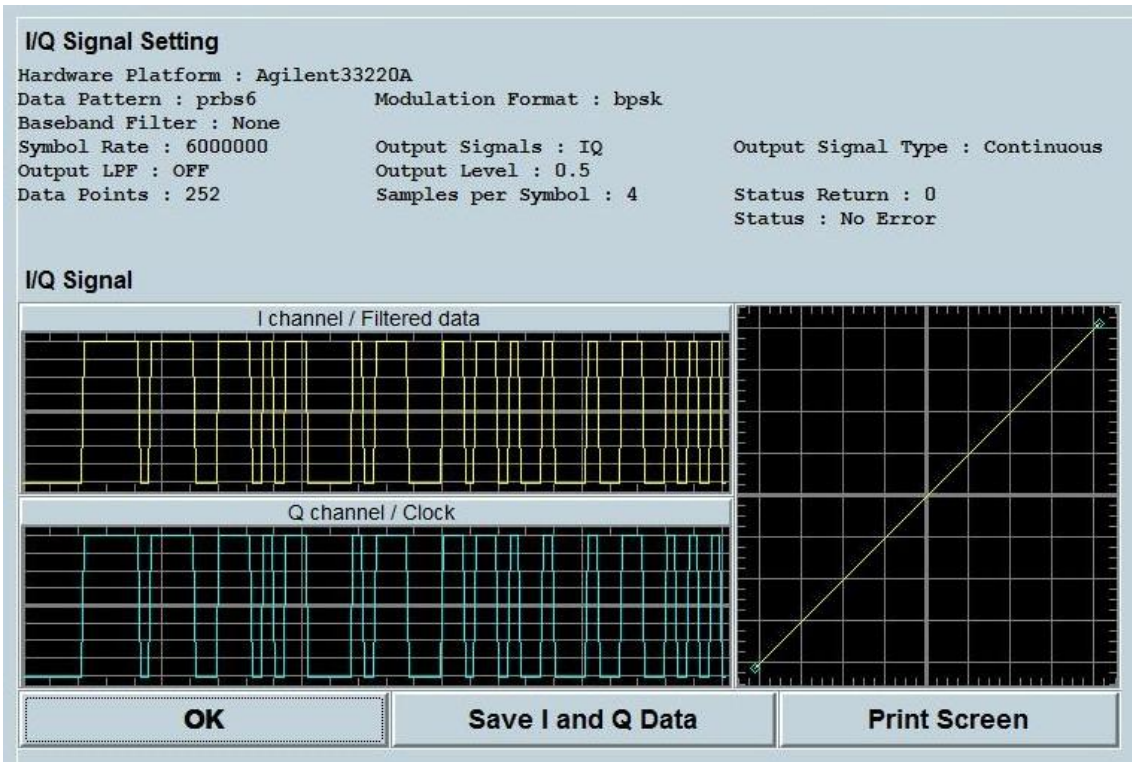
Fine

Invert

Probe

Start	Abort	Re-Send	Stop	Show	Edit Pattern	Configure System
--------------	--------------	----------------	-------------	-------------	---------------------	-------------------------

<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 80%;">Standard System</td> <td>User</td> </tr> <tr> <td>Hardware Platform</td> <td>Agilent33220A</td> </tr> <tr> <td>Data Pattern</td> <td>prbs6</td> </tr> <tr> <td>Modulation Format</td> <td>bpsk</td> </tr> <tr> <td>No Parameters</td> <td>Change</td> </tr> <tr> <td>Baseband Filter</td> <td>None</td> </tr> <tr> <td>No Parameters</td> <td>Change</td> </tr> <tr> <td>Impairments</td> <td>None</td> </tr> <tr> <td>No Parameters</td> <td>Change</td> </tr> </table>	Standard System	User	Hardware Platform	Agilent33220A	Data Pattern	prbs6	Modulation Format	bpsk	No Parameters	Change	Baseband Filter	None	No Parameters	Change	Impairments	None	No Parameters	Change	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2">Symbol Rate</td> </tr> <tr> <td colspan="2">6M</td> </tr> <tr> <td>Max. Samples per Symbol</td> <td>Max. SPS = 1</td> </tr> <tr> <td>User Defined SPS = 4</td> <td>Change</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Output Signals</td> </tr> <tr> <td>I and Q</td> <td>Change IF/SR</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Output Signal Type</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Continuous</td> </tr> <tr> <td>No Parameters</td> <td>Change</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Function Generator Output</td> </tr> <tr> <td>0.2</td> <td>0.5</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Signal Generator</td> </tr> <tr> <td colspan="2">OFF</td> </tr> <tr> <td>2.4G</td> <td>Hz</td> <td>0.5</td> <td>dBm</td> </tr> </table>	Symbol Rate		6M		Max. Samples per Symbol	Max. SPS = 1	User Defined SPS = 4	Change	Output Signals		I and Q	Change IF/SR	Output Signal Type		Continuous		No Parameters	Change	Function Generator Output		0.2	0.5	5	Signal Generator		OFF		2.4G	Hz	0.5	dBm
Standard System	User																																																	
Hardware Platform	Agilent33220A																																																	
Data Pattern	prbs6																																																	
Modulation Format	bpsk																																																	
No Parameters	Change																																																	
Baseband Filter	None																																																	
No Parameters	Change																																																	
Impairments	None																																																	
No Parameters	Change																																																	
Symbol Rate																																																		
6M																																																		
Max. Samples per Symbol	Max. SPS = 1																																																	
User Defined SPS = 4	Change																																																	
Output Signals																																																		
I and Q	Change IF/SR																																																	
Output Signal Type																																																		
Continuous																																																		
No Parameters	Change																																																	
Function Generator Output																																																		
0.2	0.5	5																																																
Signal Generator																																																		
OFF																																																		
2.4G	Hz	0.5	dBm																																															

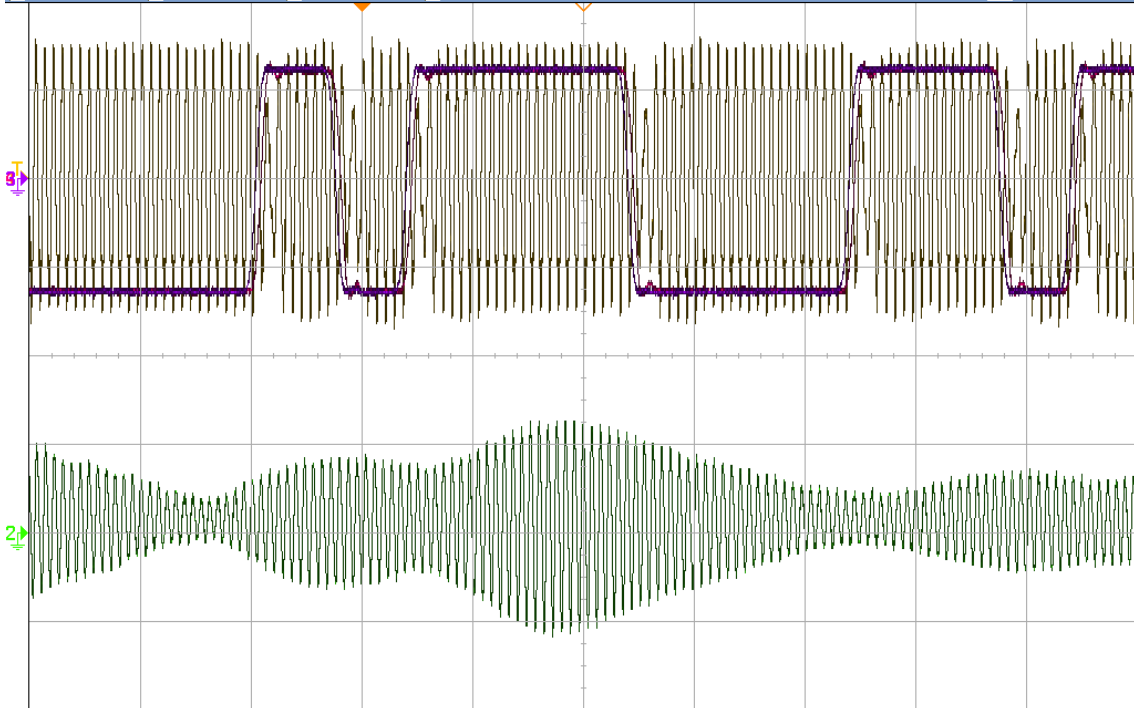




Agilent Technologies

TUE MAY 03 19:23:01 2011

1 200V/ 2 10V/ 3 200V/ 4 200V/ 500.0ns 250.0%/ Stop f 1 1.88V



Channel 3 Menu

Coupling
DC

Imped
1M Ohm

BW Limit

Fine

Invert

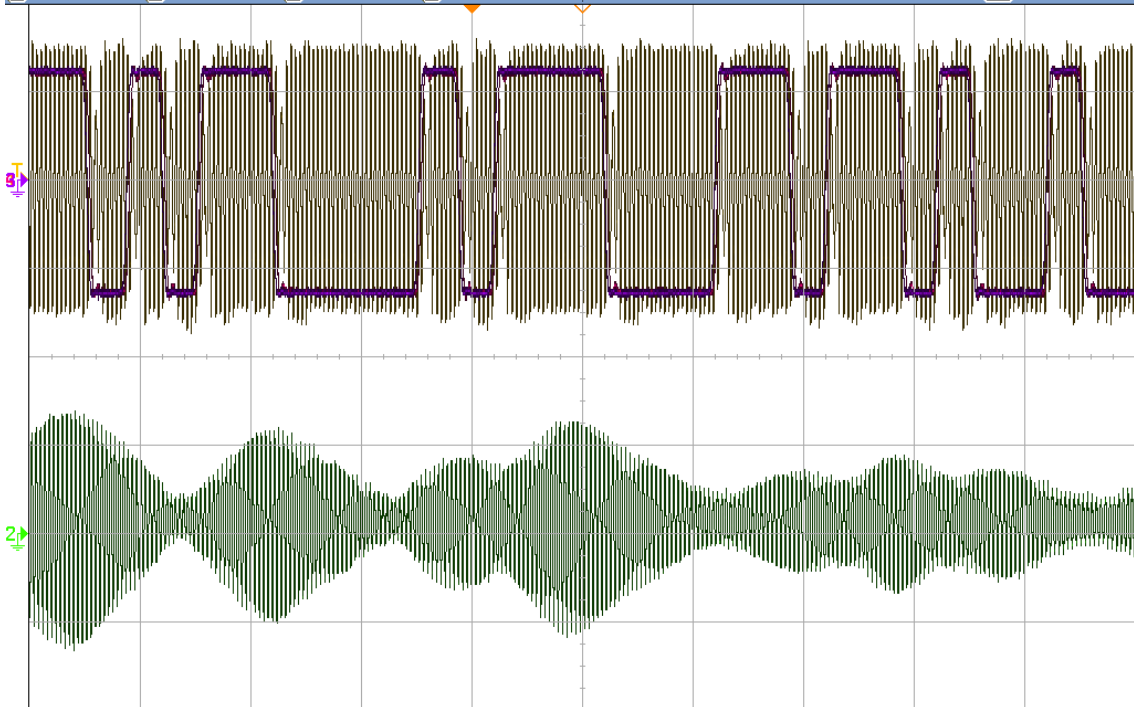
Probe



Agilent Technologies

TUE MAY 03 19:23:17 2011

1 200V/ 2 10V/ 3 200V/ 4 200V/ 500.0ns 500.0%/ Stop f 1 1.88V



Channel 3 Menu

Coupling
DC

Imped
1M Ohm

BW Limit

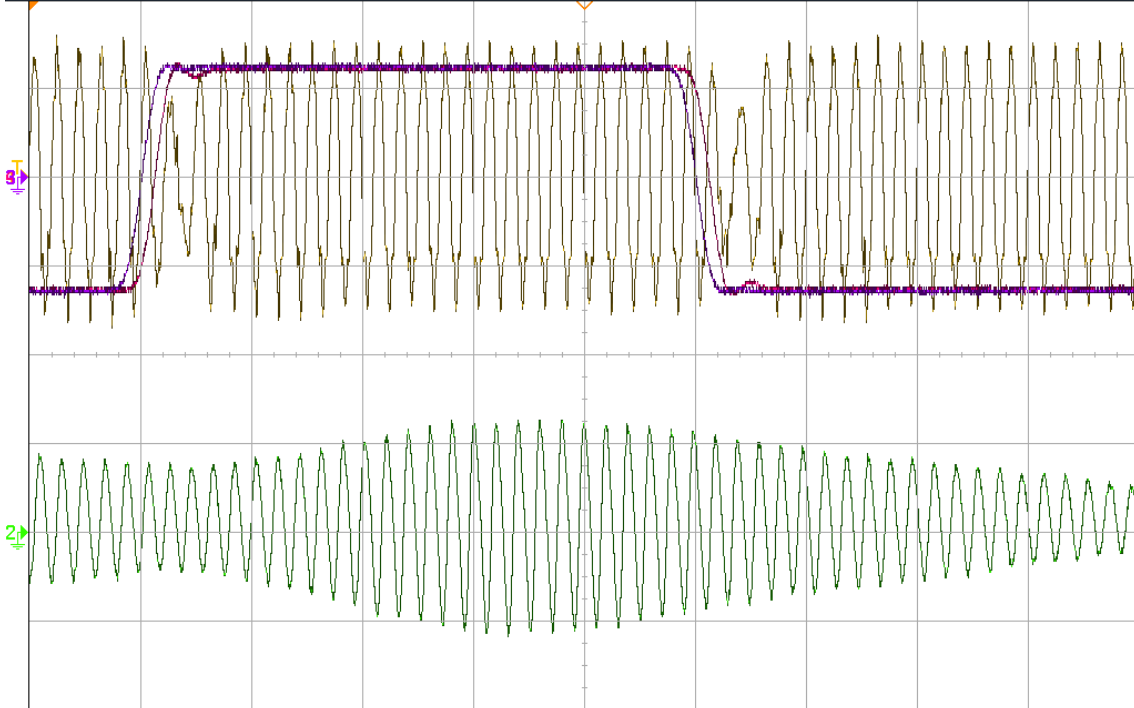
Fine

Invert

Probe



1 200V/ 2 10V/ 3 200V/ 4 200V/ 500.0ns 100.0ns/ Stop f 1 1.88V



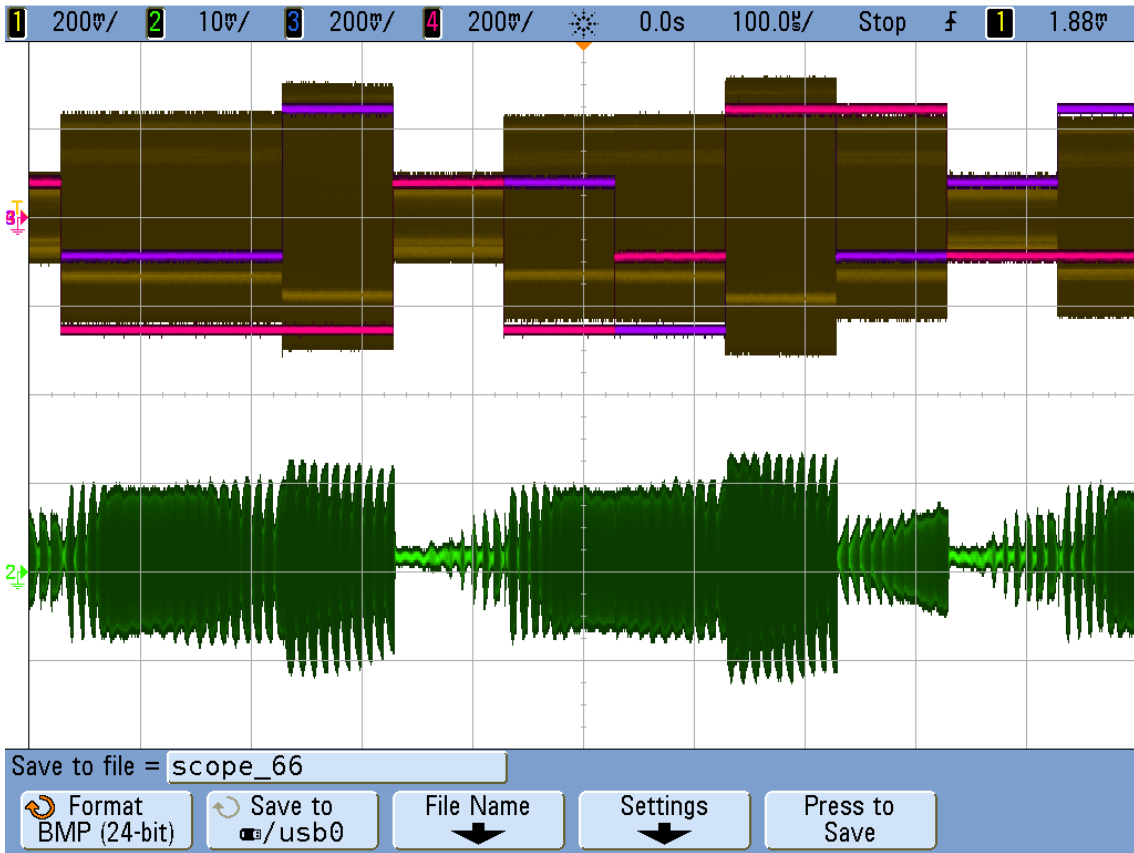
Channel 3 Menu

Coupling DC	Imped 1M Ohm	BW Limit <input type="checkbox"/>	Fine <input type="checkbox"/>	Invert <input type="checkbox"/>	Probe ↓
----------------	-----------------	--------------------------------------	----------------------------------	------------------------------------	------------



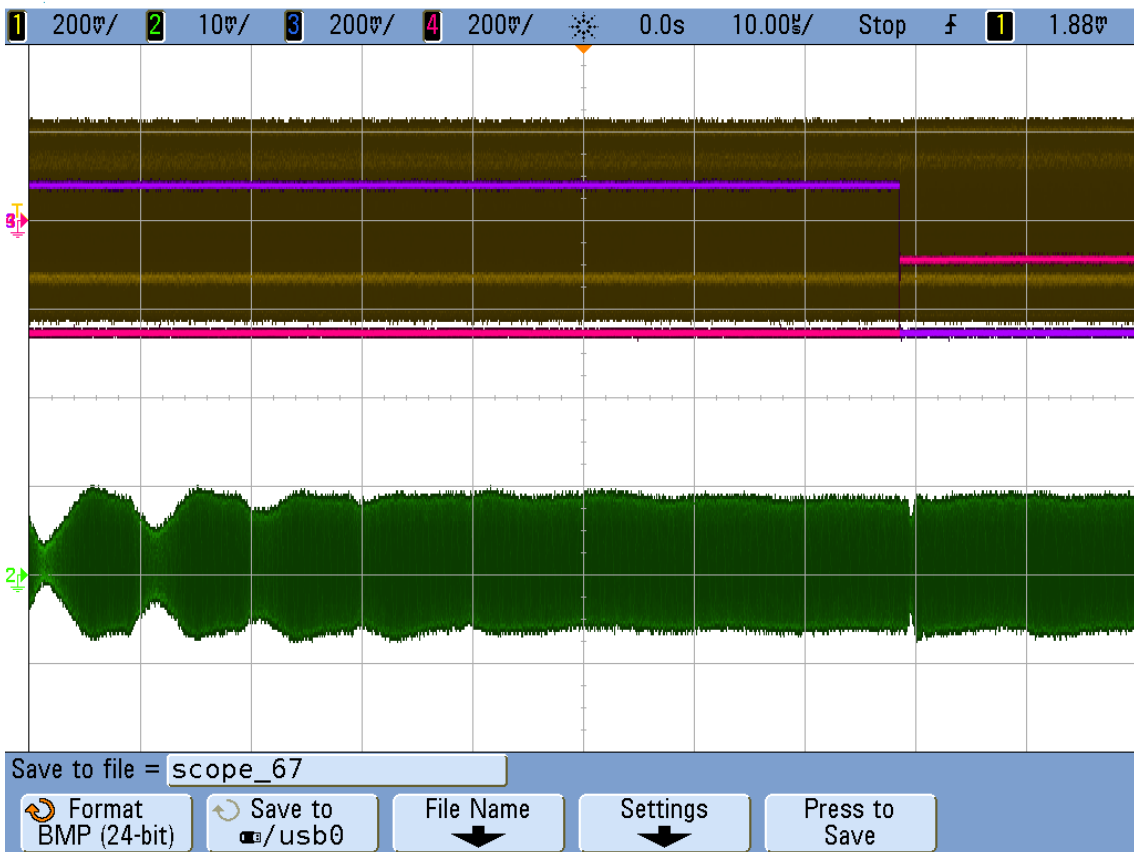
Agilent Technologies

TUE MAY 03 18:30:52 2011



Agilent Technologies

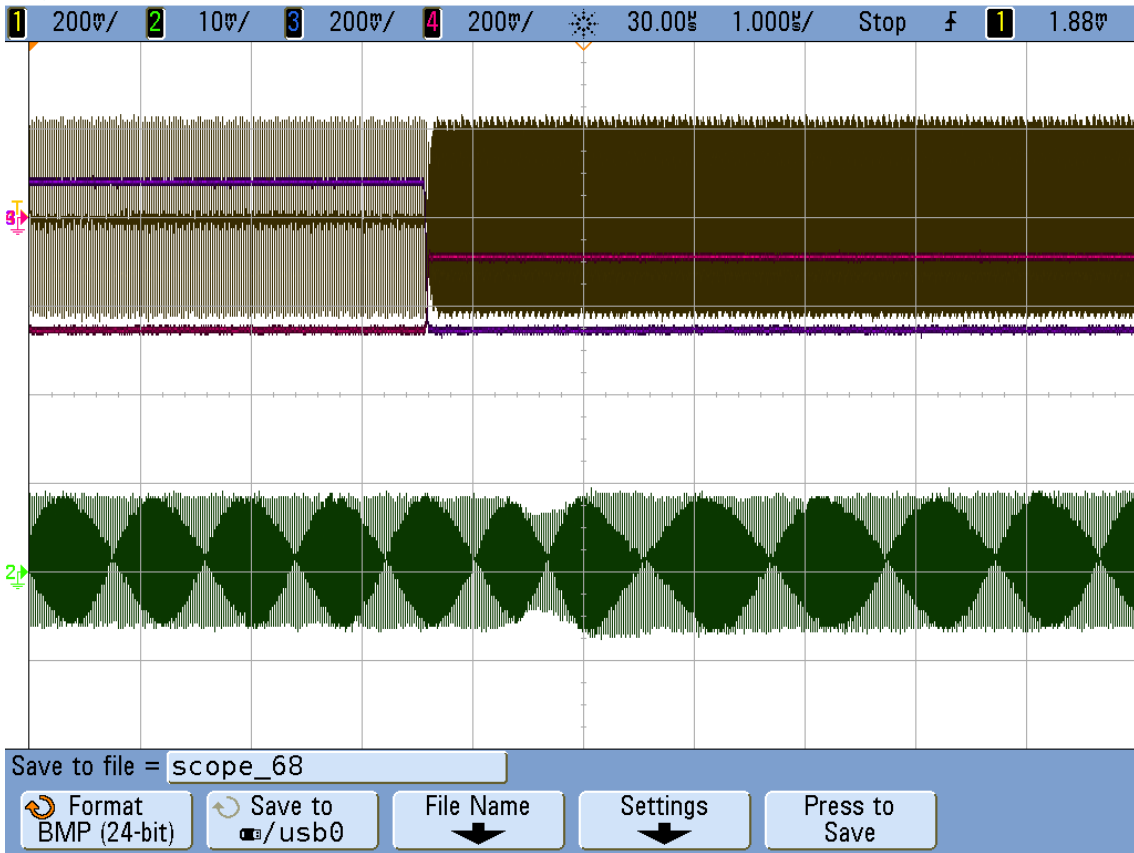
TUE MAY 03 18:31:25 2011





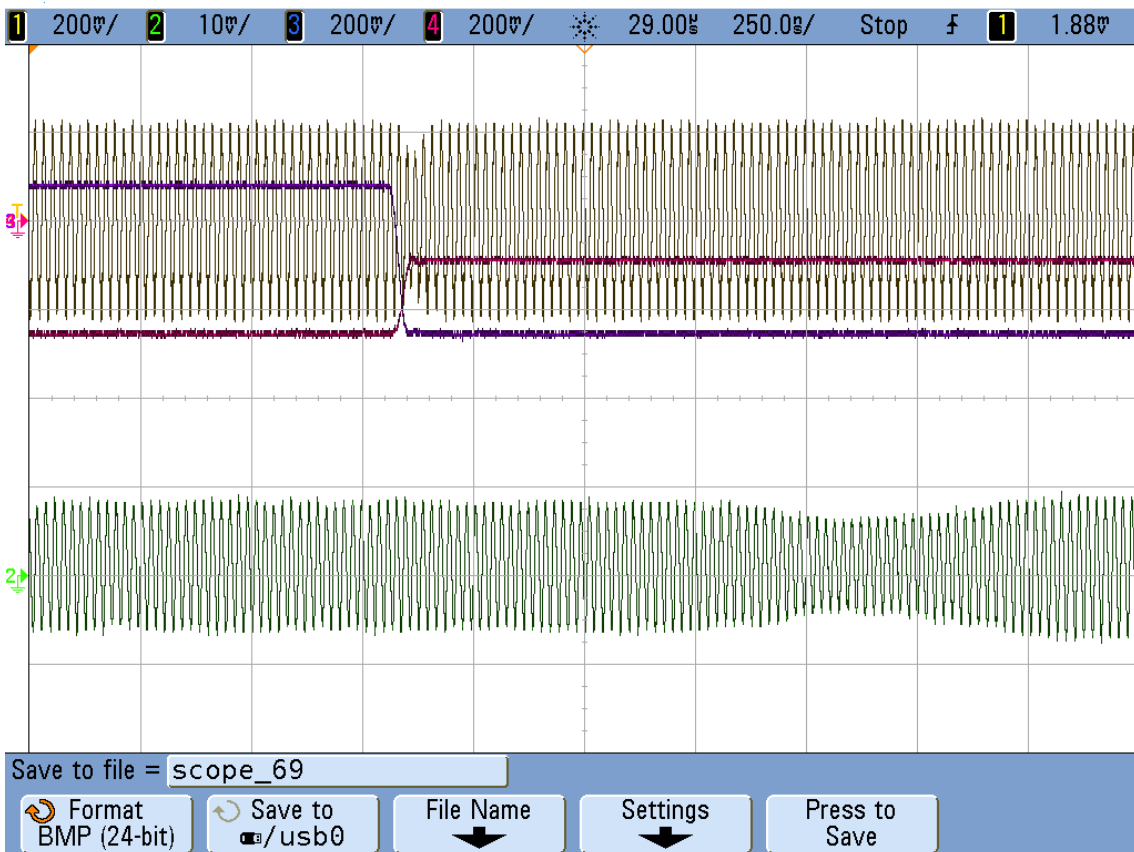
Agilent Technologies

TUE MAY 03 18:31:53 2011



Agilent Technologies

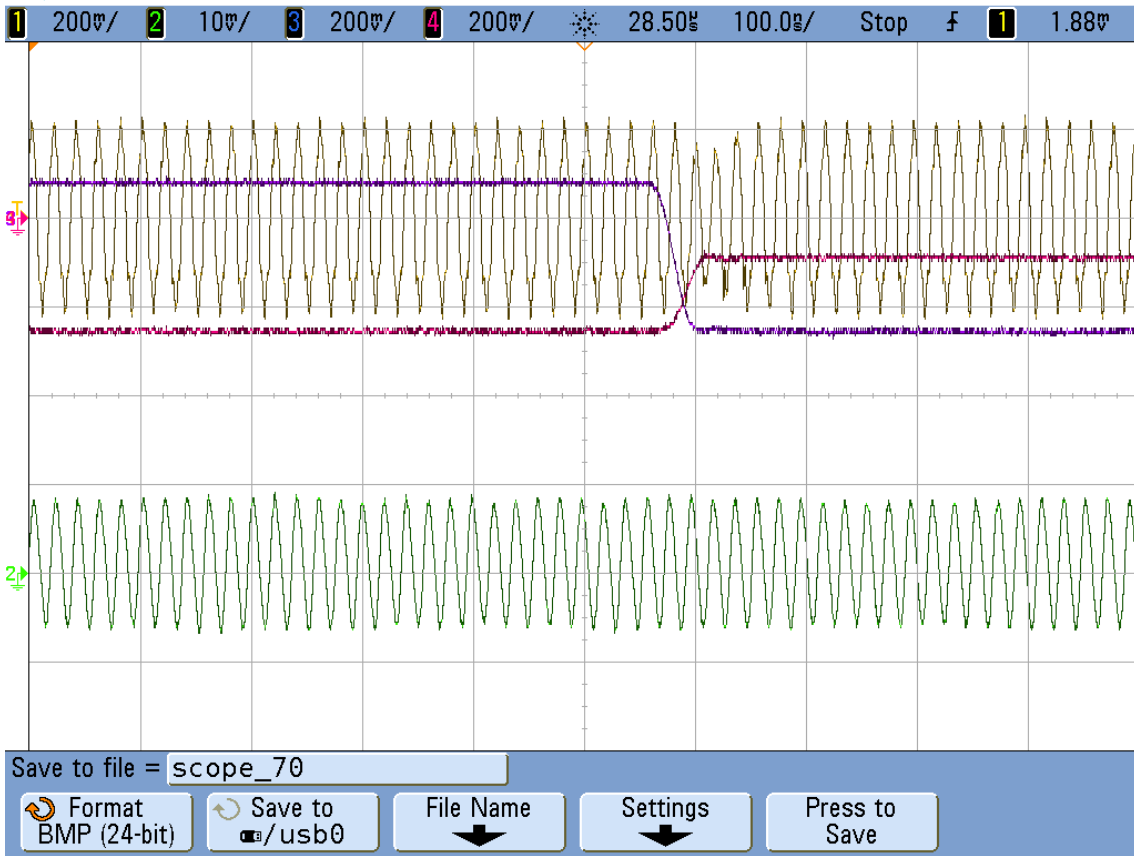
TUE MAY 03 18:32:28 2011





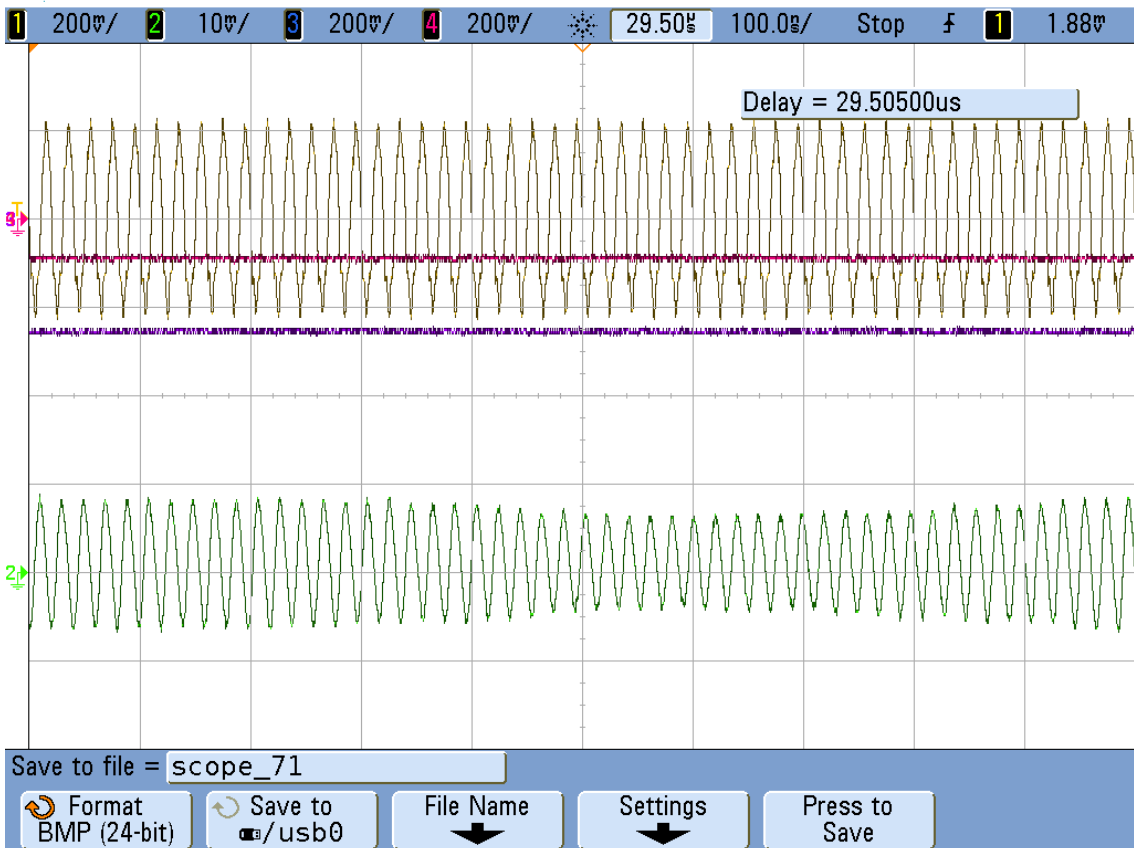
Agilent Technologies

TUE MAY 03 18:32:50 2011



Agilent Technologies

TUE MAY 03 18:33:07 2011



Standard System

Hardware Platform

Data Pattern

Modulation Format

Baseband Filter

Impairments

Symbol Rate

Max. Samples per Symbol

Output Signals

Output Signal Type

Function Generator Output

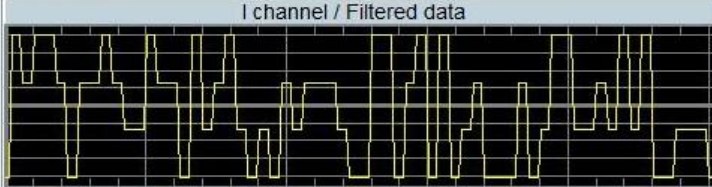
Signal Generator Hz dBm

I/Q Signal Setting

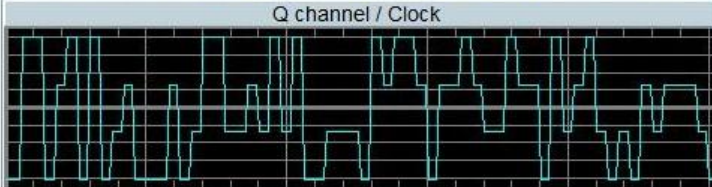
Hardware Platform : Agilent33220A
 Data Pattern : prbs6 Modulation Format : 16qam
 Baseband Filter : None Output Signals : IQ Output Signal Type : Continuous
 Symbol Rate : 1000000 Output Level : 0.5 Status Return : 0
 Output LPF : OFF Samples per Symbol : 4 Status : No Error
 Data Points : 252

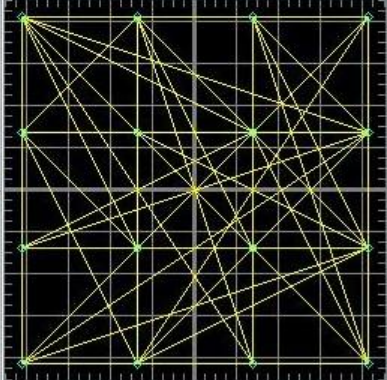
I/Q Signal

I channel / Filtered data



Q channel / Clock



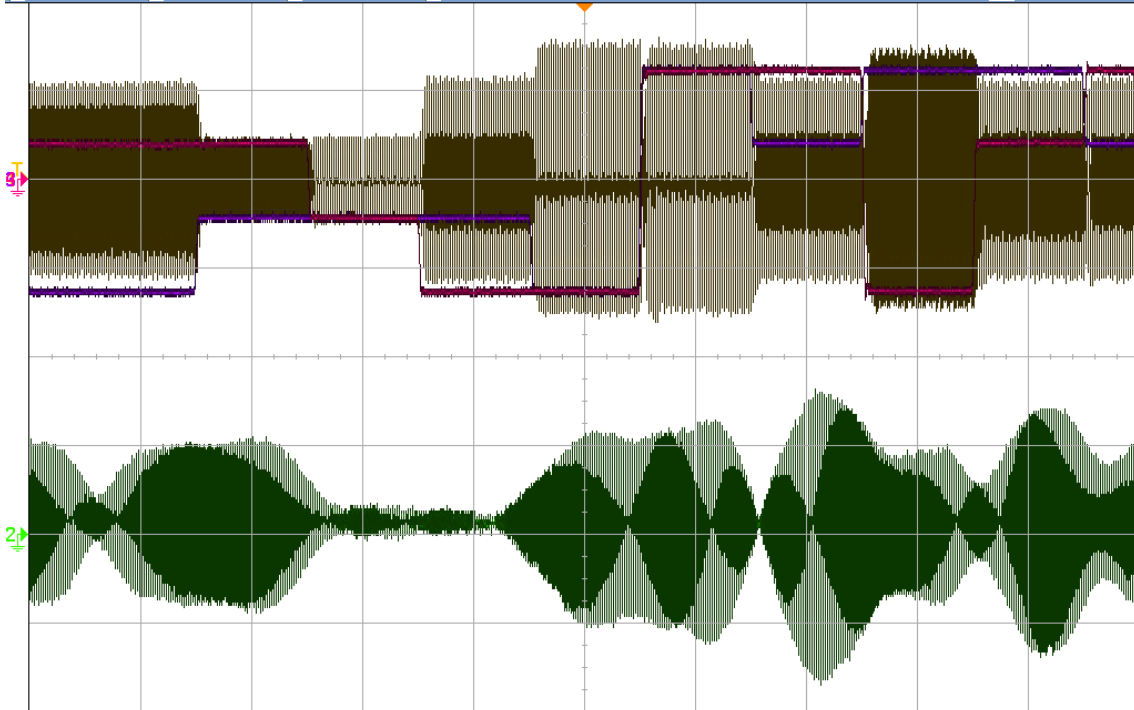




Agilent Technologies

TUE MAY 03 18:48:07 2011

1 200V/ 2 10V/ 3 200V/ 4 200V/ 0.0s 1.000%/ Stop f 1 1.88V



Save to file = scope_92

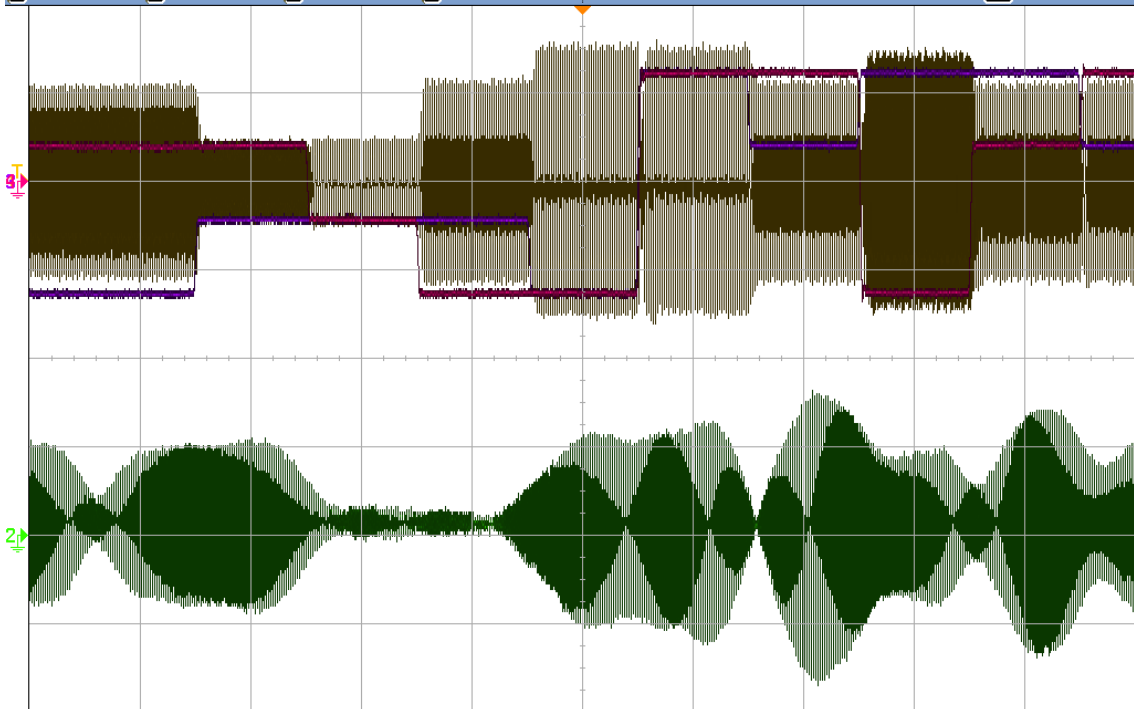
Format BMP (24-bit) Save to /usb0 File Name Settings Press to Save



Agilent Technologies

TUE MAY 03 18:48:25 2011

1 200V/ 2 10V/ 3 200V/ 4 200V/ 0.0s 1.000%/ Stop f 1 1.88V



Save to file = scope_94

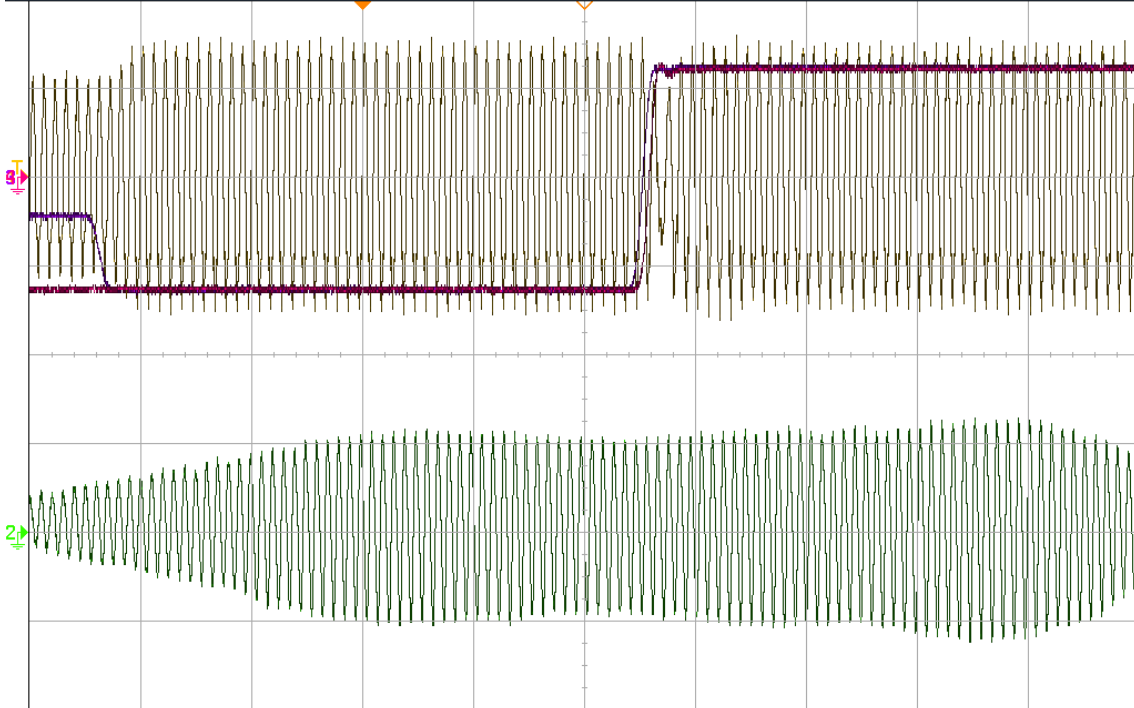
Format BMP (24-bit) Save to /usb0 File Name Settings Press to Save



Agilent Technologies

TUE MAY 03 18:49:26 2011

1 200V/ 2 10V/ 3 200V/ 4 200V/ 400.0ns 200.0%/ Stop f 1 1.88V



Save to file =

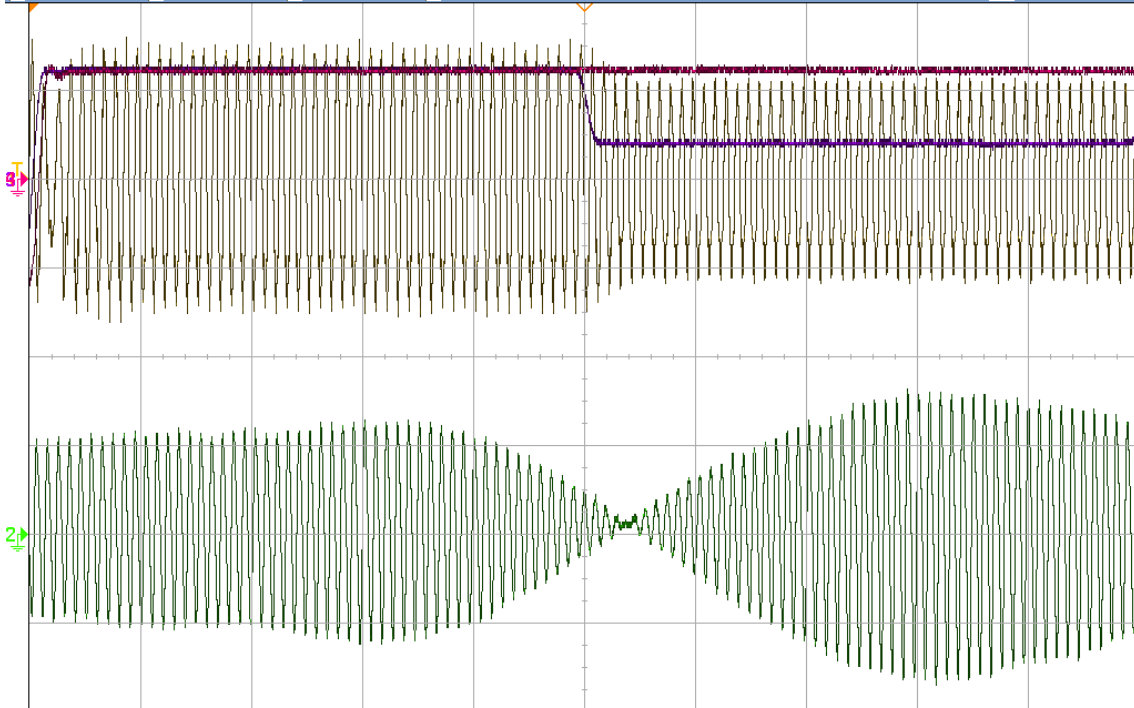
Format BMP (24-bit) Save to File Name Settings Press to Save



Agilent Technologies

TUE MAY 03 18:49:45 2011

1 200V/ 2 10V/ 3 200V/ 4 200V/ 1.500ns 200.0%/ Stop f 1 1.88V



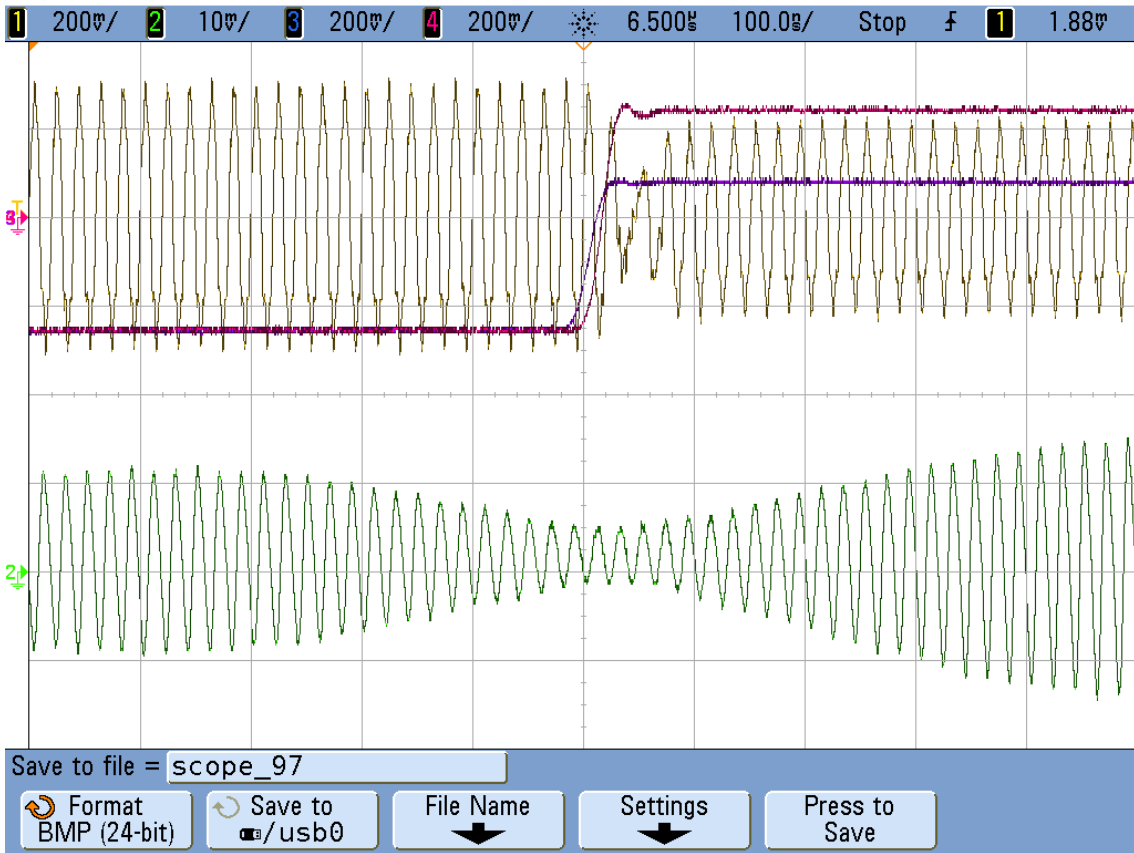
Save to file =

Format BMP (24-bit) Save to File Name Settings Press to Save



Agilent Technologies

TUE MAY 03 18:50:39 2011



Agilent Technologies

TUE MAY 03 18:50:58 2011



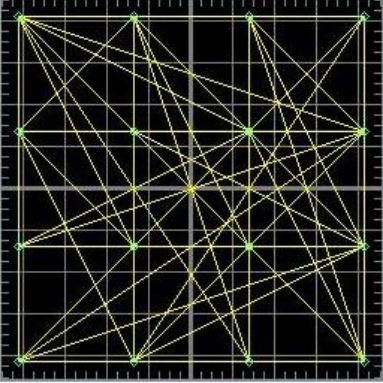
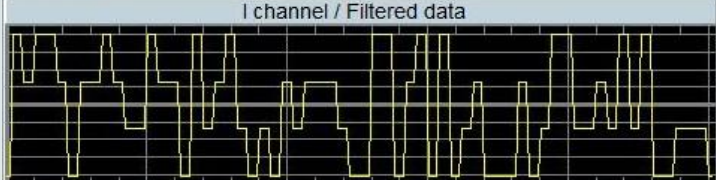
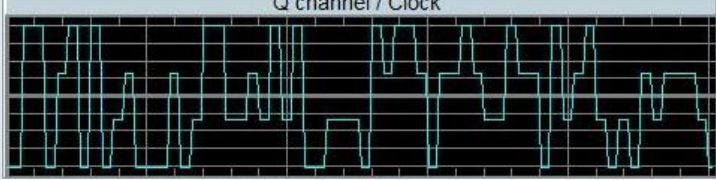
Start	Abort	Re-Send	Stop	Show	Edit Pattern	Configure System
--------------	--------------	----------------	-------------	-------------	---------------------	-------------------------

<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 150px;">Standard System</td> <td>User</td> </tr> <tr> <td>Hardware Platform</td> <td>Agilent33220A</td> </tr> <tr> <td>Data Pattern</td> <td>prbs6</td> </tr> <tr> <td>Modulation Format</td> <td>16qam</td> </tr> <tr> <td>No Parameters</td> <td style="text-align: center;">Change</td> </tr> <tr> <td>Baseband Filter</td> <td>None</td> </tr> <tr> <td>No Parameters</td> <td style="text-align: center;">Change</td> </tr> <tr> <td>Impairments</td> <td>None</td> </tr> <tr> <td>No Parameters</td> <td style="text-align: center;">Change</td> </tr> </table>	Standard System	User	Hardware Platform	Agilent33220A	Data Pattern	prbs6	Modulation Format	16qam	No Parameters	Change	Baseband Filter	None	No Parameters	Change	Impairments	None	No Parameters	Change	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2">Symbol Rate</td> </tr> <tr> <td colspan="2">6M</td> </tr> <tr> <td>Max. Samples per Symbol</td> <td>Max. SPS = 1</td> </tr> <tr> <td>User Defined SPS = 4</td> <td style="text-align: center;">Change</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Output Signals</td> </tr> <tr> <td>I and Q</td> <td style="text-align: center;">Change IF/SR</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Output Signal Type</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Continuous</td> </tr> <tr> <td>No Parameters</td> <td style="text-align: center;">Change</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Function Generator Output</td> </tr> <tr> <td>0.2</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">5</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Signal Generator</td> </tr> <tr> <td colspan="2">OFF</td> </tr> <tr> <td>2.4G</td> <td>Hz</td> </tr> <tr> <td>0.5</td> <td>dBm</td> </tr> </table>	Symbol Rate		6M		Max. Samples per Symbol	Max. SPS = 1	User Defined SPS = 4	Change	Output Signals		I and Q	Change IF/SR	Output Signal Type		Continuous		No Parameters	Change	Function Generator Output		0.2	0.5	5		Signal Generator		OFF		2.4G	Hz	0.5	dBm
Standard System	User																																																		
Hardware Platform	Agilent33220A																																																		
Data Pattern	prbs6																																																		
Modulation Format	16qam																																																		
No Parameters	Change																																																		
Baseband Filter	None																																																		
No Parameters	Change																																																		
Impairments	None																																																		
No Parameters	Change																																																		
Symbol Rate																																																			
6M																																																			
Max. Samples per Symbol	Max. SPS = 1																																																		
User Defined SPS = 4	Change																																																		
Output Signals																																																			
I and Q	Change IF/SR																																																		
Output Signal Type																																																			
Continuous																																																			
No Parameters	Change																																																		
Function Generator Output																																																			
0.2	0.5																																																		
5																																																			
Signal Generator																																																			
OFF																																																			
2.4G	Hz																																																		
0.5	dBm																																																		

I/Q Signal Setting

Hardware Platform : Agilent33220A
 Data Pattern : prbs6 Modulation Format : 16qam
 Baseband Filter : None Output Signals : IQ Output Signal Type : Continuous
 Symbol Rate : 6000000 Output Level : 0.5 Status Return : 0
 Output LPF : OFF Samples per Symbol : 4 Status : No Error
 Data Points : 252

I/Q Signal

I channel / Filtered data	
	
Q channel / Clock	
	

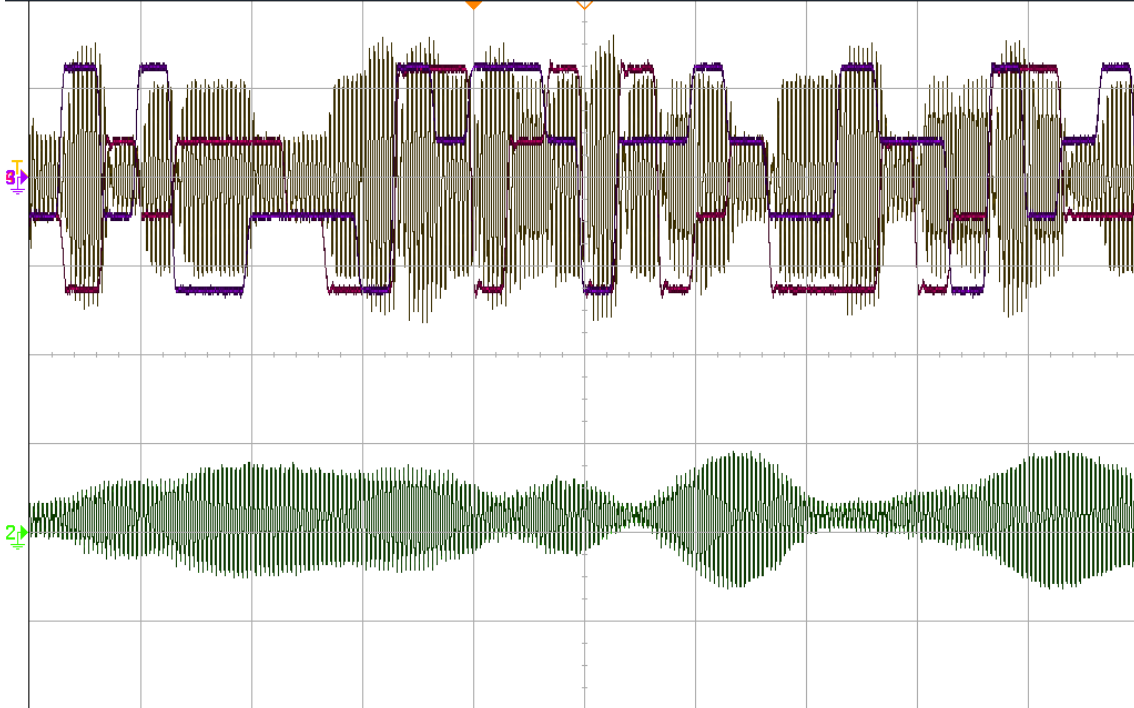
OK	Save I and Q Data	Print Screen
-----------	--------------------------	---------------------



Agilent Technologies

TUE MAY 03 19:26:27 2011

1 200V/ 2 10V/ 3 200V/ 4 200V/ 500.0ns 500.0ns/ Stop f 1 1.88V



Channel 3 Menu

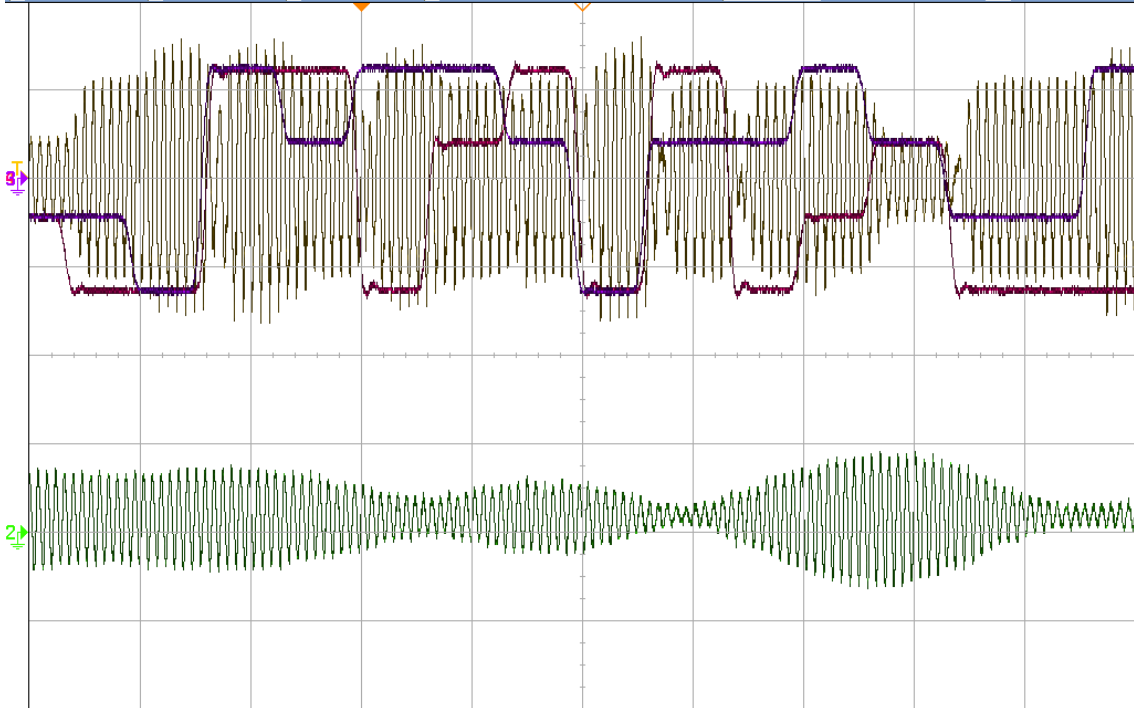
Coupling DC	Imped 1M Ohm	<input type="checkbox"/> BW Limit	<input type="checkbox"/> Fine	<input type="checkbox"/> Invert	Probe
-------------	--------------	-----------------------------------	-------------------------------	---------------------------------	-------



Agilent Technologies

TUE MAY 03 19:26:40 2011

1 200V/ 2 10V/ 3 200V/ 4 200V/ 500.0ns 250.0ns/ Stop f 1 1.88V

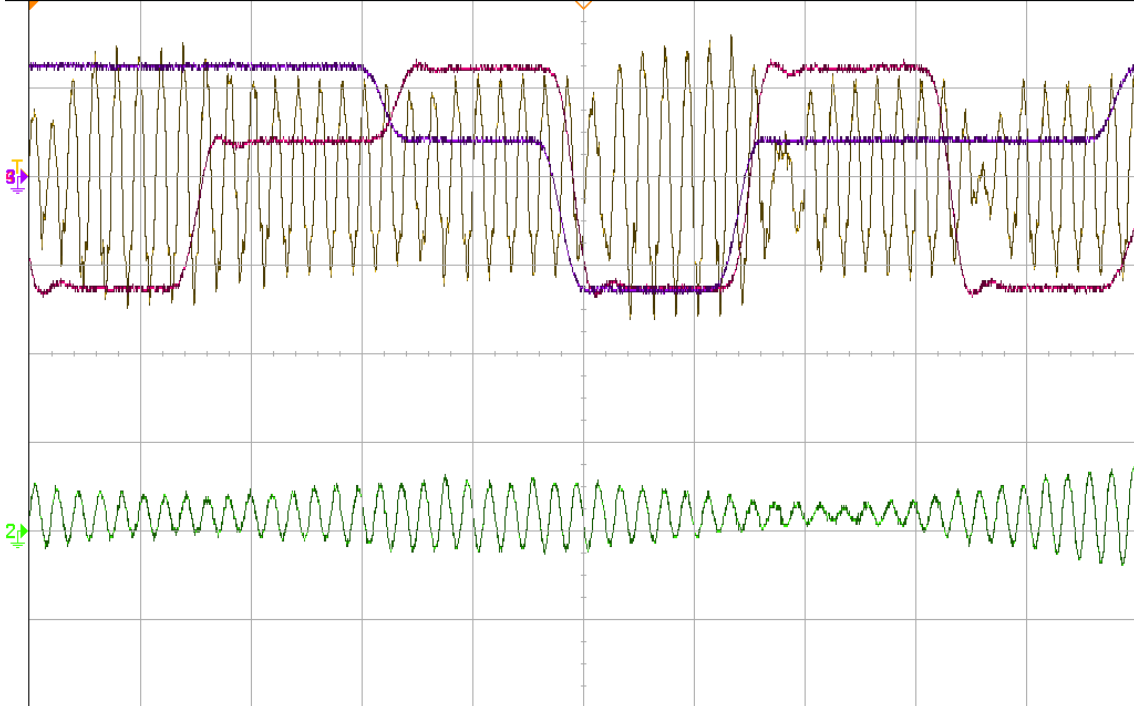


Channel 3 Menu

Coupling DC	Imped 1M Ohm	<input type="checkbox"/> BW Limit	<input type="checkbox"/> Fine	<input type="checkbox"/> Invert	Probe
-------------	--------------	-----------------------------------	-------------------------------	---------------------------------	-------



1 200V/ 2 10V/ 3 200V/ 4 200V/ 500.0ns 100.0%/ Stop f 1 1.88V



Channel 3 Menu

Coupling DC	Imped 1M Ohm	BW Limit <input type="checkbox"/>	Fine <input type="checkbox"/>	Invert <input type="checkbox"/>	Probe
----------------	-----------------	--------------------------------------	----------------------------------	------------------------------------	-----------

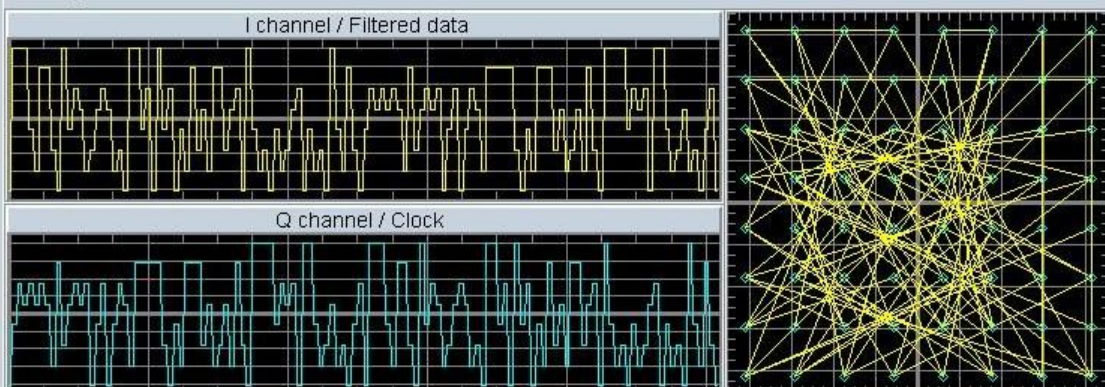
Ostatní výsledky měření, 64-QAM

Start	Abort	Re-Send	Stop	Show	Edit Pattern	Configure System
Standard System: User		Symbol Rate: 10k				
Hardware Platform: Agilent33220A		Max. Samples per Symbol: Max. SPS = 600				
Data Pattern: prbs7		User Defined SPS = 4 Change				
Modulation Format: 64qam		Output Signals: I and Q Change IF/SR				
No Parameters Change		Output Signal Type: Continuous Change				
Baseband Filter: None		Function Generator Output: 0.2 0.5 5				
No Parameters Change		Signal Generator: OFF				
Impairments: None		2.4G Hz 0.5 dBm				
No Parameters Change						

I/Q Signal Setting

Hardware Platform : Agilent33220A
 Data Pattern : prbs7 Modulation Format : 64qam
 Baseband Filter : None Output Signals : IQ Output Signal Type : Continuous
 Symbol Rate : 10000 Output Level : 0.5 Status Return : 0
 Data Points : 508 Samples per Symbol : 4 Status : No Error

I/Q Signal



OK

Save I and Q Data

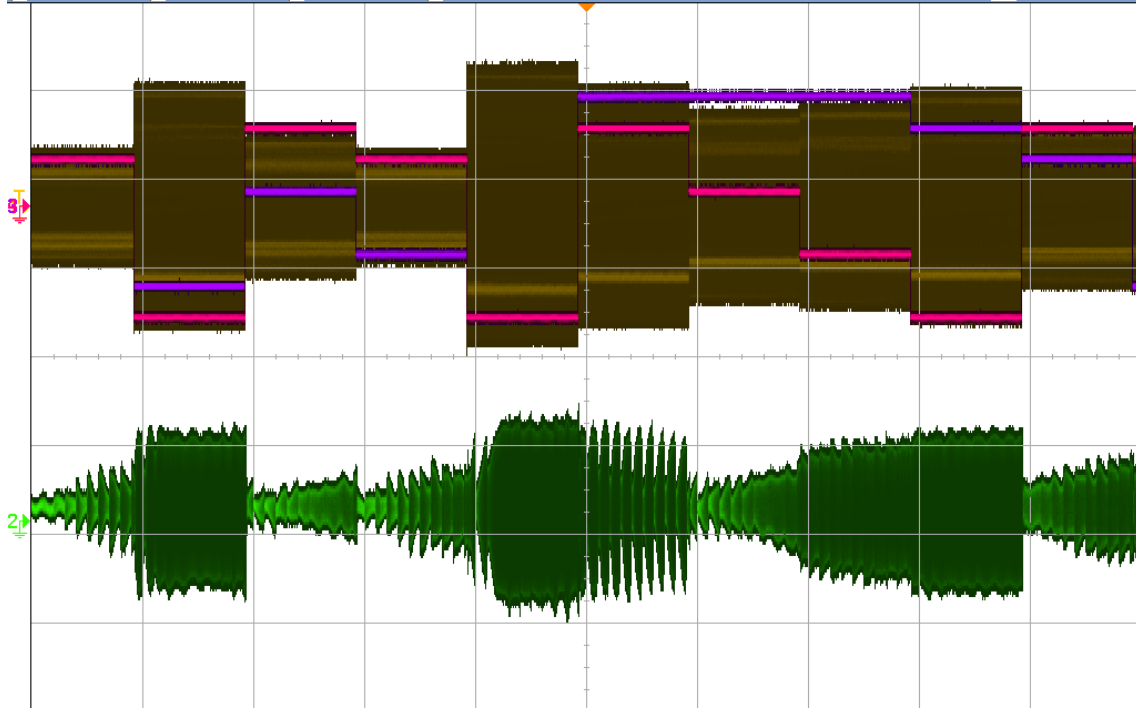
Print Screen



Agilent Technologies

TUE MAY 03 17:38:26 2011

1 200V/ 2 10V/ 3 200V/ 4 200V/ 0.0s 100.0%/ Stop f 1 1.88V



Channel 4 Menu

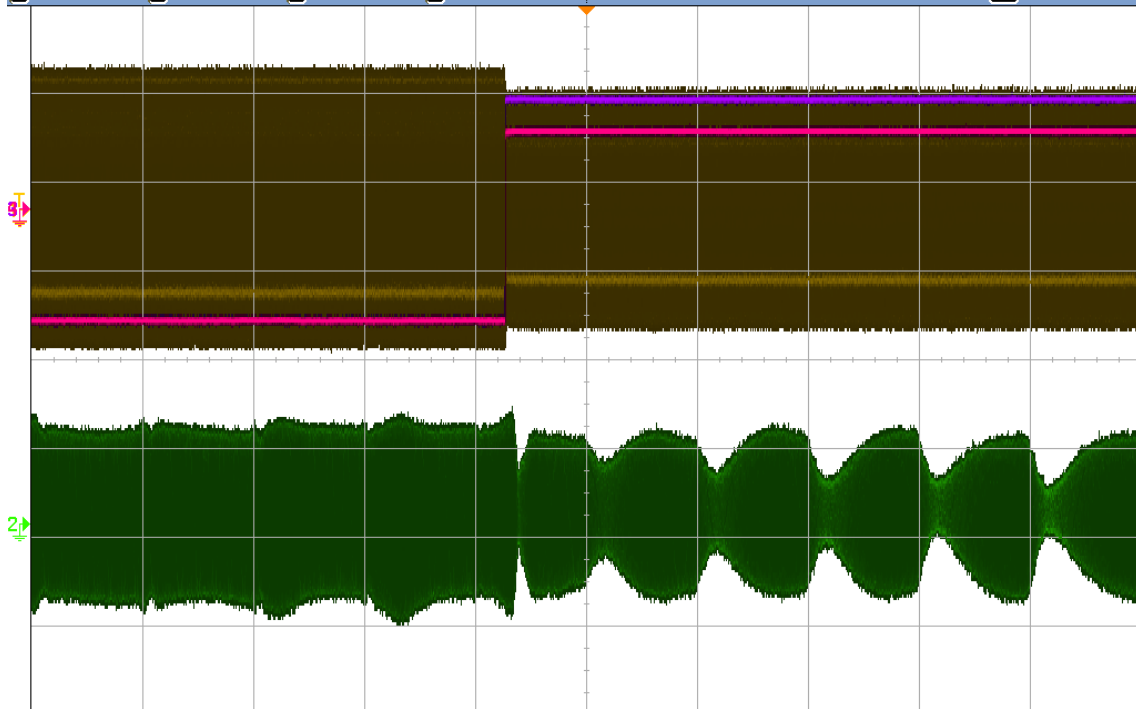
Coupling DC Imped 1M Ohm BW Limit Fine Invert Probe



Agilent Technologies

TUE MAY 03 17:39:04 2011

1 200V/ 2 10V/ 3 200V/ 4 200V/ 0.0s 10.00%/ Stop f 1 1.88V



Channel 4 Menu

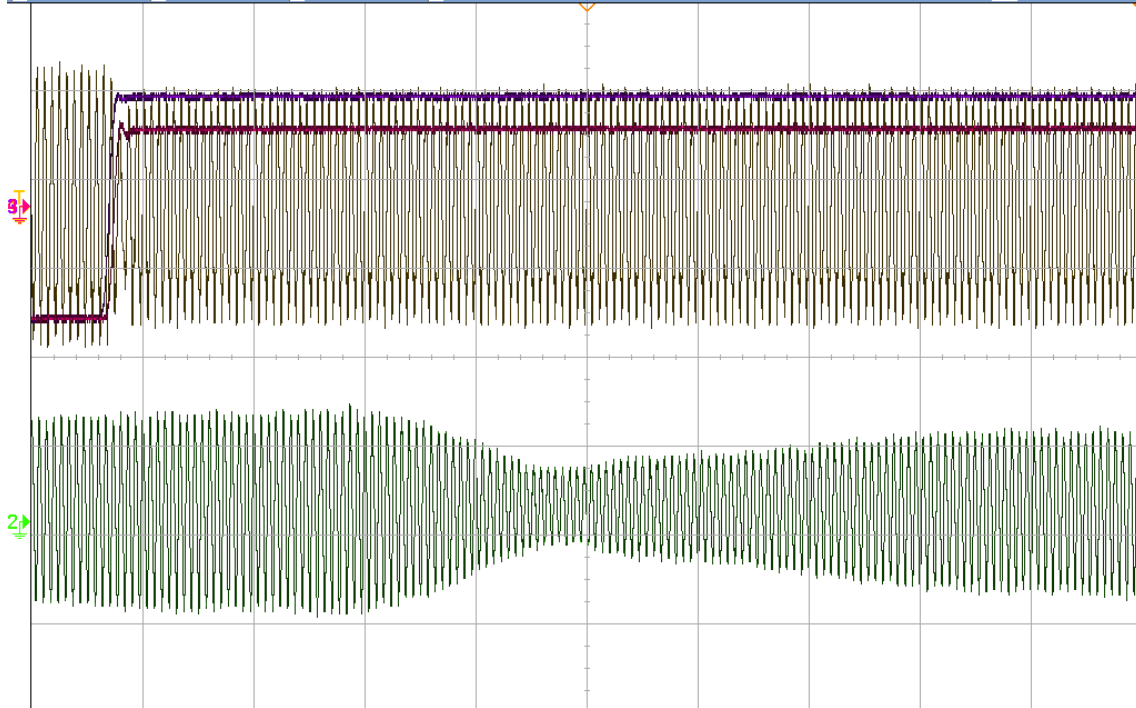
Coupling DC Imped 1M Ohm BW Limit Fine Invert Probe



Agilent Technologies

TUE MAY 03 17:40:37 2011

1 200V/ 2 10V/ 3 200V/ 4 200V/ -6.000% 300.0%/ Stop f 1 1.88V



Save to file = scope_3

Format
BMP (24-bit)

Save to
usb0

File Name

Settings

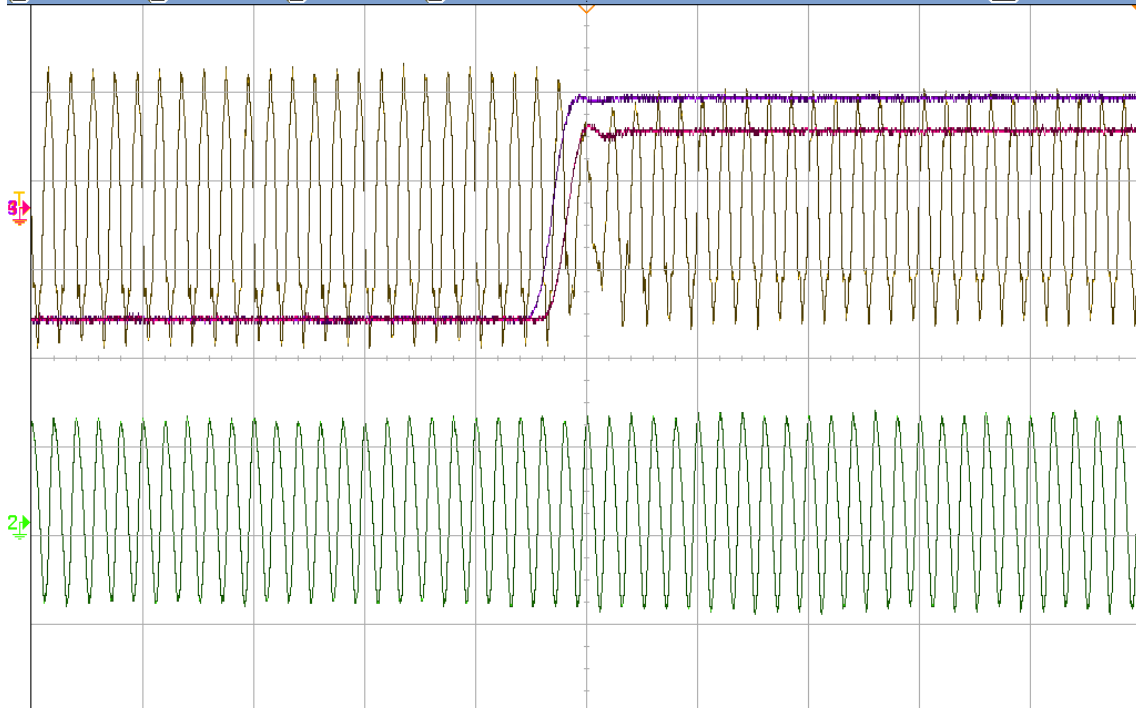
Press to
Save



Agilent Technologies

TUE MAY 03 17:41:01 2011

1 200V/ 2 10V/ 3 200V/ 4 200V/ -7.260% 100.0%/ Stop f 1 1.88V



Save to file = scope_4

Format
BMP (24-bit)

Save to
usb0

File Name

Settings

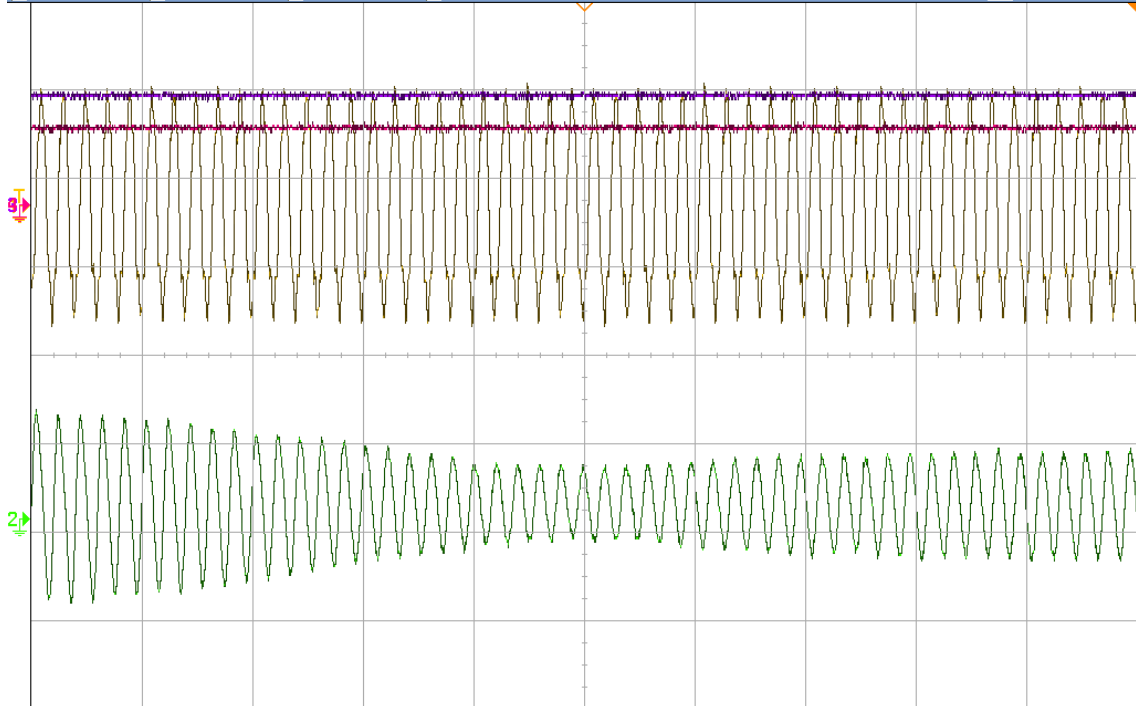
Press to
Save



Agilent Technologies

TUE MAY 03 17:41:15 2011

1 200mV/ 2 10mV/ 3 200mV/ 4 200mV/ -6.064μs 100.0ns/ Stop f 1 1.88μs



Save to file = scope_5

Format
BMP (24-bit)

Save to
usb0

File Name

Settings

Press to
Save

Standard System

Hardware Platform

Data Pattern

Modulation Format

Baseband Filter

Impairments

Symbol Rate

Max. Samples per Symbol

Max. SPS = 6

Output Signals

Output Signal Type

Function Generator Output

Signal Generator

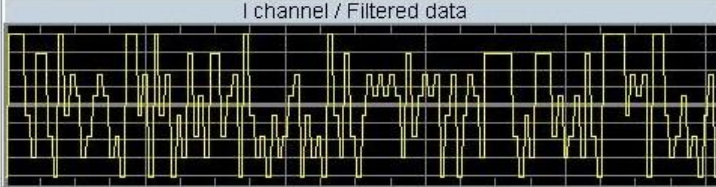
 Hz dBm

I/Q Signal Setting


Hardware Platform : Agilent33220A
Data Pattern : prbs7 **Modulation Format :** 64qam
Baseband Filter : None
Symbol Rate : 1000000 **Output Signals :** IQ **Output Signal Type :** Continuous
Output LPF : OFF **Output Level :** 0.5
Data Points : 508 **Samples per Symbol :** 4 **Status Return :** 0
Status : No Error

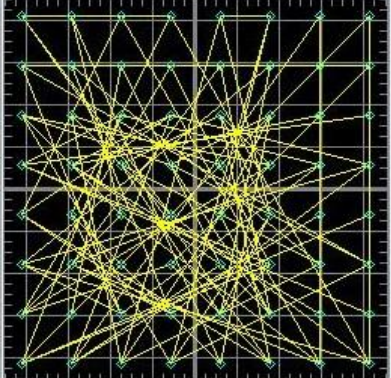
I/Q Signal

I channel / Filtered data



Q channel / Clock



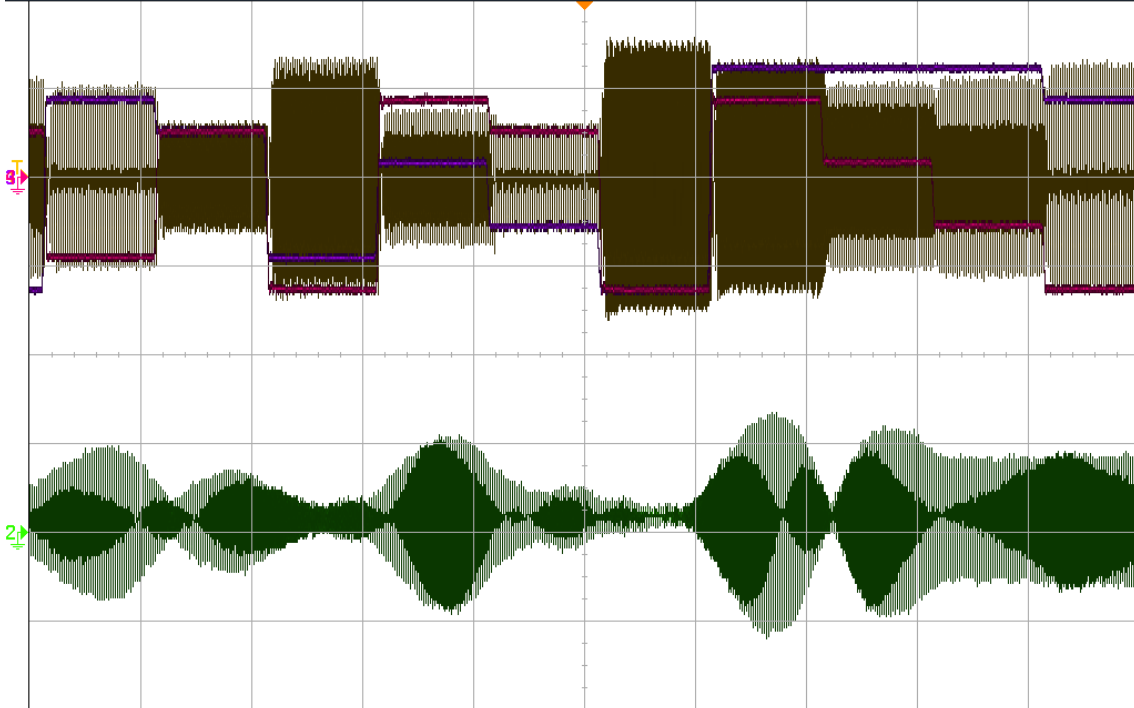




Agilent Technologies

TUE MAY 03 18:19:06 2011

1 200V/ 2 10V/ 3 200V/ 4 200V/ 0.0s 1.000%/ Stop f 1 1.88V



Save to file =

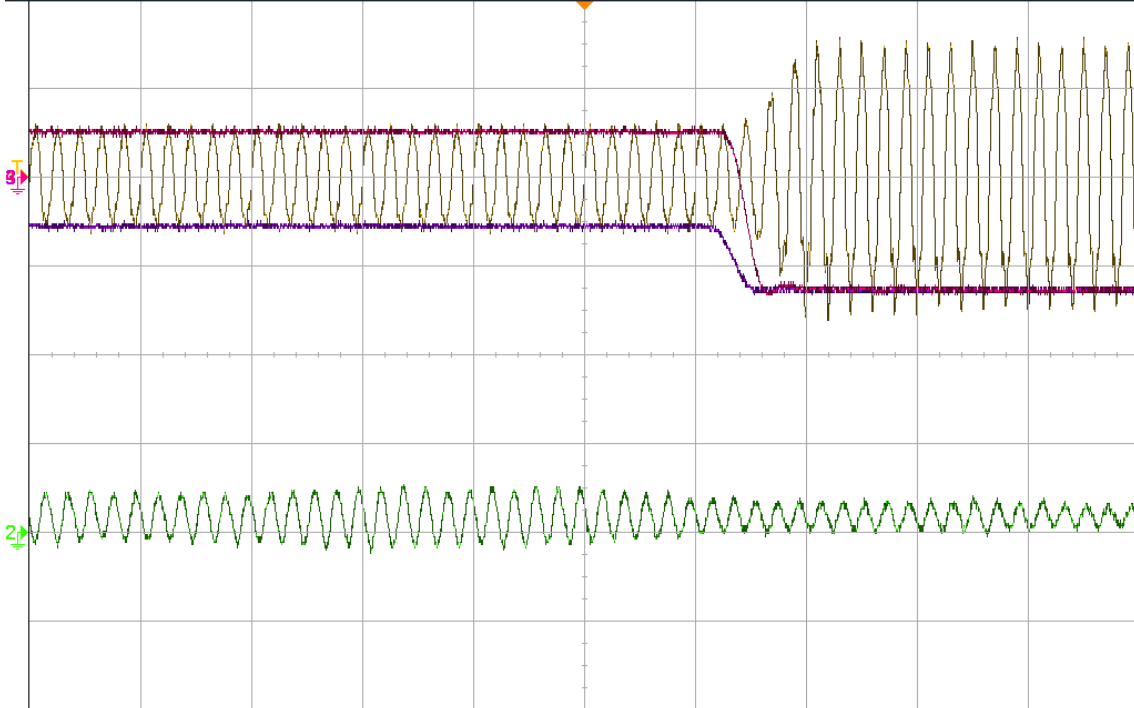
Format BMP (24-bit) Save to /usb0 File Name Settings Press to Save



Agilent Technologies

TUE MAY 03 18:19:32 2011

1 200V/ 2 10V/ 3 200V/ 4 200V/ 0.0s 100.0%/ Stop f 1 1.88V



Save to file =

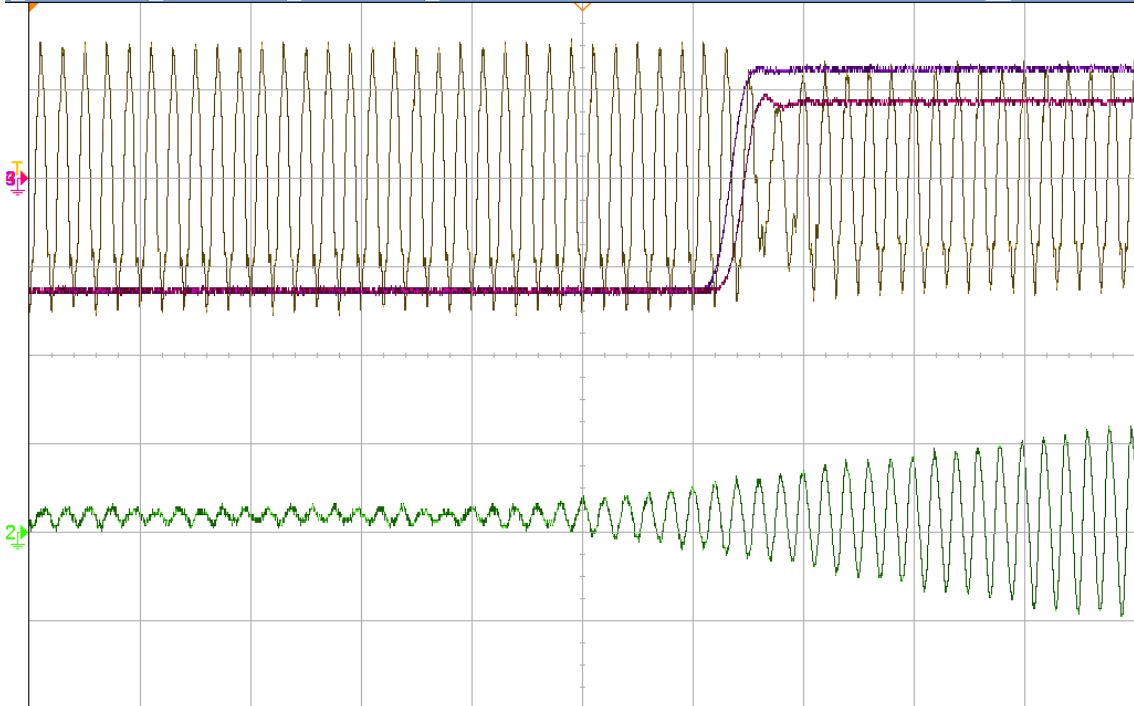
Format BMP (24-bit) Save to /usb0 File Name Settings Press to Save



Agilent Technologies

TUE MAY 03 18:19:54 2011

1 200V/ 2 10V/ 3 200V/ 4 200V/ 1.000µs 100.0%/ Stop f 1 1.88V



Save to file =

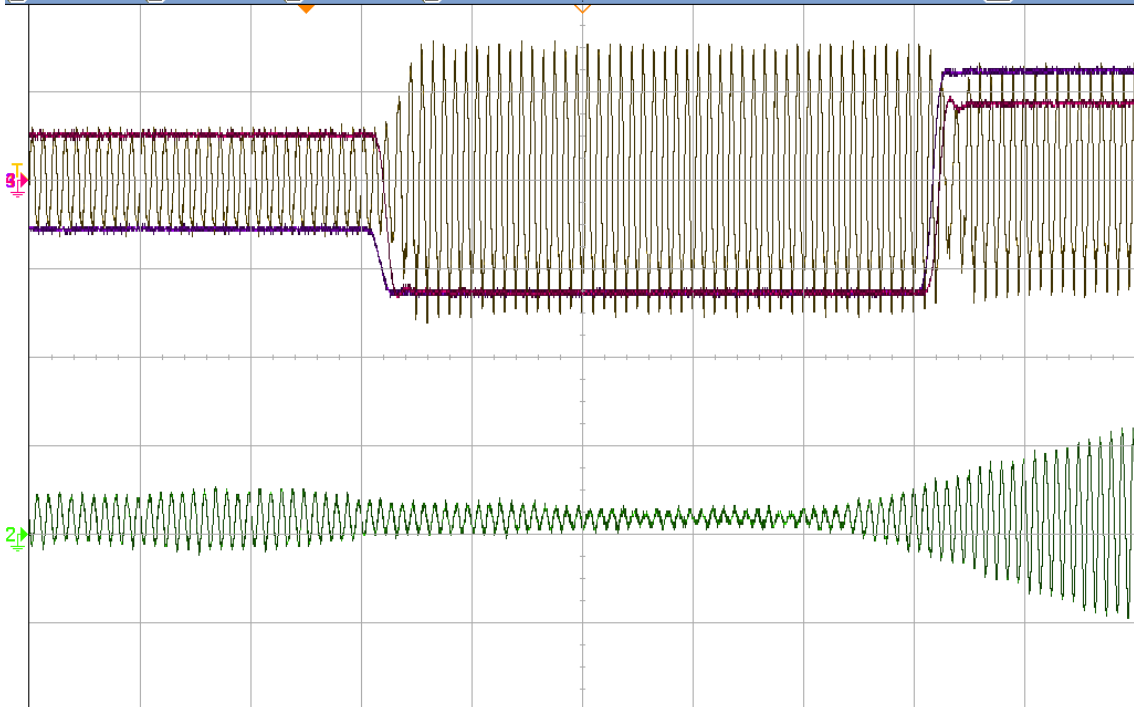
Format BMP (24-bit) Save to File Name Settings Press to Save



Agilent Technologies

TUE MAY 03 18:20:26 2011

1 200V/ 2 10V/ 3 200V/ 4 200V/ 500.0µs 200.0%/ Stop f 1 1.88V



Save to file =

Format BMP (24-bit) Save to File Name Settings Press to Save

Start	Abort	Re-Send	Stop	Show	Edit Pattern	Configure System
--------------	--------------	----------------	-------------	-------------	---------------------	-------------------------


<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 150px;">Standard System</td> <td>User</td> </tr> <tr> <td>Hardware Platform</td> <td>Agilent33220A</td> </tr> <tr> <td>Data Pattern</td> <td>prbs7</td> </tr> <tr> <td>Modulation Format</td> <td>64qam</td> </tr> <tr> <td>No Parameters</td> <td>Change</td> </tr> <tr> <td>Baseband Filter</td> <td>None</td> </tr> <tr> <td>No Parameters</td> <td>Change</td> </tr> <tr> <td>Impairments</td> <td>None</td> </tr> <tr> <td>No Parameters</td> <td>Change</td> </tr> </table>	Standard System	User	Hardware Platform	Agilent33220A	Data Pattern	prbs7	Modulation Format	64qam	No Parameters	Change	Baseband Filter	None	No Parameters	Change	Impairments	None	No Parameters	Change	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2">Symbol Rate</td> </tr> <tr> <td colspan="2">6M</td> </tr> <tr> <td>Max. Samples per Symbol</td> <td>Max. SPS = 1</td> </tr> <tr> <td>User Defined SPS = 4</td> <td>Change</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Output Signals</td> </tr> <tr> <td>I and Q</td> <td>Change IF/SR</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Output Signal Type</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Continuous</td> </tr> <tr> <td>No Parameters</td> <td>Change</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Function Generator Output</td> </tr> <tr> <td>0.2</td> <td>0.5</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Signal Generator</td> </tr> <tr> <td>2.4G</td> <td>Hz</td> <td>0.5</td> <td>dBm</td> </tr> <tr> <td colspan="2">OFF</td> </tr> </table>	Symbol Rate		6M		Max. Samples per Symbol	Max. SPS = 1	User Defined SPS = 4	Change	Output Signals		I and Q	Change IF/SR	Output Signal Type		Continuous		No Parameters	Change	Function Generator Output		0.2	0.5	5	Signal Generator		2.4G	Hz	0.5	dBm	OFF	
Standard System	User																																																	
Hardware Platform	Agilent33220A																																																	
Data Pattern	prbs7																																																	
Modulation Format	64qam																																																	
No Parameters	Change																																																	
Baseband Filter	None																																																	
No Parameters	Change																																																	
Impairments	None																																																	
No Parameters	Change																																																	
Symbol Rate																																																		
6M																																																		
Max. Samples per Symbol	Max. SPS = 1																																																	
User Defined SPS = 4	Change																																																	
Output Signals																																																		
I and Q	Change IF/SR																																																	
Output Signal Type																																																		
Continuous																																																		
No Parameters	Change																																																	
Function Generator Output																																																		
0.2	0.5	5																																																
Signal Generator																																																		
2.4G	Hz	0.5	dBm																																															
OFF																																																		

I/Q Signal Setting

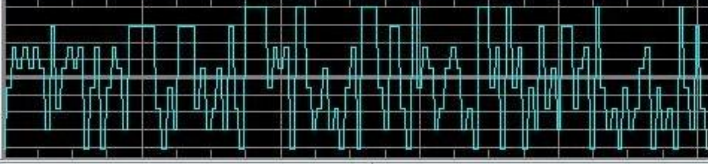
Hardware Platform : Agilent33220A
Data Pattern : prbs7 **Modulation Format :** 64qam
Baseband Filter : None
Symbol Rate : 6000000 **Output Signals :** IQ **Output Signal Type :** Continuous
Output LPF : OFF **Output Level :** 0.5
Data Points : 508 **Samples per Symbol :** 4 **Status Return :** 0
Status : No Error

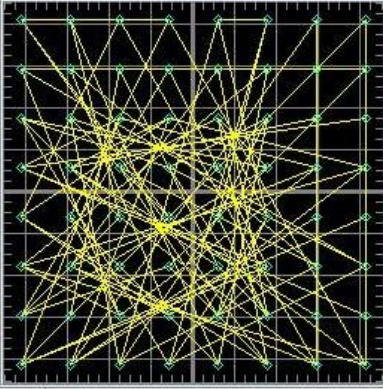
I/Q Signal

I channel / Filtered data



Q channel / Clock





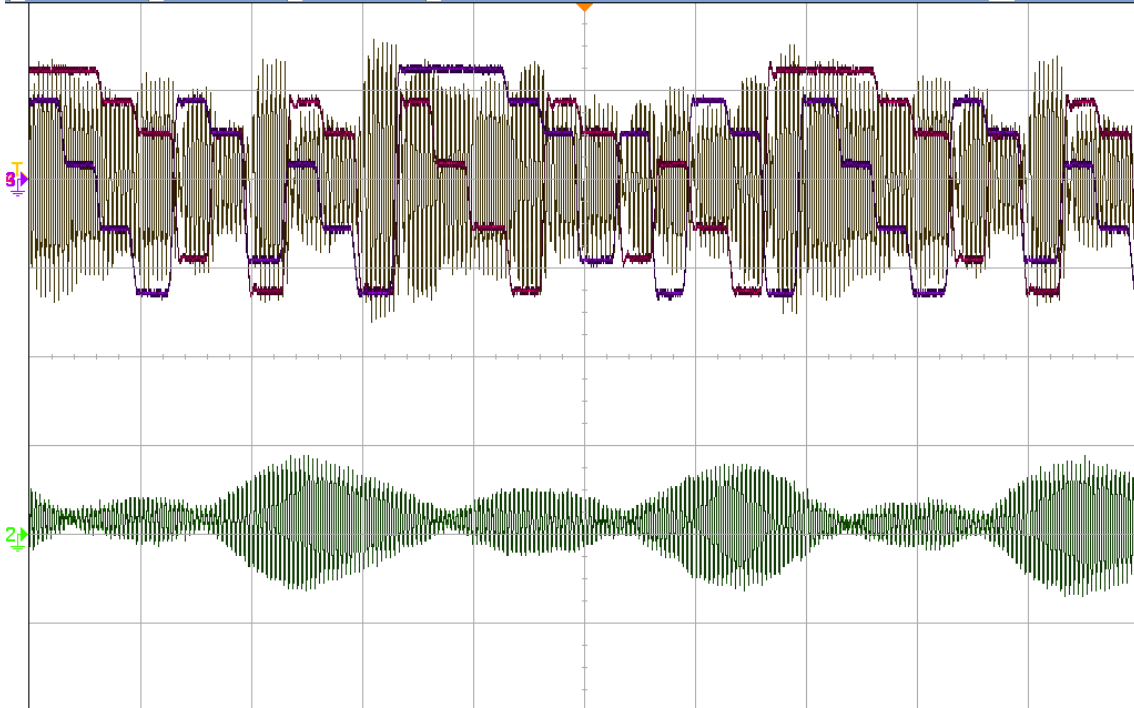
OK	Save I and Q Data	Print Screen
-----------	--------------------------	---------------------



Agilent Technologies

TUE MAY 03 19:30:30 2011

1 200V/ 2 10V/ 3 200V/ 4 200V/ 0.0s 500.0%/ Stop f 1 1.88V



Channel 3 Menu

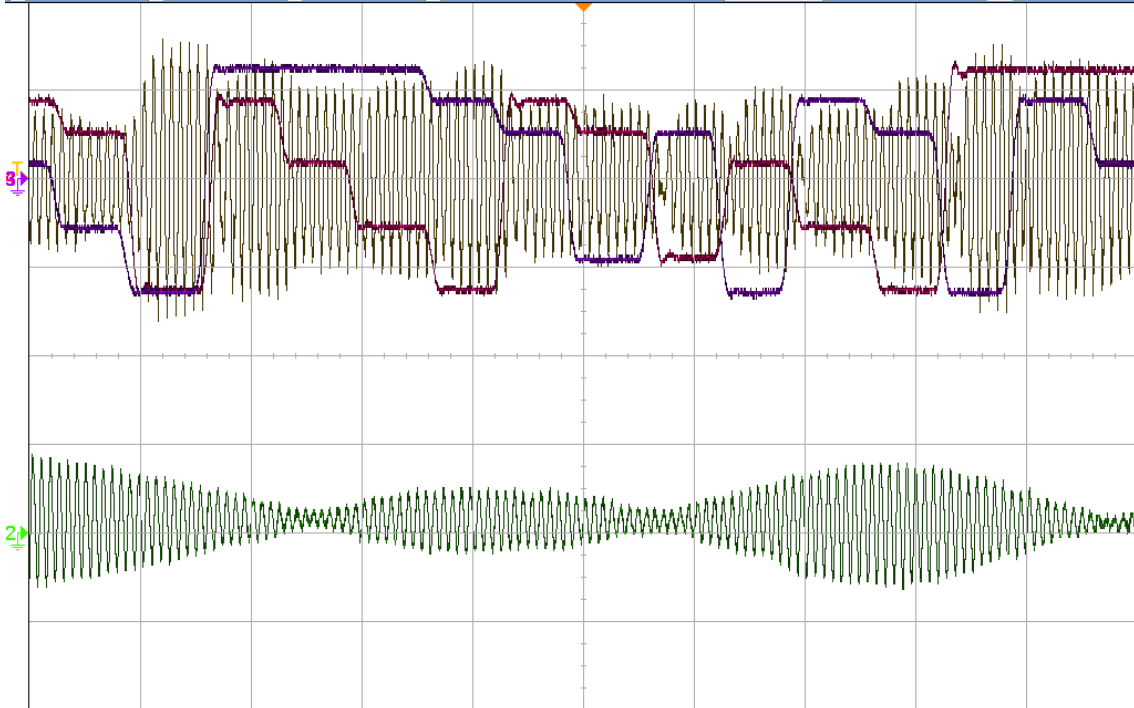
Coupling DC	Imped 1M Ohm	BW Limit <input type="checkbox"/>	Fine <input type="checkbox"/>	Invert <input type="checkbox"/>	Probe
-------------	--------------	-----------------------------------	-------------------------------	---------------------------------	-------



Agilent Technologies

TUE MAY 03 19:30:43 2011

1 200V/ 2 10V/ 3 200V/ 4 200V/ 0.0s 250.0%/ Stop f 1 1.88V

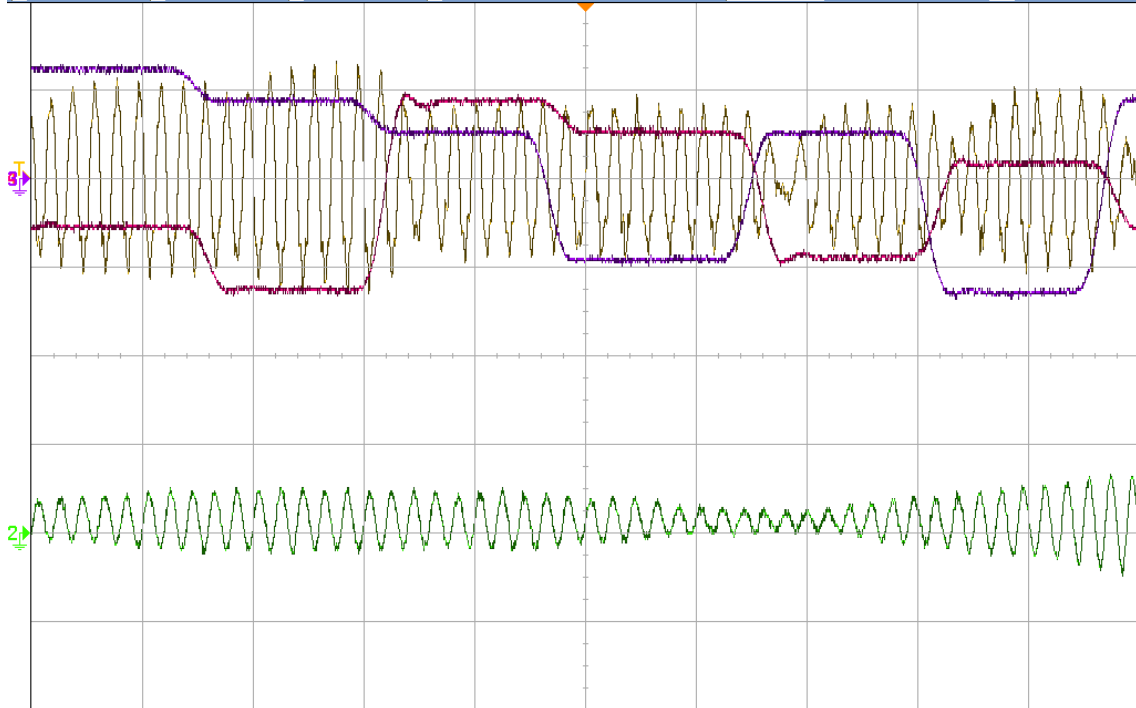


Channel 3 Menu

Coupling DC	Imped 1M Ohm	BW Limit <input type="checkbox"/>	Fine <input type="checkbox"/>	Invert <input type="checkbox"/>	Probe
-------------	--------------	-----------------------------------	-------------------------------	---------------------------------	-------



1 200V/ 2 10V/ 3 200V/ 4 200V/ 0.0s 100.0% Stop f 1 1.88V



Channel 3 Menu

Coupling DC	Imped 1M Ohm	BW Limit <input type="checkbox"/>	Fine <input type="checkbox"/>	Invert <input type="checkbox"/>	Probe
----------------	-----------------	--------------------------------------	----------------------------------	------------------------------------	-----------

Ostatní výsledky měření, FSK

Start	Abort	Re-Send	Stop	Show	Edit Pattern	Configure System
Standard System User		Symbol Rate 6M				
Hardware Platform Agilent33220A		Max. Samples per Symbol Max. SPS = 1 User Defined SPS = 4 Change				
Data Pattern prbs6		Output Signals and Q Change IF/SR				
Modulation Format fsk Frequency Deviation = 0.1 Change		Output Signal Type Continuous Change				
Baseband Filter None No Parameters Change		Function Generator Output 0.2 0.5 5				
Impairments None No Parameters Change		Signal Generator OFF 2.4G Hz 0.5 dBm				

I/Q Signal Setting

Hardware Platform : Agilent33220A
 Data Pattern : prbs6 Modulation Format : fsk Frequency Deviation : 0.1
 Baseband Filter : None Output Signals : IQ Output Signal Type : Continuous
 Symbol Rate : 6000000 Output Level : 0.5
 Output LPF : OFF Samples per Symbol : 4 Status Return : 0
 Data Points : 252 Status : No Error

I/Q Signal



OK

Save I and Q Data

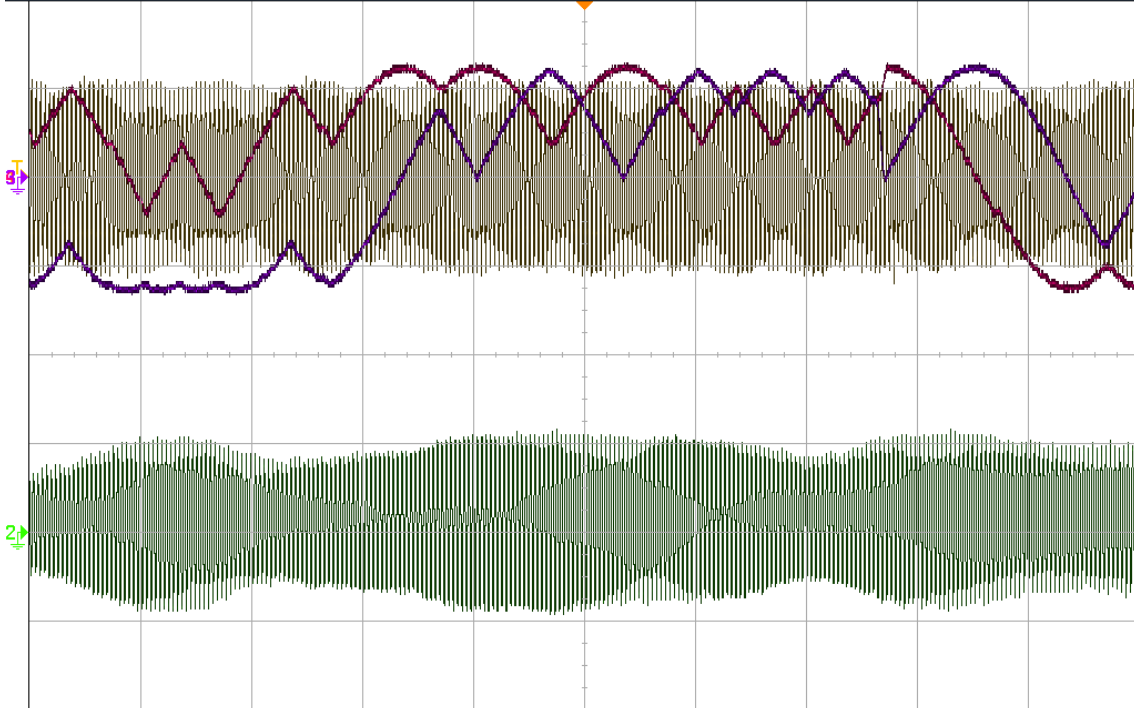
Print Screen



Agilent Technologies

TUE MAY 03 19:34:39 2011

1 200V/ 2 10V/ 3 200V/ 4 200V/ 0.0s 500.0%/ Stop f 1 1.88V



Channel 3 Menu

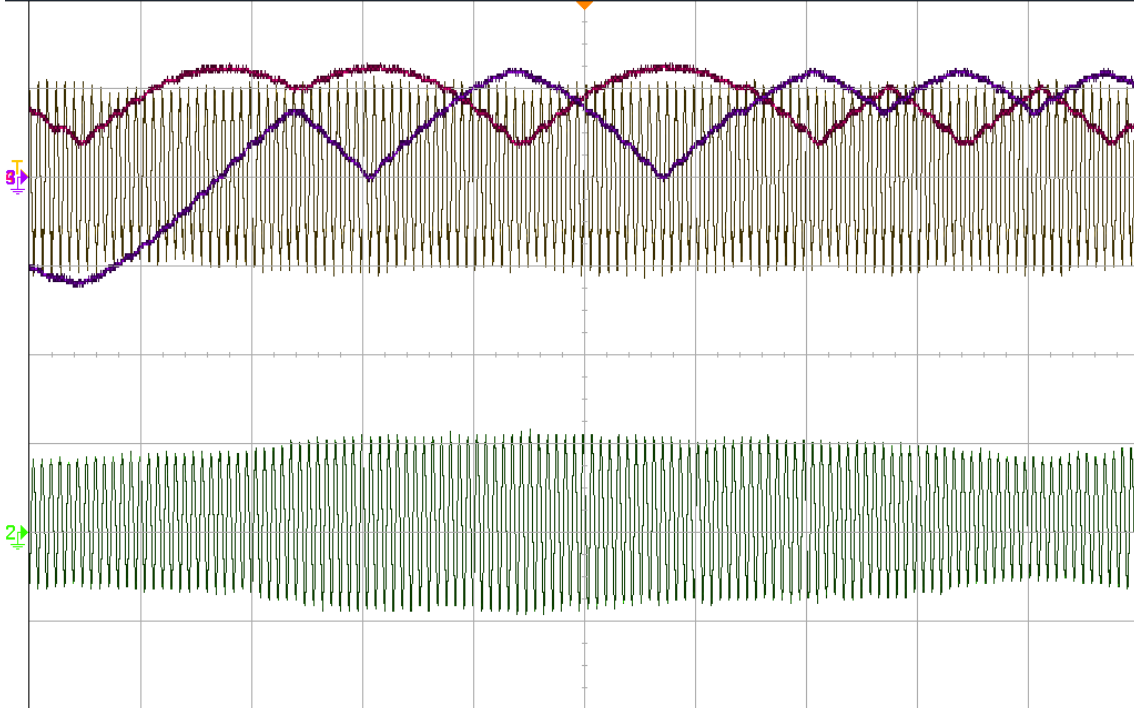
Coupling DC	Imped 1M Ohm	BW Limit <input type="checkbox"/>	Fine <input type="checkbox"/>	Invert <input type="checkbox"/>	Probe
-------------	--------------	-----------------------------------	-------------------------------	---------------------------------	-------



Agilent Technologies

TUE MAY 03 19:34:55 2011

1 200V/ 2 10V/ 3 200V/ 4 200V/ 0.0s 250.0%/ Stop f 1 1.88V



Channel 3 Menu

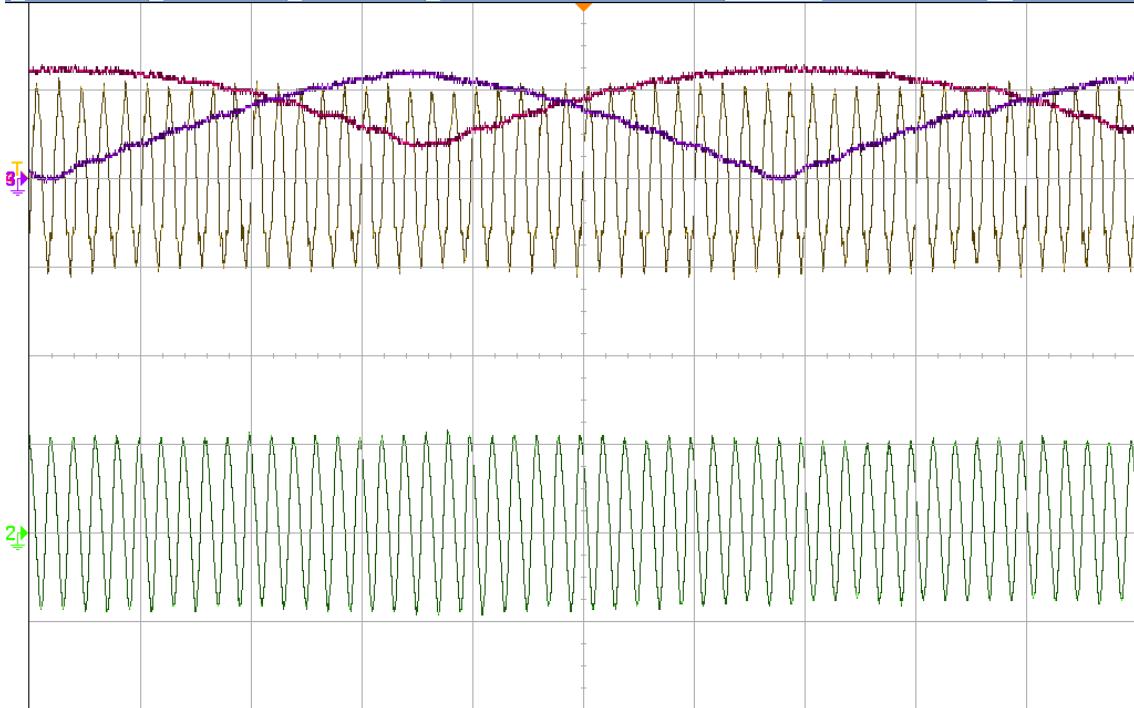
Coupling DC	Imped 1M Ohm	BW Limit <input type="checkbox"/>	Fine <input type="checkbox"/>	Invert <input type="checkbox"/>	Probe
-------------	--------------	-----------------------------------	-------------------------------	---------------------------------	-------



Agilent Technologies

TUE MAY 03 19:35:08 2011

1 200V/ 2 10V/ 3 200V/ 4 200V/ 0.0s 100.0% Stop f 1 1.88V



Channel 3 Menu

Coupling
DC

Imped
1M Ohm

BW Limit

Fine

Invert

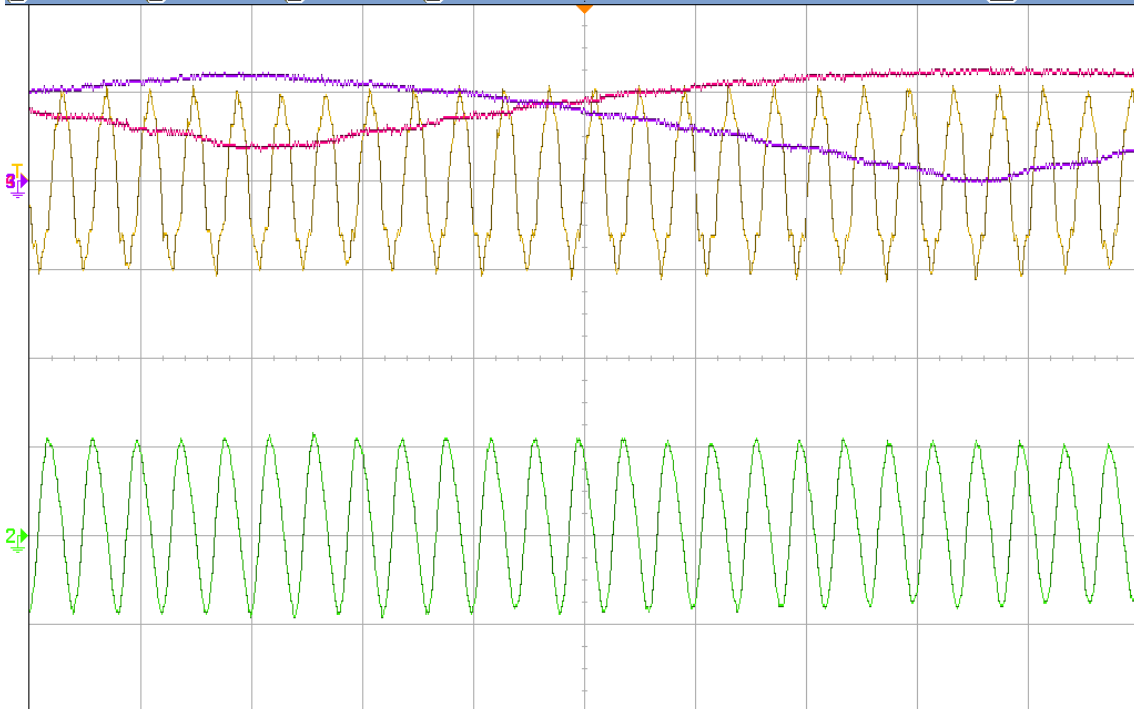
Probe



Agilent Technologies

TUE MAY 03 19:35:24 2011

1 200V/ 2 10V/ 3 200V/ 4 200V/ 0.0s 50.00% Stop f 1 1.88V



Channel 3 Menu

Coupling
DC

Imped
1M Ohm

BW Limit

Fine

Invert

Probe