

макročастинок (в нашому наближенні еліпсоїдів обертання) біологічного об'єкту та багаторазового заломлення і відбиття на цих шарах, не поглинулися біооб'єктом, а вийшли з нього.

Позаяк загальний відбитий від біологічної тканини потік не є когерентним, інтенсивність, як результуючу величину, яку реєструють, можна представити у вигляді:

$$I_{R\phi} = I_{R'\phi} + I_{R''\phi} . \quad (3)$$

Висновки

Таким чином, проведені дослідження надають можливості визначення реальної форми досліджуваного об'єкту. Це необхідно для моделювання та розрахунків розподілу світлових електромагнітних полів, котрі утворюють досліджувані об'єкти в процесі діагностичного (або лікувального) опромінювання, що підвищує достовірність визначення патології стану. Предметом подальших досліджень у цьому напрямку є розрахунки дифракційних полів, розсіяного ЕМ світлового випромінювання неоднорідностями та поверхневими явищами об'єкту.

Література

1. Бецкий О.В., Девятков Н.Д., Лебедева Н.Н. Лечение электромагнитными волнами. Часть 2. Биомедицинская радиоэлектроника. – М. –2000. -№10. –С.48.
2. Поляков В.М., Шмаленюк А.С. СВЧ- термография и перспективы ее развития. Применение в медицине и народном хозяйстве. – М.: ЦНИИ Электроника, 1991.
3. Патент России №2138192, А61 В5/00, 1/00, G01 33/483. Способ распознавания типа ткани и аппарат для осуществления способа. Складнев В.Н., Копплсон В.М., Рейд Л.Р. Оpubл. 30.10.94.
4. Патент №58107 А України, А61В 5/00. Спосіб та обладнання комплексної діагностики та лікування. Безуглий М.А., Ключко Т.Р., Скицюк В.І., Тимчик Г.С. Оpubл. 2003.
5. Безуглий М.А., Ключко Т.Р., Скицюк В.І., Тимчик Г.С. Моделювання автоматизованої системи реєстрації та моніторингу біотехнічних об'єктів. Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. -Кременчук: –2003. -№4/2003 (21). -Т. 1. -С. 116-121.

Безуглий М.О., Ключко Т.Р., Тымчик Г.С. Метод комплексной диагностики состояния биотехнических объектов В работе речь идет об исследовании параметров световых полей дифрагированного электромагнитного излучения на поверхности биотехнических объектов при определении их текущего состояния, что необходимо для мониторинга и дальнейшего лечения	Bezuglyi M.O., Klotchko T.R., Tymchik G.S. Method of the complex diagnostic of the biotechnical objects emergencies In work state at research of the light electromagnetic fields, which diffracted on the biotechnical objects surfaces at the definition of there emergencies for monitoring and medical treatments are used.
---	--

*Надійшло до редакції
25 липня 2004 року*

УДК 621.317

ШИРОКОСМУГОВИЙ РАДІОМЕТР

ДЛЯ МЕДИКО-БІОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

¹⁾Скрипник Ю. О., ²⁾Яненко О. П., ²⁾Пережудов С. М., ³⁾Красюк О. Д. ¹⁾КНУТД, м. Київ, Україна; ²⁾НДЦ КМ "Відзук", м. Київ, Україна; ³⁾УкрНДНЦ, м. Київ, Україна

В матеріалах статті розглянута структурна схема радіометра, що забезпечує підвищення чутливості і точності вимірювання біомедичних сигналів мм-діапазону хвиль

Аналіз стану проблеми

Радіометри широко використовуються в різних галузях науки і техніки для вимірювання слабких радіовипромінювань, рівень яких часто нижче рівня власних шумів самих радіометрів. В діапазоні НВЧ (30-300 ГГц) із-за відсутності широкосмугових підсилювачів НВЧ-радіометри виконуються з супергетеродинним перетворюванням частоти вхідного сигналу, що приймається НВЧ антеною [1]. Необхідне підсилення прийнятого сигналу до детектора здійснюється на проміжній частоті (50-200 МГц). Однак виділення і вузькосмугове підсилення сигналу проміжної (різницевої) частоти звужує смугу радіовипромінювання, що приймається, до десятків або сотень МГц, що призводить до зниження чутливості і зростання флуктуаційного порогу чутливості НВЧ-радіометра.

Двократне перетворення частоти в схемі НВЧ радіометра [2] підвищує завадозахищеність НВЧ радіометра. Але одночасно ще більше звужується смуга приймання радіовипромінювань, а отже чутливість радіометра.

Підвищення проміжної частоти НВЧ радіометра до декількох ГГц розширює смугу приймання радіовипромінювань [3]. Це підвищує чутливість НВЧ-радіометра і знижує його флуктуаційний поріг. Але розширити смугу приймання до десятків ГГц не вдається, особливо при роботі в низькій частині НВЧ діапазону (30-50 ГГц).

Постановка задачі

Таким чином, розробка нових методів і засобів радіометричного приймання слабких сигналів, здатних забезпечувати необхідну чутливість для реєстрації радіовипромінювань біологічних об'єктів і людини, і точність вимірювання є актуальною і своєчасною задачею. Тим паче, що це потребується для розробки високочутливої радіометричної діагностичної апаратури [4].

Враховуючи наведені недоліки авторами розроблена структурна схема радіометра для медико-біологічних досліджень, яка поєднує в собі можливості підвищення чутливості при збереженні високої точності вимірювання інтенсивності біологічних радіосигналів.

Удосконалення НВЧ радіометра запропоновано провести шляхом введення нових елементів і зв'язків, які забезпечують підвищення чутливості і точності НВЧ-радіометра без попереднього підсилення і при широкій смузі приймання слабких радіовипромінювань.

Розгляд структурної схеми і алгоритму роботи радіометра

Радіометр містить в собі НВЧ антену X1, до виходу якої через хвилеводний ключ U1 підключений одним входом хвилеводний суматор A1. Другий вхід хвилеводного суматора з'єднаний з генератором G1 еталонного НВЧ шуму через градуйований атенуатор A3, який зашунтований хвилеводним ключем U4. До виходу хвилеводного

суматора під'єднані послідовно сполучені квадратичний детектор U2, вузькосмуговий підсилювач A2 частоти комутації і синхронний детектор U3, керуючі входи якого з'єднані з парафазними виходами комутаційного генератора G2 низької частоти. До виходу синхронного детектора під'єднані послідовно сполучені фільтр Z1 нижніх частот і індикатор PA1. Керуючі входи хвильовдних ключів U1 і U4 з'єднані з протифазними виходами комутаційного генератора G2 низької частоти.

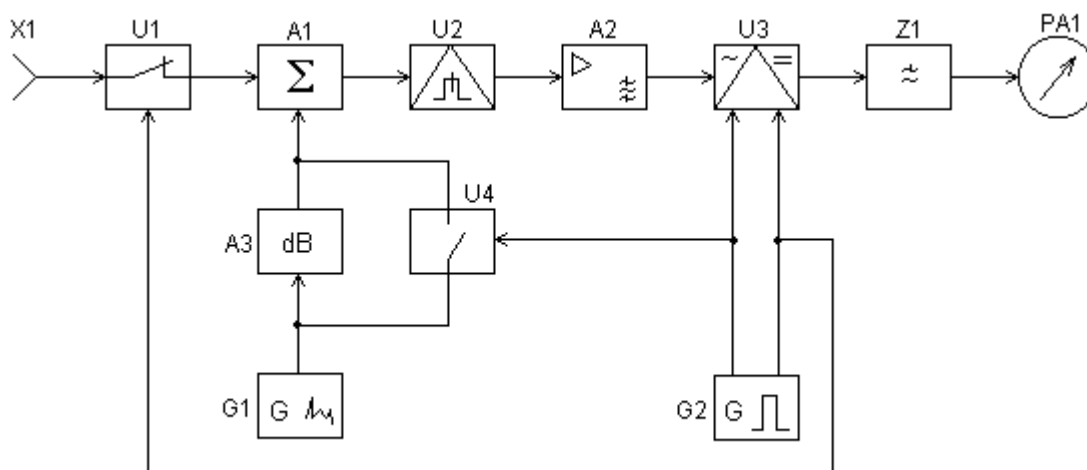


Рисунок 1 — Схема НВЧ-радіометра

НВЧ-радіометр працює наступним чином.

Широкопasmові радіовипромінювання від об'єкта приймається НВЧ антеною X1 і через замкнутий хвильовдний ключ U1 поступає на один вхід хвильовдного суматора A1. На другий вхід хвильовдного суматора A1 поступає еталонний НВЧ шум від генератора G1, який послаблюється градуїрованим атенюатором A3 при розімкнутому ключі U4. Сумарний сигнал впливає на вхід квадратичного детектора U2, де детектується і усереднюється. Потужність еталонного НВЧ шуму P_{Σ} вибирається достатньою для її безпосереднього детектування квадратичним детектором U2 на лінійній ділянці його характеристики. Враховуючи, що сигнал НВЧ антени X1 від прийнятого радіовипромінювання некорельований з еталонним НВЧ шумом генератора G1 і некорельований з власними шумами квадратичного детектора U2, вихідну напругу квадратичного детектора можна представити у вигляді суми складових:

$$U_1 = S(1 + \gamma_1) \cdot (P_X + \alpha P_{\Sigma} + \Delta P), \quad (1)$$

де S – крутизна перетворення квадратичного детектора; P_X – потужність прийнятого НВЧ випромінювання; P_{Σ} – потужність еталонного НВЧ шуму генератора G1 ($P_{\Sigma} \gg P_X$); α – послаблення, внесене градуїрованим атенюатором A3; ΔP – потужність власних шумів квадратичного детектора U2; γ_1 – відносна похибка чутливості квадратичного детектора U2, викликана впливом дестабілізуючих факторів.

Хвильовдні ключі U1 і U4 періодично переключаються з частотою комутаційного генератора G2 низької частоти. При розімкнутому положенні хвильовдного ключа U1 і закритому положенні хвильовдного ключа U4 НВЧ антена X1 відключається від входу хвильовдного суматора A1, а градуїрований атенюатор A3, шунтується таким

чином, що послаблення потужності генератора G1 близько "0". Вихідна напруга квадратичного детектора U2 при $\alpha = 1$ набуває вигляду:

$$U_2 = S(1 + \gamma_1)(P_{\Sigma} + \Delta P). \quad (2)$$

В результаті періодичної і протифазної роботи хвилеводних ключів U1 і U4 на виході квадратичного детектора U2 формується змінна складова напруги низької частоти з амплітудою:

$$U_3 = \frac{1}{2}(U_2 - U_1) = \frac{S}{2}(1 + \gamma_1)[P_{\Sigma}(1 - \alpha) - P_X]. \quad (3)$$

Низькочастотна напруга з амплітудою (3) підсилюється вузькосмуговим підсилювачем A2, настроєним на частоту комутаційного генератора G2 низької частоти. Підсилена напруга випрямляється синхронним детектором U3, який керується безпосередньо парафазними напругами комутаційного генератора G2 низької частоти. Випрямлена напруга через фільтр Z1 нижніх частот поступає на індикатор PA1. Фільтром Z1 нижніх частот придушуються низькочастотні шуми і завада, а індикатором PA1 вимірюється напруга:

$$U_4 = \frac{S}{2}(1 + \gamma_1 + \gamma_2)K_1K_2K_3[P_{\Sigma}(1 - \alpha) - P_X], \quad (4)$$

де K_1 – коефіцієнт підсилення вибіркового підсилювача A2 частоти комутації; K_2 – коефіцієнт випрямлення синхронного детектора U3; K_3 – коефіцієнт передачі фільтра Z1 нижніх частот; γ_2 – відносна похибка чутливості від нестабільності коефіцієнта підсилення вузькосмугового підсилювача A2.

Послаблення α , що вноситься градуйованим атенюатором A3, регулюється до досягнення нульового показання індикатора PA1. При нульовому показанні індикатора PA1 напруга $U_4 = 0$, що означає:

$$P_{\Sigma}(1 - \alpha) = P_X. \quad (5)$$

Із рівняння (5) слідує, що вимірювана потужність P_X при $P_{\Sigma} = const$ визначається тільки послабленням атенюатора α :

$$P_X = (1 - \alpha)P_{\Sigma}, \quad (6)$$

де α – послаблення градуйованого атенюатора A3 у відносних одиницях.

Із виразу (6) видно, що результат вимірювання потужності прийнятого НВЧ сигналу не залежить від рівня власних шумів радіометра (ΔP) і нестабільності його чутливості (γ_1 і γ_2). Рівень детектуемого сумарного сигналу задається в основному високим рівнем потужності генератора G1 еталонного НВЧ шуму ($P_{\Sigma} \gg P_X$). Тому не потрібне попереднє широкосмугове підсилення до квадратичного детектора прийнятого НВЧ сигналу. Необхідна чутливість до слабких вхідних НВЧ сигналів ($P_X \ll P_{\Sigma}$) забезпечується великим коефіцієнтом підсилення K_1 вузькосмугового підсилювача U3, настроєного на фіксовану частоту комутаційного генератора G2 низької частоти. Синхронне детектування низькочастотної напруги забезпечує ефективне виділення корисного сигналу (4) із низькочастотних шумів і завад. Нестабільність вузькосмугового підсилювача A2 частоти комутації (γ_2), як слідує із (6), не впливає на точність вимірювання.

Висновки

Дослідження НВЧ-радіометра за запропонованою схемою показали, що в якості квадратичного детектора доцільно використати НВЧ діоди Шотки, які працюють на прямій гілці вольтамперної характеристики зі зміщенням робочої точки постійним струмом. При струмі зміщення 5-10 мкА квадратичне детектування НВЧ сигналу починає здійснюватися за потужності еталонного НЗВЧ шуму $P_{\Sigma} = 10^{-7} \dots 10^{-6}$ Вт. При коефіцієнті підсилення низькочастотного підсилювача у 80 дБ вимірюється потужність, що приймається антеною НВЧ-сигналу, яка знаходиться в межах $10^{-12} \dots 10^{-11}$ Вт у смузі частот 30-100 ГГц. Відсутність підсилювачів, змішувачів, фільтрів у додетекторній частині НВЧ радіометра розширює спектр частот вхідного сигналу у порівнянні з прототипом, що призводить до збільшення чутливості і до зменшення флуктуаційного порогу чутливості НВЧ-радіометра до $10^{-21} \dots 10^{-22}$ Вт/(Гц·см²). В якості керуючих хвильоводних ключів в діапазоні мм-хвиль (30-100 ГГц) можна використовувати хвильоводні стандартні модулятори типу М-347, які виконані на широкосмугових діодах (*p-i-n*-діодах) і керуються низькочастотною напругою 1000 Гц прямокутної форми. Джерелом еталонного НВЧ шуму є тепловий шумовий генератор з вихідною потужністю 10 мкВт.

Література

1. Скрипник Ю. А., Яненко А. Ф., Манойлов В. Ф. и др. Микроволновая радиометрия физических и биологических объектов. – Житомир: “Вольны”. – 2003. – 406 с.
2. Скрипник Ю. О., Манойлов В. П., Яненко О. П. Модуляційні радіометричні пристрої та системи НВЧ-діапазону: Навчальний посібник. – Житомир: ЖІТІ, 2001. – С. 172-173.
3. Бережной В. А., Кужель В. И., Игнатенко В. С. и др. Высокочувствительный модуляционный радиометрический приемник диапазона частот 92-96 ГГц // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. -2003. – № 3. – С. 21-22.

Скрипник Ю.А., Яненко А.Ф., Перегудов С.Н., Красюк А.Д. Широкополосный радиометр для медико-биологических исследований. В материалах статьи рассмотрена структурная схема радиометра, обеспечивающая повышение чувствительности и точности измерения биомедицинских сигналов мм-диапазона волн.	Skrpnik Yu.A., Yanenko A.F., Peregudov S.N., Krasuk A.D. Broadband radiometer for biomedical applications. The paper considers the structural scheme of a radiometer providing the increased sensitivity and accuracy of measurement of biomedical signals of mm-range wave length.
--	--

*Надійшло до редакції
21 квітня 2004 року*