

РОЗРОБЛЕННЯ ЛЧМ-РАДАРУ БЛИЖНЬОЇ ДІЇ ДЛЯ РОБОТИ В ТЕРАГЕРЦОВОМУ ДІАПАЗОНІ

Авдєєнко Г.Л., Наритник Т.М.

Навчально-науковий Інститут телекомунікаційних систем

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: django2006@ukr.net

DESIGN OF THE SHORT-RANGE FMCW RADAR OF THE TERAHERTZ BAND

This paper present the design of short-range frequency-modulated continuous wave (FMCW) radar prototypes of terahertz band ($f > 100$ GHz). It based on the application of Silicon Radar integrated circuit (IC) transceiver modules of TRX120_001 and TRA120_002. The theoretical assessment of radar range and its accuracy for various parameters of digital signal processing are presented. The block diagram of terahertz FMCW radar are developed. The printed-circuit board of radar transceiver are developed and successfully tested with usage of SiRad Easy evaluation board. This paper must be useful for radar specialists, radar and telecommunication equipment vendors.

На сьогоднішній день терагерцовий діапазон (100 ГГц – 3 ТГц) став цікавим для проведення наукових досліджень та виробництва засобів телекомунікацій, радіолокації, медицини тощо [1]. Деякі компанії, такі як Silicon Radar, Texas Instruments, виробляють інтегральні схеми (IC) для радарів малої дальності в терагерцовому діапазоні, які почали широко використовуватися в промисловості (датчики IoT, автоматизація виробництва, вимірювання рівня рідини, мастил, палива в цистернах), робототехніці (локація об'єктів, уникнення зіткнень), для дронів та БПЛА (попередження зіткнення, безпечна посадка), в автомобілях (допомога при паркуванні, водіння), медицина (контроль дихання) та інші. Такі радарні пристрої використовують ЛЧМ-сигнал і називаються ЛЧМ-радаром (FMCW radar). Вони забезпечують компактне та економічне технічне рішення для вимірювання на короткій відстані (до 300 м) з високою точністю. Наприклад, ЛЧМ-радар, що використовуються в промисловості для контролю рівності поверхонь матеріалів, мають точність 200 мкм на відстані 50 мм [2]. У деяких зразках промислових ЛЧМ-радарів отримано точність визначення від 1 мм до 30 мм на відстані до об'єкта до 30 м [3]-[5].

У даній тезі представлено результати розроблення плати трансиверу терагерцового діапазону для ЛЧМ-радара на основі IC TRX120_001/TRA120_002 (рис.1). Ця плата була успішно протестована з використанням стандартних оціночних плат радара SiRad Easy від компанії Silicon Radar.

Блок-схему IC приймально-передавальних модулів (трансиверів) TRX120_001 і TRA120_002 Silicon Radar для ЛЧМ-радарів показано на рис.2. Інтегральна схема модуля складається з гетеродину, тракту передачі та тракту прийому. Гетеродин складається з генератора, керованого напругою (VCO), дільника частоти на 32 і двовихідного підсилувача потужності. Виходом VCO є ЛЧМ-сигнал з несучою частотою 120 ГГц, який керується сигналами

$V_{t0}...V_{t1}$ від IC ФАПЧ синтезатора ADF4159. Вихідні сигнали дільника частоти div_n , div_p утворюють коло зворотного зв'язку синтезатора частоти. Тракт передачі складається з підсилювача потужності та передавальної антени. Приймальний тракт складається з приймальної антени, малошумного підсилювача (МШУ), підсилювача потужності та понижуючого I/Q-змішувача.

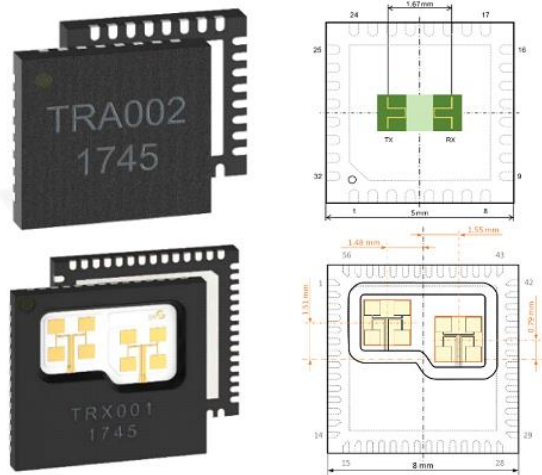


Рис. 1. Зовнішній вигляд IC прийомо-передавачів TRX120_001/TRA120_002.

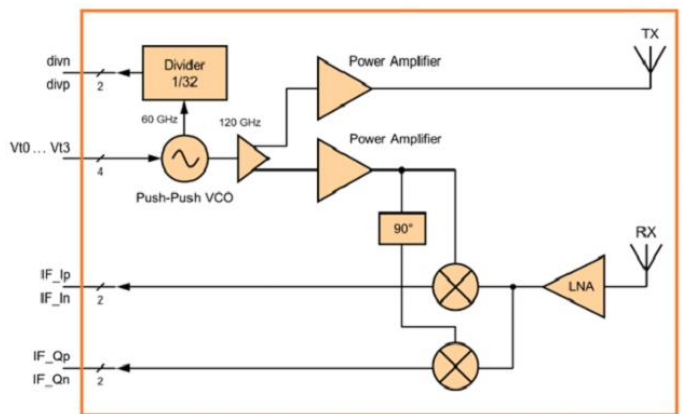


Рис. 2. Структурна схема IC прийомо-передавача TRX120_001/TRA120_002.

Основними параметрами приймально-передавального модуля є: вихідна частота VCO $f_{out} = 119,3...125,8$ ГГц; діапазон хитання частоти VCO $\Delta f = 5,5...7,5$ ГГц; кількість регульованих частотних смуг = 8; напруга живлення $V_{cc} = 3,3$ В; споживаний струм $I_c = 112...125$ мА; вихідна потужність передавального тракту $P_{tr} = -7...+1$ дБм; вихідна частота дільника частоти $f_{div} = 1,84...1,99$ ГГц; коефіцієнт підсилення приймального тракту $G = 8..10$ дБ; коефіцієнт шуму приймача $N_F = 8,7$ дБ; діапазон проміжних частот $f_{IF} = 0...200$ МГц; Дисбаланс амплітуди I/Q = 3 дБ; дисбаланс фаз I/Q = $-10^\circ...10^\circ$; коефіцієнт поділу частоти $N_{div} = 64$; габаритні розміри 8×8 мм² (TRX120_001) і 5×5 мм² (TRA120_002); тип антени – патч 4×4 (TRX120_001), дипольна (TRA120_002).

Спрощена структурна схема запропонованого ЛЧМ-радару діапазону 122 ГГц з використанням інтегрального модуля TRX120_001/TRA120_002 представлена на рис.3. Він складається з двох плат: плати трансиверу (Board №1) і плати синтезатора частоти ФАПЧ/плати аналогової обробки IQ (Board №2). Електрична схема плати трансиверу була розроблена за допомогою програмного забезпечення для проєктування друкованих схем Altium Designer. Також були побудовані 2D та 3D моделі плати трансиверу, які представлено на рис.4. Плата трансиверу виготовлена на двосторонньому скловолоконному ламінаті FR4 діаметром 35 мм та товщиною 1 мм. Експериментальні дослідження виготовленої плати трансиверу ЛЧМ-радару (рис.5) у поєднанні з синтезатором частоти/платою аналогової обробки сигналу IQ та платою контролера Nucleo STM32 стандартного оціночного комплексу плат SiRad підтвердили працездатність розробленої плати трансиверу для ЛЧМ-радару на базі модуля TRX120_001 (рис.6).

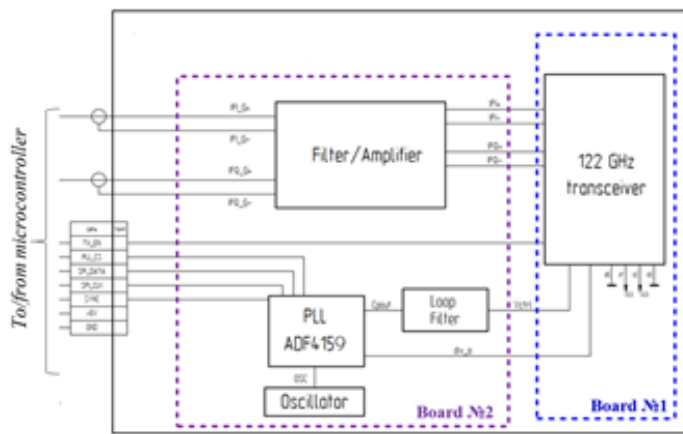


Рис.3. Структурна схема запропонованого ЛЧМ-радару діапазону 122 ГГц.

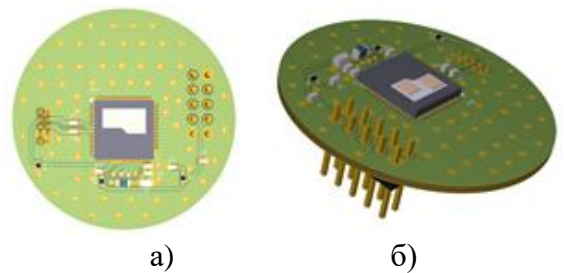


Рис.4. 2D (а) та 3D (б) моделі плати трансивера на базі IC TRX120_001.

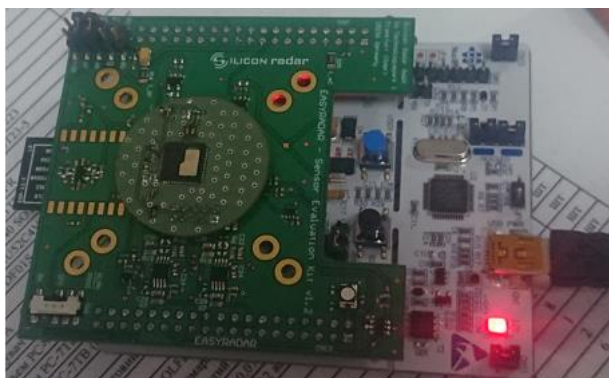


Рис.5. Устаткування для тестування розробленої плати трансивера ЛЧМ-радару.



Рис.6. Візуалізація результатів вимірювання дальності.

Висновок. Представлено та розроблено плату прийомо-передавача терагерцового діапазону для ЛЧМ-радару на базі IC TRX120_001/TRA120_002. Ця плата була успішно протестована з використанням стандартного оціночного комплексу плат SiRad Easy від компанії Silicon Radar.

Література

1. M. Ilchenko, T. Narytnyk, G. Avdeyenko “Wireless Communication Systems of Terahertz Frequency Range”, *Lecture Notes in Networks and Systems*, 2021, 212 LNNS, pp. 189–222.
2. S. Scherr, B. Götzel, S. Ayhan, A. Bhutani, M. Pauli, W. Winkler, J. Scheytt, T. Zwick “Miniaturized 122 GHz ISM band FMCW radar with micrometer accuracy”, *2015 European Radar Conference, EuRAD 2015 – Proceedings*, December 2015, pp. 277–280.
3. M. Pauli, B. Götzel, S. Scherr, A. Bhutani, S. Ayhan, W. Winkler, T. Zwick “Miniaturized Millimeter-Wave Radar Sensor for High-Accuracy Applications”, *IEEE Trans. Microw. Theory Techn.*, vol.65, Issue 5, May 2017, pp. 1707–1715.
4. C. Zech et al., “A compact W-band LFM CW radar module with high accuracy and integrated signal processing,” in Proc. Eur. Microw. Conf. (EuMC), Sep. 2015, pp. 554–557.
5. K. Schmalz, W. Winkler, J. Borngräber, W. Debski, B. Heinemann, and J. C. Scheytt, “122 GHz ISM-band transceiver concept and silicon ICs for low-cost receiver in SiGe BiCMOS,” in IEEE MTT-S Int. Microw. Symp. Dig., May 2010, pp. 1332–1335.
6. TRX_120_001 120-GHz Highly Integrated IQ Transceiver with Antennas in Package in Silicon Germanium Technology.