

АПАРАТНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ UHF СИГНАЛІВ

Анотація. У статті описана схема та конструкція апаратного пристрою, для вимірювання потужності радіосигналів діапазону UHF. Розроблений апаратний пристрій може вимірювати потужність сигналу в діапазоні частот 0.8 – 6 GHz.

Ключові слова: UHF, вимірювання потужності UHF сигналів, радіо керовані пристрої.

Вступ

В сучасному світі все більше пристроїв переходять на діапазон UHF (Ultra High Frequency) сигналів. Сучасні телефони з підтримкою стандарту 5G отримують і передають данні на частотах 4.8 – 4.9 GHz, частоти близько 5.8 GHz використовуються в радіокерованому авіамоделізмі для пілотування за зображенням відеокамери. Авіамоделі для керування використовують частоти 0.9 – 2.4 GHz. Зв'язок із космічними апаратами на орбіті Землі (зокрема і супутниковому телебаченні) використовує переважно діапазони C (3.4 – 7 GHz) і Ku (12 – 18 GHz). Це лиш мала частина сучасного світу де використовують діапазон UHF [1,2].

Для досліджень приймально - передавальних пристроїв, а також антен в діапазонах UHF потрібно обладнання великої вартості. Часто саме це і зупиняє дослідження з цим діапазоном хвиль. Проте якщо виділити область 0.8 – 6 GHz, то можливо зробити деякі пристрої для оцінки потужності сигналу на основі сучасних мікросхемотехнічних рішень.

Звичайно комплекс, що буде розглянуто у цієї роботі, не дозволить замінити повноцінний спектральний аналізатор або інший високочастотний вимірюючий пристрій. Проте стане можливою якісна оцінка, стане можливо оцінити змінився сигнал або яка антенна більше передає сигнал. Це вказую на те, що розробка такого комплексу є актуальною задачею.

Підсилювач UHF сигналів на базі QPL9547

Для підсилення UHF (Ultra High Frequency) сигналів застосовувався підсилювач на базі мікросхеми QPL9547. Дана мікросхема QPL9547 – це високо

лінійний, надмало шумний підсилювач у невеликому корпусі розміром 2x2 mm для поверхневого монтажу. На частоті 1.9 GHz підсилювач зазвичай забезпечує максимальне посилення +19.5 dB або +39 dBm на навантаженні 50 Ω. При установці струму зміщення в 65 mA коефіцієнт шуму – 0.3 dB. Мікросхема працює в широкому діапазоні частот від 0.1 GHz до 6 GHz. На максимальній частоті підсилення складає +12 dB.

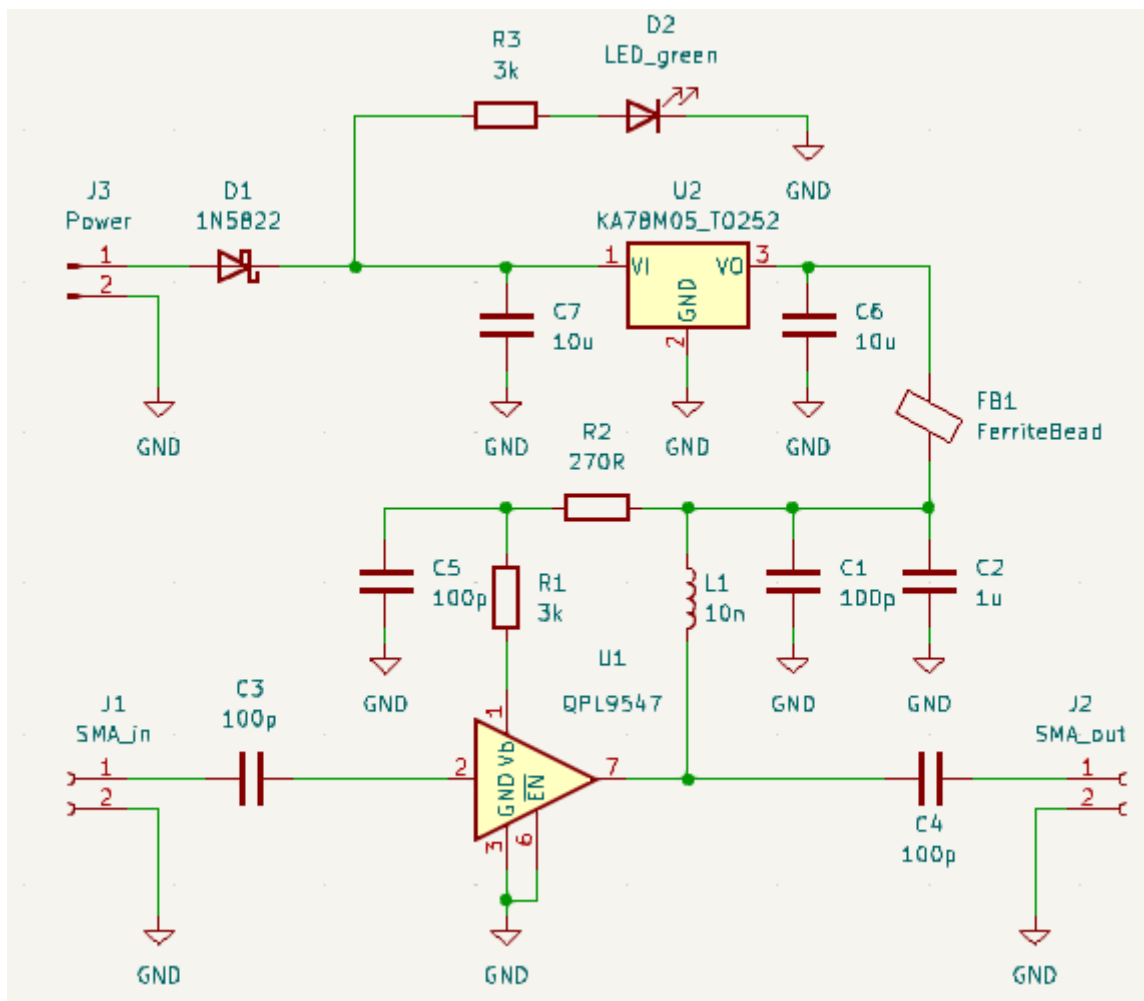


Рисунок 1 – Схема UHF підсилювача на основі QPL9547

На рис. 1 представлено розроблену схему підсилювача. Основним елементом схеми є мікросхема U1 – QPL9547. Для відокремлення постійного струму, а також частот нижчих за 0.1 GHz на вході і виході схеми стоять розділяючі конденсатори C3 та C4. Індуктивність L1 (10 nH) було використано в корпусі 0805 фірми Coilcraft з спеціальної серії для UHF сигналів. Оразу біля неї стоять конденсатори C1 та C2 для блокування проходження над високочастотного сигналу в шину живлення. Також для стабільної роботи QPL9547 живиться від стабілізатору напруги 78M05, який забезпечує стабілізоване живлення +5 V. Для

захисту від збудження мікросхеми лінійного стабілізатору живлення 78M05 над високочастотними сигналами стоїть феритова бусина FB1. Без неї збуджувався лінійний стабілізатор при підсиленні сигналів після 500 MHz. Хоча в документації на мікросхему підсилення вказується, що можна для встановлення струму зміщення в 65 mA використовувати один резистор в 3.2 kΩ, в реальності для запобігання збудження підсилювача треба використовувати послідовне поєднання 2 резисторів, а саме R1 та R2 з точки поєднання яких стоїть конденсатор C5. Ця схема є простішим ФНЧ (Фільтром Низької Частоти) і захищає ланцюг зміщення від попадання високочастотних сигналів. Діод Шоттки D1 захищає від неправильної полярності живлення, а світлодіод D2 – індикатор живлення.

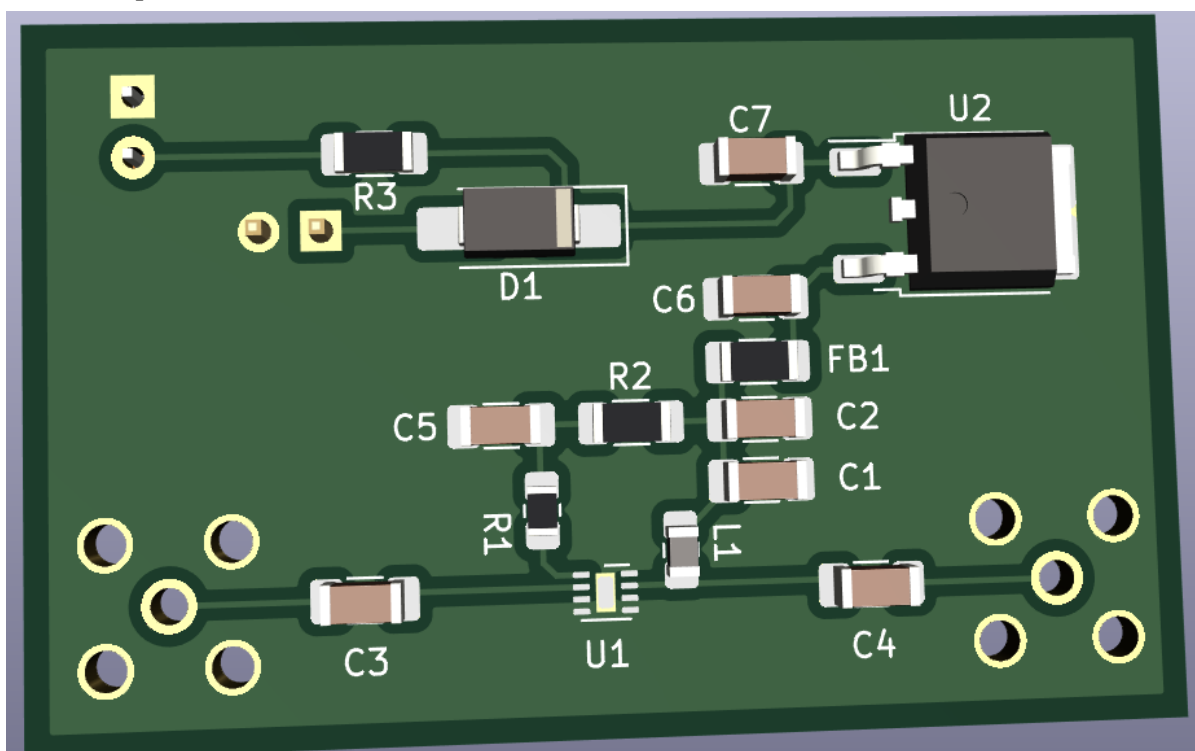


Рисунок 2 – 3Д модель друкованої плати в KiCAD

Оскільки підсилювач UHF сигналів працює в діапазоні частот від 0.1 GHz – 6 GHz, до плати пред'являються особливі вимоги. По перше – це суцільне заливання земляним полігоном без термобар'єрів у місцях пайки, по друге – це досить шільне встановлення компонентів один до одного (особливо компонентів, що блокують над високочастотний сигнал). По третє – потрібно враховувати певні параметри плати, такі як довжина, товщина доріжок та відстань їх до земляного полігону. Параметри плати можна взяти з документації на мікросхему, в якій приводяться зразки правильної розводки

плати та вимоги до матеріалу текстоліту. На рис. 2 зображено 3D модель друкованої плати в середовищі KiCAD. Параметри плати задовольняють вказаним вимогам.

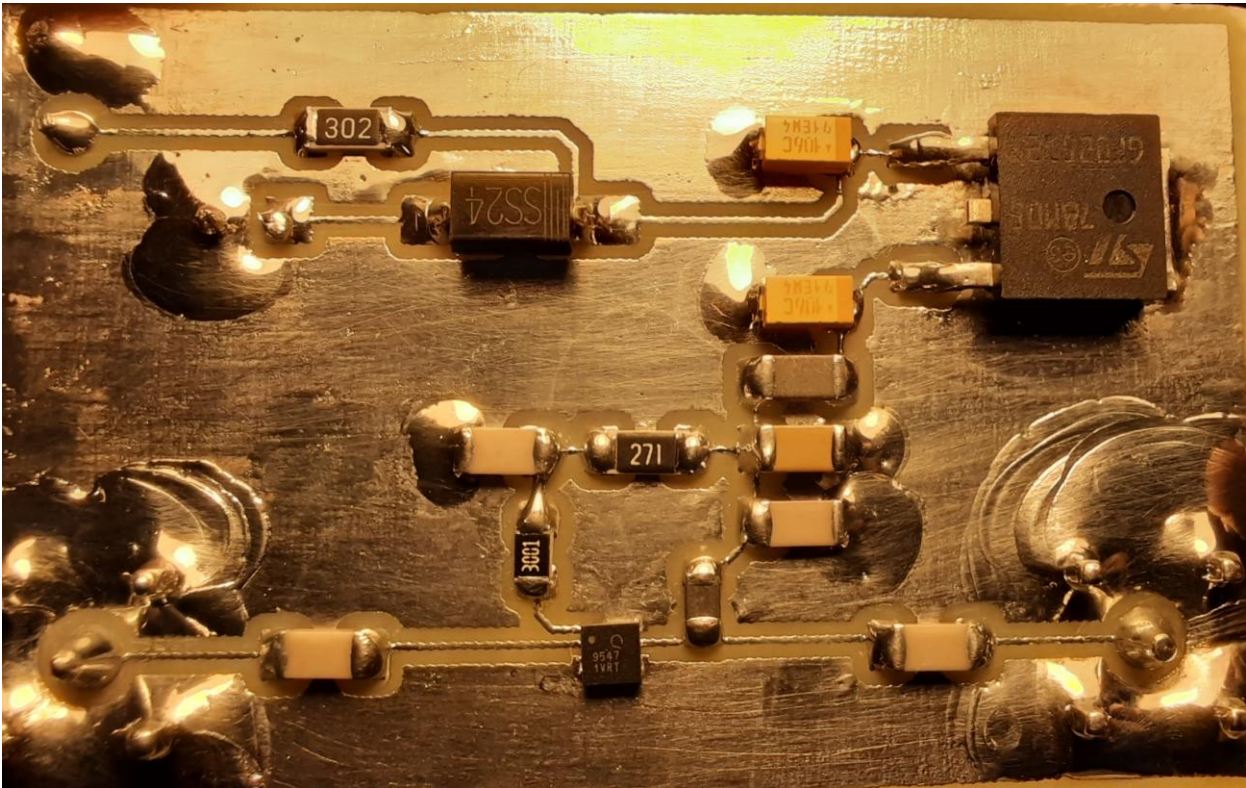


Рисунок 3 – Розроблена плата UHF підсилювача

На рис. 3 представлено фотографію розробленого підсилювача. Плата після витравлювання покривалась припоєм з вмістом срібла 5% для кращої роботи в UHF діапазоні частот.

Для перевірки працездатності UHF підсилювача було зроблено тестовий стенд (рис. 4). В якості джерела вхідного сигналу використовувався векторний аналізатор спектру nanoVNA. В ньому є режим CW, при якому можливо його використовувати, як генератор ВЧ сигналу близького до синусу. При цьому сигнал береться з виходу S11, потужність вихідного сигналу з виходу S11 – +10 dBm.

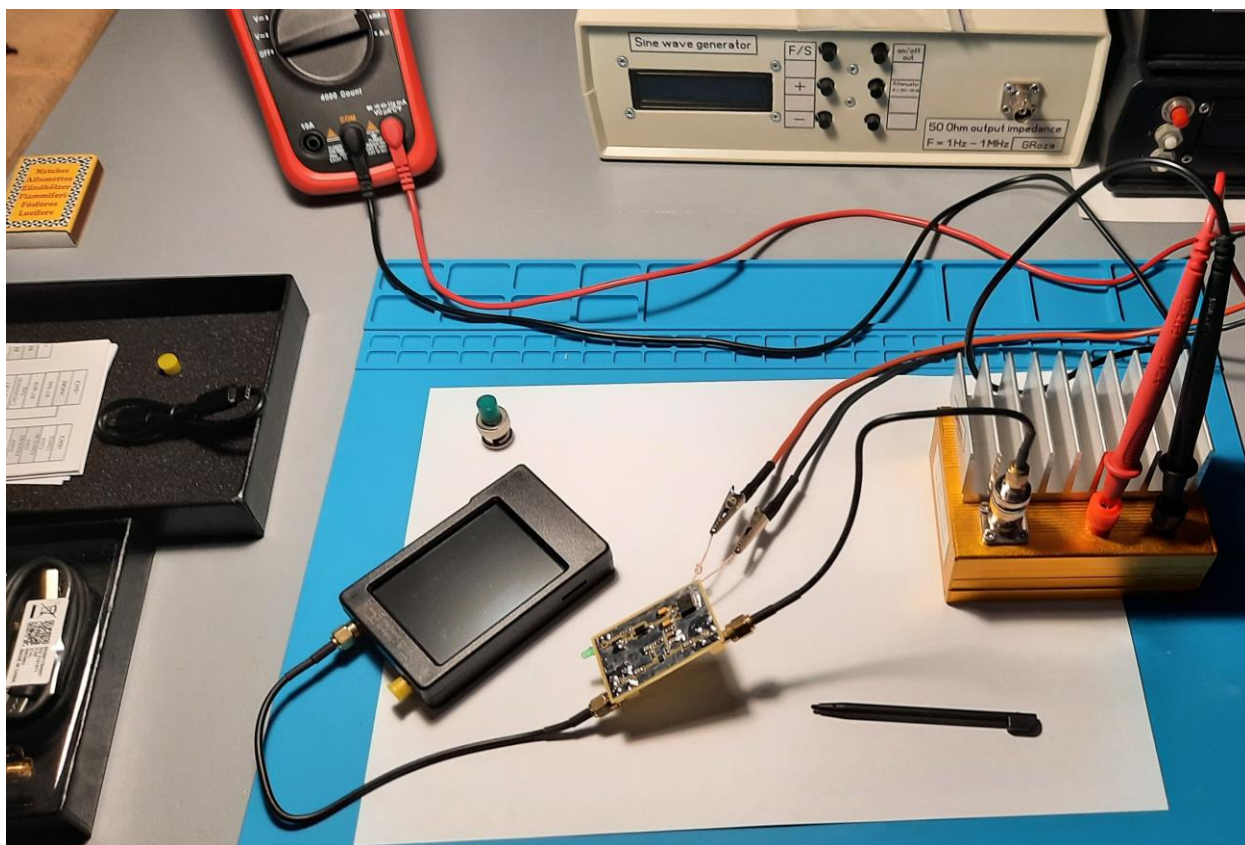


Рисунок 4 – Тестовий стенд для дослідження UHF підсилювача

В якості генератора nanoVNA може генерувати сигнали від 50 kHz до 1.5 GHz. Це було використано для дослідження властивостей підсилення, а також перевірки працездатності. Для цього подавався сигнал від 100 MHz до 1.5 GHz на вхід створеного підсилювача на базі QPL9547. В якості навантаження підсилювача використовувався спеціальний UHF резистор 50 Ω , який був поміщений у металевий корпус. В цьому корпусі окрім резистора також знаходиться найпростіший піковий детектор з діода 1N5711 та конденсатора 100 nF. В якості джерела живлення використовувався лабораторний блок живлення, на якому було встановлено напругу 12 V і струм обмеження 500 mA. Вимірювалось постійна напруга на піковому детекторі, що, у відповідності до документації, дозволяє оцінити потужність сигналу:

$$P = \frac{((U + 0.35) \cdot 0.707)^2}{50} \quad (1)$$

Для перетворення напруги U на піковому детекторі у потужність P , що виділяється на резисторі 50 Ω було використано формулу 1. Формула також враховує падіння на діоді в 0.35 V.

Спочатку вимірювалась потужність насамперед від джерела вхідного сигналу nanoVNA на навантаження 50Ω , потім між навантаженням в 50Ω і джерелом сигналу встановлювався підсилювач на QPL9547. За допомогою вище описаного стенду було перевірено підсилювач у діапазоні частот від 100 MHz до 1.5 GHz при цьому підсилювач видав підсилення +23 dB. На жаль, за відсутністю джерела на більш високі частоти вимірювання підсилювання не відбувалось більше 1.5 GHz, проте можна сказати про працездатність схеми.

Вимірювач потужності UHF сигналу на базі AD8319

Для вимірювання потужності UHF сигналу було прийнято рішення використовувати сучасну спеціалізовану мікросхему – AD8319. AD8319 – це демодулюючий логарифмічний підсилювач, здатний виконувати точне перетворення вхідного сигналу UHF на відповідну вихідну напругу в логарифмічному масштабі. Він заснований на методі прогресивної компресії і складається з послідовного з'єднання підсилювальних каскадів, кожен з яких має власний елемент, що детектує. Компонент може працювати в режимі вимірювання або контролера. AD8319 підтримує високу точність логарифмічної характеристики під час роботи з сигналами в смузі частот від 1 MHz до 8 GHz та забезпечує прийнятну якість при частотах до 10 GHz. Типовий діапазон вхідних сигналів, у якому підтримується похибка менше ± 1 dB, становить 40 dB (при навантаженні 50Ω). AD8319 має час відгуку 8 ns/10 ns (час наростання/час спаду), що дозволяє детектувати за його допомогою імпульсні радіосигнали з частотою повторення понад 50 MHz. У документації заявлено, що компонент має безпрецедентну стабільність точки перетину логарифмічної характеристики при змінах температури навколишнього середовища. Для роботи AD8319 необхідне одне джерело напруги живлення в діапазоні від 3.0 V до 5.5 V. Типовий струм споживання дорівнює 22 mA, і зменшується до 200 mA при перемиканні компонента в неактивний стан. AD8319 можна налаштувати для формування керуючої напруги, що подається на підсилювач зі змінним коефіцієнтом посилення, або видачі результату вимірювань на виводі VOUT. Оскільки вихідний сигнал може бути використаний у завданнях управління, при проектуванні компонента особливу увагу було приділено мінімізації широкопasmового шуму.

У режимі контролера керуюча напруга, що задає робочу точку підсилювача, прикладається до виводу VSET. Контур керування підсилювачем ВЧ замикається на вивод VOUT, вихідний сигнал, на якому керує вихідним сигналом підсилювача. Шляхом зміни напруги VOUT рівень вихідного сигналу підсилювача встановлюється рівним величині, що задається за допомогою

VSET. Вихідна напруга на виводі VOUT AD8319 має діапазон від 0 до (VPOS – 0.1 V), достатній для завдань управління підсилювачами. Для роботи в якості вимірювального пристрою вивід VOUT з'єднується зовнішнім ланцюгом з виводом VSET, і компонент формує вихідну напругу, VOUT, що є спадною, лінійною в логарифмічному масштабі функцією амплітуди вхідного радіосигналу. Номінальний нахил логарифмічної характеристики дорівнює -22 mV/dBm і визначається ланцюгом VSET. Точка перетину становить 15 dB (відносно 50Ω , для не модульованого сигналу) і задається з допомогою входу INHI. Ці параметри зберігають високу стабільність при змінах напруги живлення та температури. AD8319 виробляється за кремній-германієвою (SiGe) технологією виготовлення ІМС на біполярних транзисторах, випускається в 8-вивідний корпус LFCSP_VD, що має габарити $2 \text{ мм} \times 3 \text{ мм}$, і працює в температурному діапазоні від -40°C до $+85^\circ\text{C}$.

Все вище зазначене дозволяє використовувати AD8319 в нашій задачі в режимі вимірювального пристрою. Було спроектовано схему (рис. 5) з урахуванням усіх особливостей описаних в документації на AD8319.

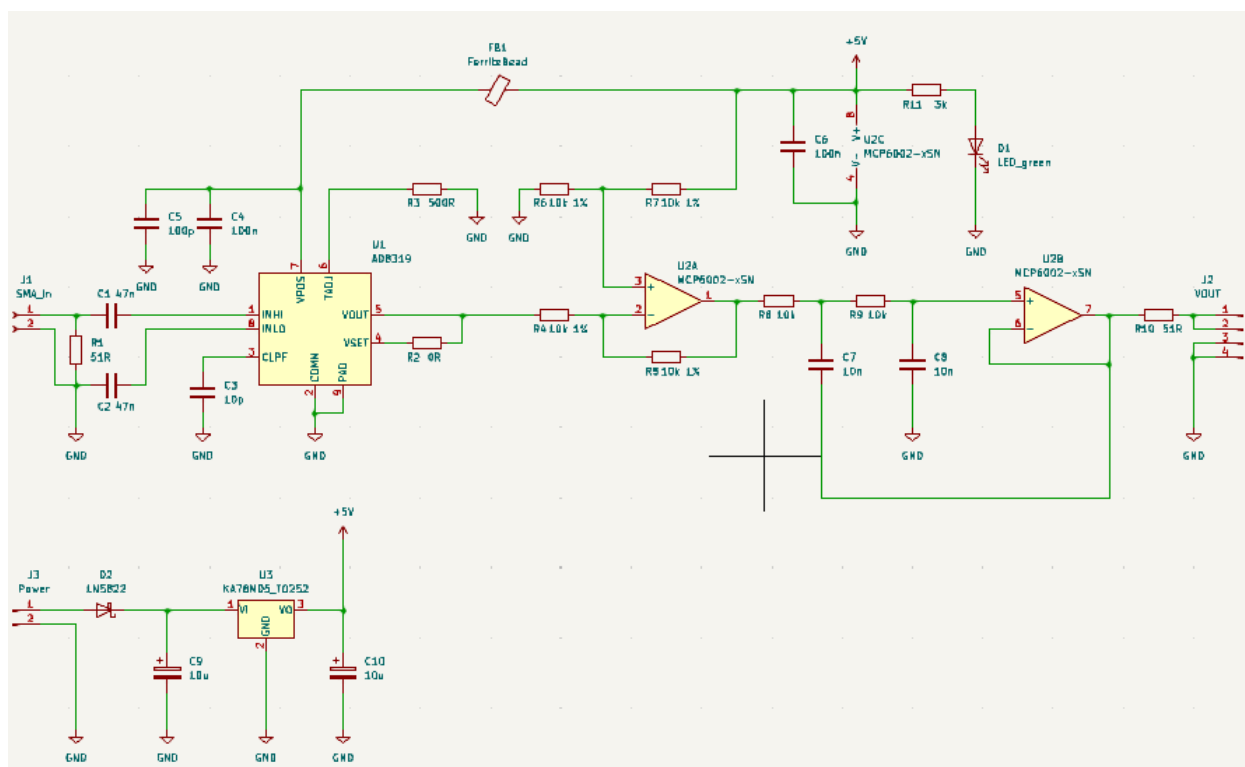


Рисунок 5 – Схема UHF вимірювача потужності на базі демодуючого логарифмічного підсилювача AD8319

На вході схеми UHF вимірювача потужності стоїть резистор R1 номіналом 51Ω , в якості навантаження. З нього диференційно знімається сигнал через 2

конденсатори C1 та C2 номіналом 47 nF, після них сигнал поступає на входи мікросхеми AD8319. Конденсатор C3 обирається для фільтрації, для діапазону частот 1–6 GHz його номінал становить 10 pF. Резистор R3 номіналом в 510 Ω задає температурну компенсацію AD8319. Конденсатори C5 та C4 стоять по живленню мікросхеми і також блокують подальше просування UHF сигналу в шину живлення. Для стабільного живлення схеми стоїть лінійний стабілізатор 78M05, який в свою чергу подає напругу +5 V через феритову бусину FB1 на AD8319, а на операційний підсилювач MCP6002 напряму. Відокремлення живлення MCP6002 від AD8319 феритовою бусиною є в край важливим, щоб не мати похибок на виході пов'язаних з протіканням UHF сигналу через шину живлення.

Операційний підсилювач MCP6002 використовується для двох задач: перша це – інвертувати вихідний сигнал, друга – це фільтрація вихідного сигналу.

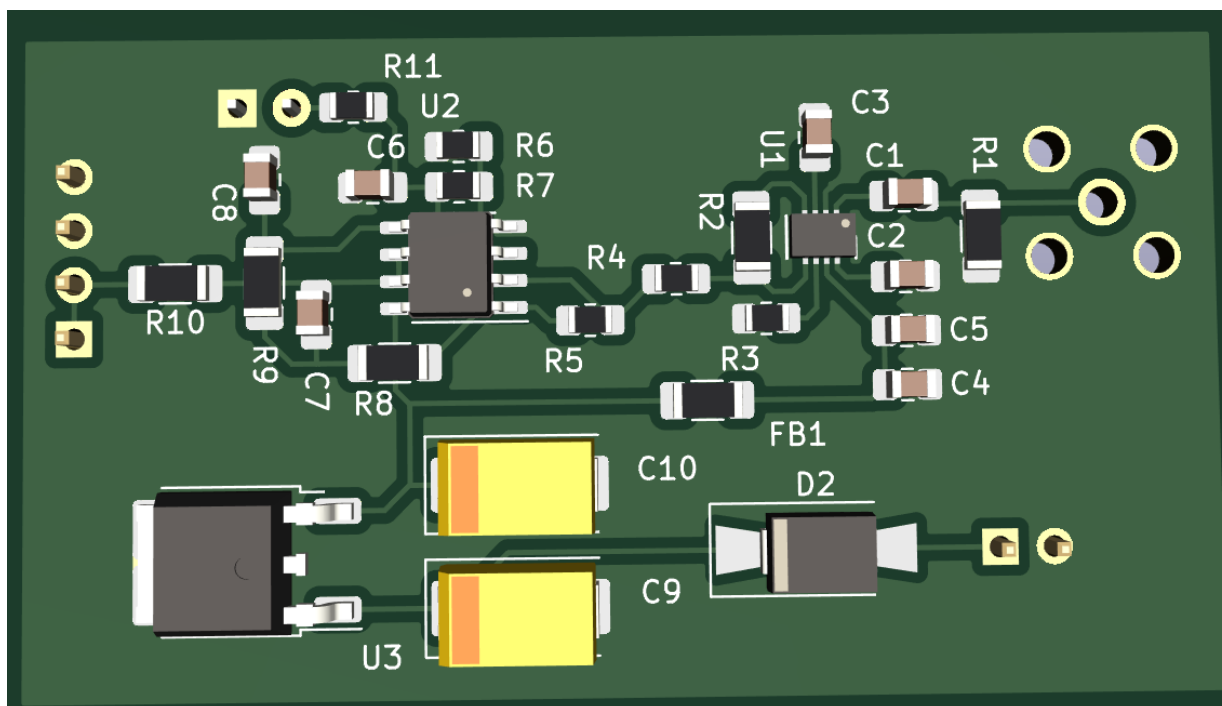


Рисунок 6 – 3Д модель UHF вимірювача потужності на базі демодулюючого логарифмічного підсилювача AD8319 в KiCAD

AD8319 формує вихідну напругу V_{OUT} , що є спадною, лінійною в логарифмічному масштабі функцією амплітуди вхідного радіосигналу з номінальним нахилом логарифмічної характеристики -22 mV/dBm , тому при максимальну сигналі на виході буде приблизно 0.3 V, а при мінімальному приблизно 1.5 V.

Щоб полегшити зчитування сигналу була зроблена схема, що перегортає шкалу на диференційному підсилювачі. Один з входів диференційного підси-

лювача поєднано до шини +5 V інший на вихід AD8319. За рахунок цього тепер при найменшому сигналі -60 dBm буде 3.5 V, а при сигналі в 0 dBm (1 mW при 50Ω) буде 4.7 V. Також операційний підсилювач виконує ще функцію узгодження вихідного опору AD8319. Нахил в 22 mV/dBm при цьому зберігається (рис. 6).

Фільтр після диференційного підсилювача побудований по схемі Саллена Кі. Це фільтр другого порядку низької частоти, він необхідний для того, щоб на виході UHF вимірювача потужності не було високочастотного шуму, який може бути на виході VOUT AD8319.

Створена плата UHF вимірювача потужності на базі AD8319 (рис. 7).

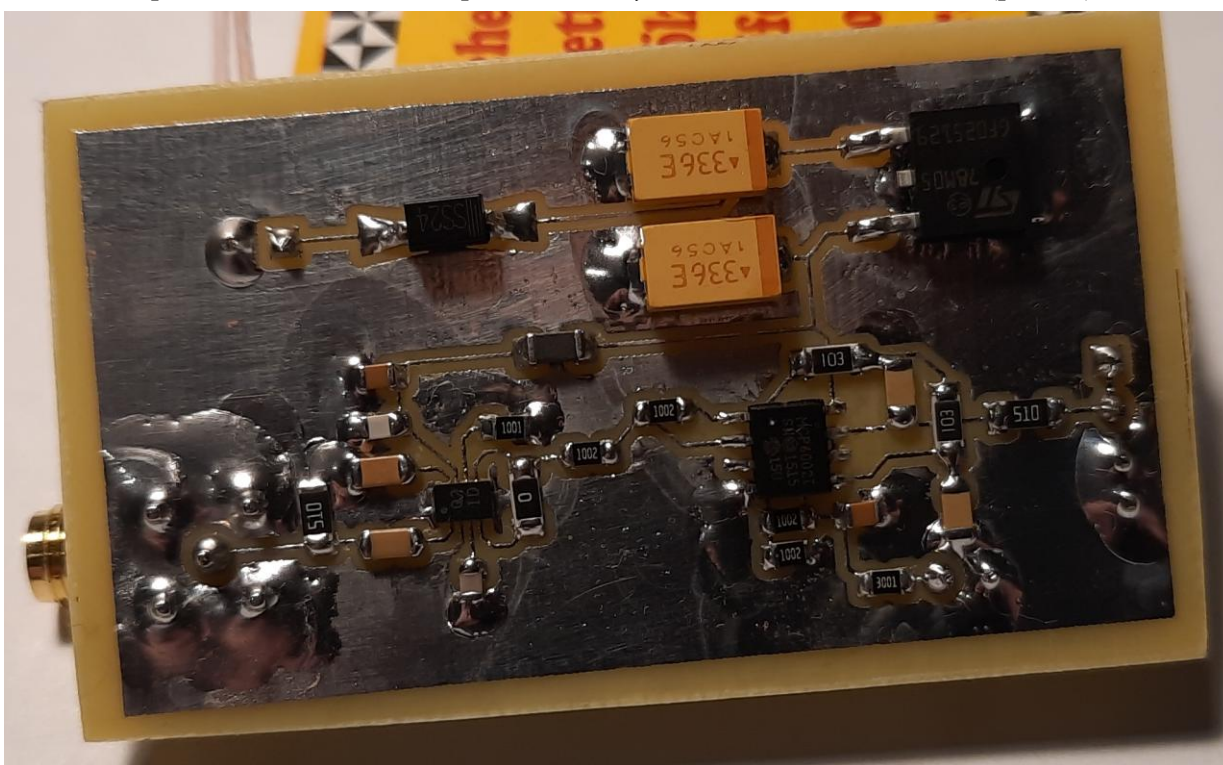


Рисунок 7 – Створена плата UHF вимірювача потужності на базі AD8319

Для перевірки працездатності UHF вимірювача потужності був проведено експеримент, при якому з джерела вхідного сигналу nanoVNA 1 GHz (+10 dBm) через атенюатори подавався сигнал на вхід розробленої схеми з AD8319 та MCP6002. Вихідний сигнал вимірювався мультиметром UT136C+.

Вихідна напруга на UHF вимірювачі в залежності від потужності вхідного сигналу

Вхідна потужність (dBm)	Вихідна напруга (V)
0	4.80
-10	4.52
-20	4.27
-30	4.05
-40	3.77
-50	3.70
-60	3.60

Представлені данні в таблиці вказують на працездатність створеного UHF вимірювача. Графік цієї залежності представлено на рис. 8.

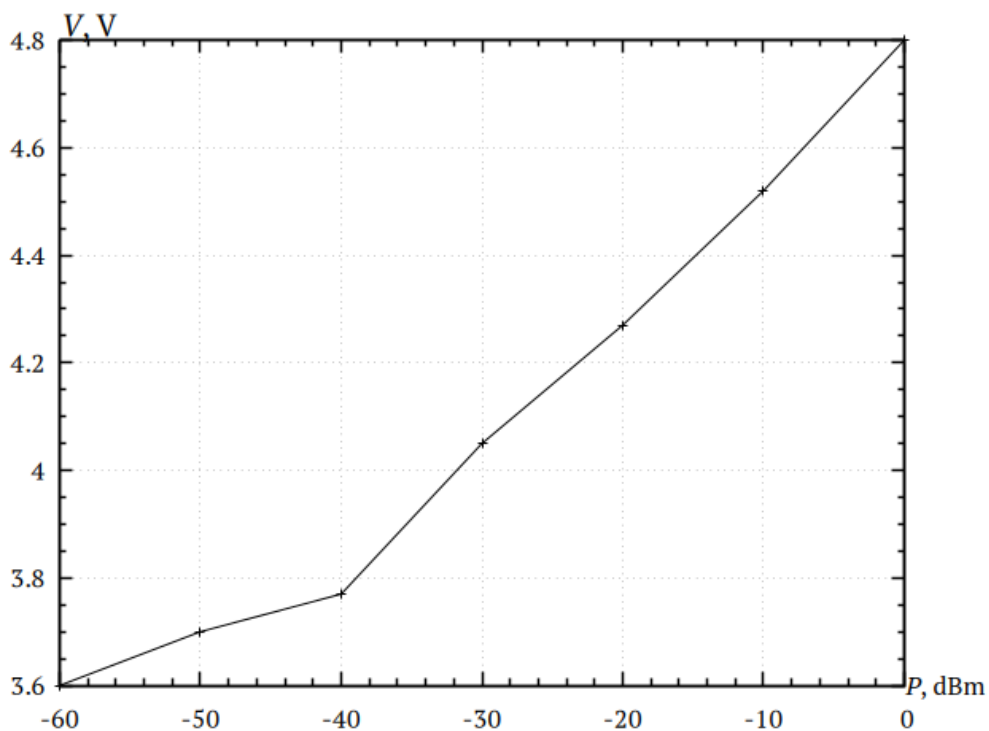


Рисунок 8 – Залежність вихідної напруги V від потужності вхідного сигналу

Залежність проявляє лінійність на діапазоні $-40 - 0$ dBm. Втрата лінійності на більш слабких сигналах пов'язана, скоріш усього, з суттєвим рівнем зовнішніх завад.

Висновки. Описаний апаратний комплекс, який складається з 2 блоків, а саме з підсилювача UHF сигналів на мікросхемі QPL9547 та демодуючого логарифмічного підсилювача на AD8319 показали свою працездатність.

Результати перевірки, що були представленні у табл. 1 показують, як реагував UHF вимірювач потужності сигналів на низьку вхідних сигналів різної потужності.

Цей комплекс може бути використано у лабораторних дослідженнях вихідної потужності передаючих пристроїв, для якісної оцінки антен або порівнянь антен. За рахунок підсилювача на вході можливо дослідження потужності сигналу близько до -80 dBm.

Описаний комплекс також має доволі помірну ціну, в порівнянні з промисловими аналогами.

ЛІТЕРАТУРА / REFERENCE

1. Radio Frequency Transistors: Principles and Practical Applications. Second Edition (EDN Series for Design Engineers) / Norman Dye, Helge Granberg /2001/ ISBN 978-0-7506-7281-8 / DOI <https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-7281-8.X5017-6>
2. The VHF/UHF DX Book Radio Society of Great Britain / Roger Blackwell, David Butler, Geoff Grayer, Günter Hoch, Sam Jewell, John Nelson, Dave Powis, Dave Robinson, Iian White, John Wilkinson / 1995/ ISBN 0 9520468 0 6

Received 23.02.2024.

Accepted 27.02.2024.

Hardware complex for measuring the power of UHF signals

The article describes the scheme and construction of a hardware device for measuring the power of UHF radio signals. The developed hardware device can measure the signal strength in the frequency range of 0.8 – 6 GHz.

For the research of receiving and transmitting devices, as well as antennas in the UHF bands, expensive equipment is required. This is often what stops research with this wave range. However, if we single out the 0.8-6 GHz range, it is possible to make some devices for evaluating the signal power based on modern microcircuit engineering solutions. Of course, the complex that will be considered in this work will not replace a full-fledged spectrum analyzer or other high-frequency measuring device. However, a qualitative assessment will be possible, it will be possible to assess the changed signal or which antenna transmits the signal more. This indicates that the development of such a complex is an urgent task.

A hardware complex has been developed, which consists of 2 units, the UHF signal amplifier on the QPL9547 microcircuit and the demodulating logarithmic amplifier on

the AD8319. The results of the research, which were presented in the table. 1 show how the UHF signal strength meter responded to a series of input signals of varying strength.

This complex can be used in laboratory studies of the output power of transmitting devices, for qualitative evaluation of antennas or antenna comparisons. Due to the amplifier at the input, it is possible to study the signal power up to -80 dBm. The described complex also has a fairly moderate price, compared to industrial analogues.

Key words: UHF, measuring the power of UHF signals, radio-controlled devices.

Зимогляд Андрій Юрійович - к.т.н., доцент кафедри ІТС УДУНТ.

Гуда Антон Ігорович - д.т.н., професор кафедри ІТС УДУНТ.

Кліщ Сергій Михайлович – старший викладач кафедри ІТС УДУНТ.

Zimoglyad Andrew Yuriyovych - Ph.D., associate professor of the ITS department of UDUNT.

Guda Anton Igorovich - doctor of technical sciences, professor of the ITS department of UDUNT.

Klishch Serhii - senior teacher of the ITS department of UDUNT.