

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИОСИСТЕМЫ НА ЧАСТОТЕ 130 ГГц С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ QPSK-МОДУЛЯЦИИ

Христенко В. И., Шелковников Б. Н.
 Национальный технический университет Украины «КПИ»,
 Институт телекоммуникационных систем
 пер. Индустриальный, 2, г. Киев, Украина
 тел.: 063-640-49-42, e-mail: ovod88@bigmir.net

Аннотация — На данный момент скорости проводных линий достигли отметки 100 Гб/с. Такая тенденция ведет к необходимости создания беспроводных систем нового поколения, способных передавать гигабитовые потоки на расстояния в несколько километров. Уже существуют радиосистемы, работающие на частотах свыше 100 ГГц. Однако эти системы используют ASK модуляцию, которая является спектрально и энергетически невыгодной. В данной работе исследована радиосистема на частоте 130 ГГц с модуляцией QPSK с применением пакета AWR и представлены результаты исследований.

I. Введение

По мере развития общества возникают все новые и новые требования к предоставляемым услугам телекоммуникационных систем. Если 10 лет назад мобильный телефон считался роскошью, то теперь это неотъемлемая часть современного человека. Скорости компьютерных сетей увеличиваются по экспоненциальному закону. Технологии MPLS/IP/Ethernet в будущем позволят передавать цифровые потоки с разными данными (голосом, видео, данные) со скоростью до 100 Гб/с, тем самым завершая этап построения сетей нового поколения. Такая тенденция неизбежно отразится и на скоростях беспроводных систем. Телевидение высокой четкости и сверхвысокой четкости требует цифровой канал 1.5 Гб/с и 6 Гб/с соответственно без схем сжатия, которые принципиально замедляют систему, что в свою очередь делает невозможным передачу HDTV сигнала в реальном времени. Поэтому в будущем понадобятся беспроводные системы с пропускной способностью в несколько гигабит за секунду. Существующий частотный ресурс принципиально не способен выполнить такое требование. Выходом может служить применение более высоких частот с простыми схемами модуляции. На сегодняшний день такие системы уже существуют [1, 2, 3]. В данных работах применялась ASK модуляция на частотах около 120 ГГц. Хотя данный диапазон и не лицензирован, однако в будущем применение ASK модуляции следует считать недостатком, поскольку она энергетически и спектрально не эффективна. Более эффективной считается фазовая модуляция (QPSK). В данной статье приведены результаты моделирования беспроводной системы, работающей на частоте 130 ГГц с применением QPSK в программном пакете AWR. Также проанализировано влияние нелинейностей усилителя на показатели системы, произведено сравнение QPSK, BPSK и QAM-16 модуляций.

II. Моделирование радиосистемы

Схема системы изображена на рис. 1.

На схеме передатчик состоит из следующих функциональных узлов:

Digital Data — генератор случайных данных на скорости 1 Гб/с; **Coder** — сверточный кодер со скоростью кодирования $\frac{1}{2}$; **QPSK Transmitter** — микросхема модулятора QPSK (в целях сравнения здесь также представлены BPSK и QAM-16 модуляторы).

На выходе модулятора получается манипулированный сигнал с несущей частотой 130 ГГц (синтезаторы и смесители входят в состав микросхемы). Вид полученного сигнала изображен на рис. 2. Для сглаживания выходного сигнала в модуляторе использовался фильтр с «приподнятой» косинусоидой с $\gamma=0,35$; **HEMT** — линейный усилитель. В AWR усилитель может моделироваться с применением трех различных моделей: Large Signal Polynomial, Small Signal Polynomial, AM-to-AM модель [5]. Первые две учитывают неоднородность усиления во всей частотной области и учтена нелинейность усилителя. Третья модель является частотонезависимой и представляет собой зависимость амплитуды выходного сигнала от уровня входного сигнала с внесенными фазовыми сдвигами.

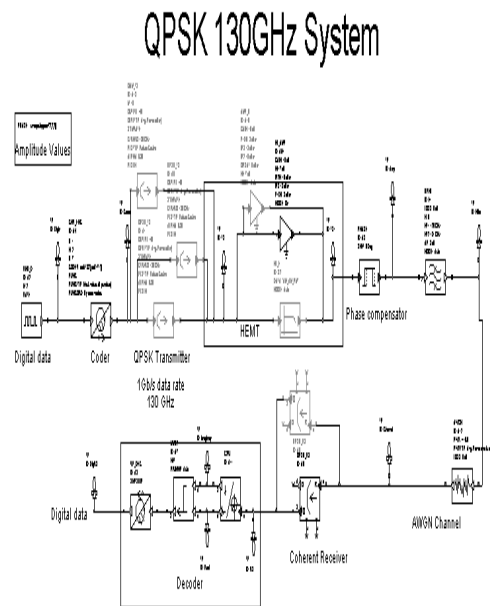


Рис. 1. Модель радиосистемы на частоте 130 ГГц с применением QPSK модуляции.

Fig. 1. 130 GHz radiosystem model using QPSK

В данной работе были использованы все три модели. Для частотонезависимых моделей использовалась модель усилителя GaAs HEMT из [1]. Поэтому, показатель P1db принят равным 10 дБм. Коэффициент усиления был выбран равным 16 дБ (из параметров усилителя фирмы HITITE HMC-AUH320). Рассчитанный вид амплитудной характеристики изображен на рисунке 3. Для расчета минимального уровня сигнала усилителя (и соответственно уровня шумов усилителя) использовалась формула из [4]:

$$N = k \cdot T \cdot NF \cdot \Delta F, \quad (1)$$

где N — тепловой шум усилителя, k — постоянная Больцмана, T — абсолютная температура ($T=273+15$ K), NF — коэффициент шума (принят рав-

ным 7 дБ), ΔF — полоса, занимаемая сигналом (примем равной 2 ГГц для потока 1 Гб/с с FEC 1/2). Подставляя все значения в формулу (1), получаем $P_{\text{вхмин}} = N = -72$ дБм; **Phase Compensator** — компенсатор фазовых искажений, внесенных усилителем. Фазоманипулированный сигнал QPSK после передатчика изображен на рис. 4. На выходе передатчика размещается фильтр, характеристика которого и соответствующие уровни сигнала до и после него изображены на рис. 5. На этом же рисунке изображен спектр при большом входном уровне сигнала на усилитель. На данном рисунке можно наблюдать влияние нелинейности усилителя.

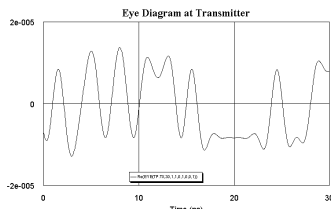


Рис. 2. «Глаз диаграмма» QPSK сигнала на выходе модулятора.

Fig. 2. «Eye diagram» of QPSK signal at modulator output

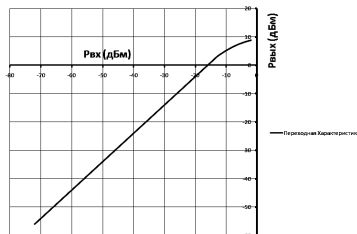


Рис. 3. Амплитудная характеристика усилителя.

Fig. 3. Amplifier amplitude characteristics

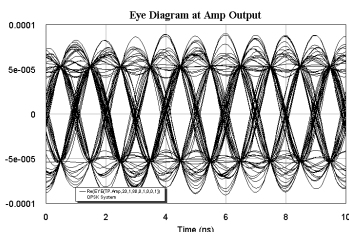


Рис. 4. «Глаз диаграмма» QPSK сигнала на выходе передатчика.

Fig. 4. «Eye diagram» of QPSK signal at transmitter output

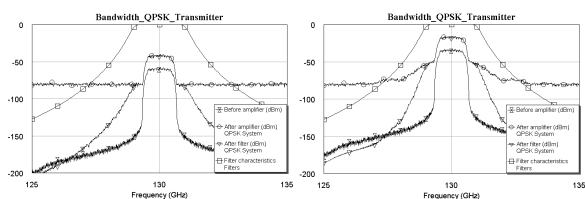


Рис. 5. Характеристика фильтра передатчика и соответствующие уровни сигнала до усилителя (before amplifier), после него (after amplifier) и после фильтра (after filter) (слева) и уровни сигнала при большом входном сигнале на усилитель (справа).

Fig. 5. Filter characteristics and corresponding signal levels before an amplifier, after an amplifier and after a filter (left figure), and signal levels for a high ingress signal (right figure)

Канал передачи данных представлен моделью белого шума (**AWGN**). В этом блоке устанавливается среднее значение суммарной мощности шума во всем диапазоне частот по формуле:

$$P_{\sigma} = k \cdot T_{\sigma} \cdot \Delta F, \quad (2)$$

где T_{σ} — шумовая температура четырехполюсника (в данном случае среда передачи). Из [4] $T_{\text{ш}} = 40$ К. Подставив значения в формулу (2), получаем $P_{\text{ш}} = -119$ дБм. Также здесь можно варьировать затухание, вносимое средой, влияя на качественные показатели приемника. Так при значении затухания равному 50 дБ «глаз диаграмма» принятого сигнала и созвездье данных изображены на рисунке 6 и 7 соответственно. При увеличении затухания до 110 дБ созвездие для QPSK естественно искажается (рис. 8).

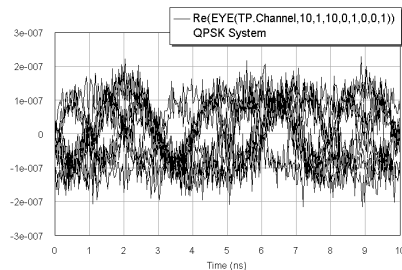


Рис. 6. «Глаз диаграмма» принимаемого сигнала.

Fig. 6. «Eye diagram» of received signal

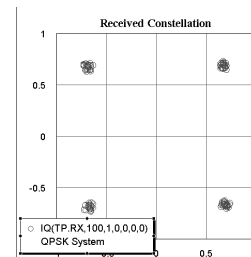


Рис. 7. Фазовое пространство QPSK.

Fig. 7. QPSK phase space

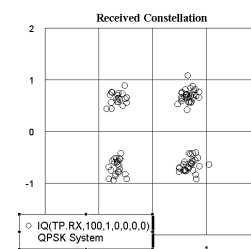


Рис. 8. Фазовое пространство QPSK.

Fig. 8. QPSK phase space

После AWGN канала сигнал принимается на когерентный демодулятор (**Coherent Receiver**) и декодер (**Decoder**). Вид принятой информации изображен на рис. 9.

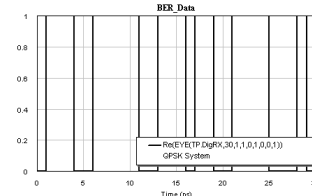


Рис. 9. Принятая информация.

Fig. 9. Received information

В этой же схеме можно сравнить полосы различных видов модуляции (рис. 10), включая поочередно соответствующие модуляторы.

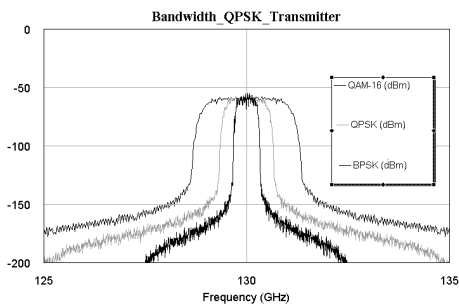


Рис. 10. Полосы частот для различных видов модуляции.

Fig. 10. Bandwidths for different modulations

Влияние нелинейностей моделей усилителей анализируются при помощи схемы на рисунке 11 при воздействии на входе 2 тонов, сосредоточенных вокруг частоты 130 ГГц. При анализе две модели усилителей включались поочередно. Результаты анализа в линейном и нелинейном режиме изображены на рисунке 12 и 13 при одинаковых уровнях входного сигнала -20 dBm.

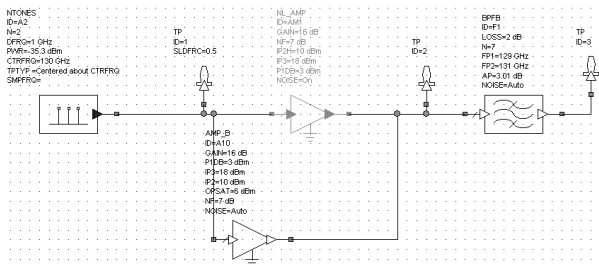


Рис. 11. Схема для анализа влияния нелинейностей усилителей.

Fig. 11. The scheme for analyzing amplifier nonlinearities

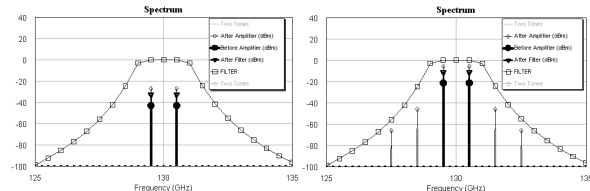


Рис. 12. Анализ модели усилителя для большого уровня сигнала в линейном режиме (слева) и нелинейном (справа).

Fig. 12. The amplifier model analysis for a signal high level in linear mode (left) and nonlinear mode (right)

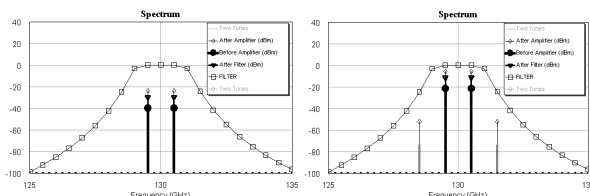


Рис. 13. Анализ модели усилителя для малого уровня сигнала в линейном режиме (слева) и нелинейном (справа).

Fig. 13. The amplifier model analysis for a signal low level in linear mode (left) and nonlinear mode (right)

Мощности гармоник в зависимости от уровня входного сигнала (ось x) изображены на рис. 14.

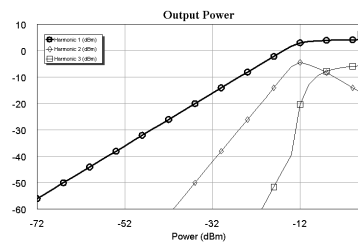


Рис. 14. Мощности гармоник на выходе усилителя в зависимости от уровня входного сигнала.

Fig. 14. Harmonics power at the amplifier output depending on an incoming signal level

Для измерения показателя BER использовалась схема на рисунке 15 для 3 видов модуляции, которые реализованы (или могут быть реализованы в ближайшее время) на существующей элементной базе: QPSK, BPSK и QAM-16. Результаты измерений изображены на рис. 16.

Comparison BER vs. SNR System

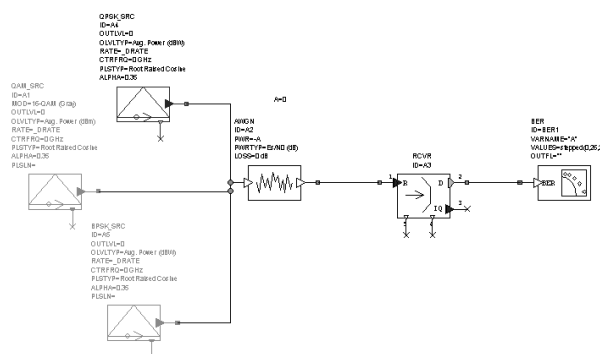


Рис. 15. Схема для измерения показателя BER.

Fig. 15. BER measurement scheme

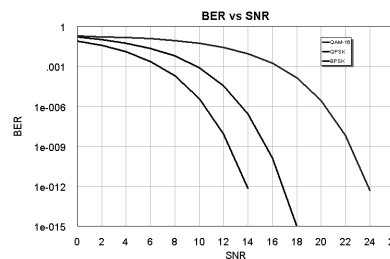


Рис. 16. Результаты измерения BER.

Fig. 16. BER measurement results

Итак, в данной работе была промоделирована беспроводная система на уровне устройств. Результаты моделирования могут быть использованы для проектирования отдельных функциональных узлов (смесителей, усилителей, антенн, сумматоров). В следующих работах планируется произвести моделирование подобной системы с применением существующей элементной базы.

III. Заключение

Моделирование телекоммуникационных устройств с применением программных средств на сегодняшний день является важной задачей, поскольку дают возможность наглядно строить требуемые структуры, а также предусматривать ожидаемые результаты, после чего возможна успешная реализация устройств на практике.

В работе была построена схема радиосистемы на частоте 130 ГГц с применением QPSK модуляции.

На основе полученных результатов можно предъявлять требования к отдельным функциональным узлам. Наглядно проанализировано влияние нелинейности на спектр сигнала, сравнены полосы сигналов различных видов модуляции, проанализировано показатель BER для радиосистемы, работающей на частотах около 130 ГГц. В данной работе не были приняты во внимание шумы гетеродина и смесителей, а отдельные функциональные узлы были идеально согласованы. Система моделировалась без антенны, поэтому показатели затухания в канале AWGN следует считать неточными и требуют дополнительного анализа. На практике усилители, работающие на частоте 130 ГГц, существуют только в лабораториях крупнейших корпораций и организаций телекоммуникационных услуг и коммерчески не производятся. Поэтому на данном этапе данная работа носит теоретический характер.

IV. Список литературы

- [1] Hirata Akihiko, Kosugi Toshihiko, Takahashi Hiroyuki 120-GHz-Band Millimeter-Wave Photonic Wireless Link for 10Gb/s Data Transmission // IEEE Transactions on microwave theory and techniques. May 2006. Vol. 54. No. 5.
- [2] 8 Gbit/s wireless data transmission at 250 GHz / H.-J. Song, K. Ajito, A. Hirata, A. Wakatsuki // Electronics Letters, 22nd of October. 2009. Vol. 45. No. 22.
- [3] Nagatsuma Tadao, Song Ho-Jin, Fujimoto Yoshihide Gigabit Wireless Link Using 300-400 GHz Bands // International Topical Meeting on Microwave. 2009.
- [4] Брагин А. С. Передающие и приемные устройства систем радиосвязи. К.: НТУУ «КПИ», 2008. 509 с.
- [5] Maas Stephen A. Nonlinear Microwave and RF Circuits. Boston: Artech House, 2003. 604 p.

130 GHz QPSK RADIOSYSTEM SIMULATION

Khrystenko V. I., Shelkovnikov B. N.
National Technical University of Ukraine "KPI",
Institute of Telecommunication Systems
2, Industrialnyy alley, Kyev, Ukraine
Ph.: 063-6404942, e-mail: ovod88@bigmir.net

Abstract — Nowadays the speed of wire lines has reached the value of 100 Gb/s. Such tendency entails the necessity to create new generation wireless systems, which would be able to pass gigabit flows on distances in a few kilometres. Although, there are radiosystems working on frequencies over 100 GHz already, however they use ASK modulation that is

spectral and power inefficient. In the following article, a wireless system with QPSK modulation is investigated on frequency 130 GHz using AWR software. Study results are given as well.

I. Introduction

With the development of society more and more new requirements are presented to the services of telecommunication systems. The speed of computer networks increases exponentially. Therefore, wireless systems with a capacity of several gigabits per second will be required in the future. Existing frequency resources are incapable of meeting this requirement fundamentally. The solution may be to use higher frequencies with a simple modulation scheme.

II. Main Part

This article presents the results of modeling a wireless radiosystem operating at a frequency 130 GHz using QPSK in software AWR. Also the influence of the nonlinear amplifier on the performance of the system is analyzed; the comparison between QPSK, BPSK and QAM-16 modulation is accomplished as well.

The model consists of Digital data - the random data at a speed of 1 Gbps, Coder - convolutional coder with coding rate $\frac{1}{2}$, QPSK Transmitter - QPSK modulator scheme. At the modulator output the manipulated signal with a carrier frequency of 130 GHz is obtained, HEMT - linear amplifier. In AWR amplifier can be simulated using three different models: Large Signal Polynomial, Small Signal Polynomial, AM-to-AM model. The first two take into account the heterogeneity of amplification throughout the frequency domain and take into account the nonlinearity of the amplifier. The third model is frequency independent and represents the amplitude of the output signal from the input signal level amended by the phase shifts. In this study, we used all three models, Phase Compensator - phase distortion compensator, AWGN - channel with white noise. In this block the average value of the total noise power across the frequency range is set, Coherent Receiver and Decoder. Also BER measurement was accomplished. Effect of non-linear models of amplifiers is analyzed using separate circuits with two models of amplifiers under the influence of two tones. In this article the wireless system on level of devices was modeled. The results of simulation can be used for the design of individual functional units (mixers, amplifiers, antennas, combiners). In the following work, it is planned to conduct a simulation of such a system using existing components.

III. Conclusion

In the work the scheme of radiosystem on radio frequency 130 GHz using QPSK modulation was built. Based on these results, we can demand particular characteristics of functional sites. Visually, the effect of nonlinearity on the spectrum of the signal was analyzed, compared bandwidth of signals of different modulation types, and analyzed the behavior of BER for a radiosystem operating at frequencies around 130 GHz.