

Оптична Система для Фототерапії з Контролем Поглинутої Енергії

Олексій Яненко
кафедра радіо конструювання
НТУУ «КПІ»
м. Київ, Україна
op291@meta.ua

Роман Ткачук
кафедра біотехнічних систем
ТНТУ ім. І. Пулюя
м. Тернопіль, Україна
vmp@tu.edu.te.ua

Костянтин Шевченко
кафедра радіо конструювання
НТУУ «КПІ»
м. Київ, Україна
autom1@meta.ua

Василь Кузь
кафедра світлотехніки та електротехніки
ТНТУ ім. І. Пулюя
м. Тернопіль, Україна
vasylkuz1992@gmail.com

Optical System of Phototherapy to Control the Flow of Absorbed Energy

Oleksiy Yanenko
dept. of Radio construction
NTUU "KPI"
Kyiv, Ukraine
op291@meta.ua

Roman Tkachuk
dept. of biotechnical Systems
Ivan Puluj TNTU
Ternopil, Ukraine
vmp@tu.edu.te.ua

Kostyantyn Shevchenko
dept. of Radio construction
NTUU "KPI"
Kyiv, Ukraine
autom1@meta.ua

Vasyl Kuz
dept. of electrical and lighting
Ivan Puluj TNTU
Ternopil, Ukraine
vasylkuz1992@gmail.com

Анотація—Проаналізовані поширені конструкції опромінювання шкіри людини різної складності, які використовуються для світлотерапії. Визначено, що їх основним недоліком є відсутність можливості вимірювання дози поглинутої енергії біооб'єктом і відповідно, неможливість оперативного прогнозування результату лікування. Запропоновано пристрій для світлотерапії та досліджено алгоритм перетворення параметрів світлового потоку, які усувають виявлений недолік. Це дозволяє оперативно визначати дозу поглинутої енергії опромінюваної ділянки тіла пацієнта при змінах вибраних режимів калібрування та вимірювання параметрів опромінення.

Abstract—Analyzed the most common design of varying difficulty devices, which are used for light therapy. Determined that their main drawback is the lack of the possibility of

measuring the absorbed light energy dose, and therefore, the inability to operational forecasting outcomes. A device and investigated transformation algorithm parameters flux, eliminating deficiencies. This allows you to quickly determine the absorbed dose of energy to the irradiated areas of the patient's body in the modes of calibration and measurement tanning signal.

Ключові слова—пристрій для світлотерапії, світловий потік, потужність, опромінюючий сигнал, доза поглинутої енергії, комутаційно-модуляційне перетворення.

Keywords—light therapy device, light output, power, tanning signal dose absorbed energy switching modulation-conversion.

I. ВСТУП

Відомо, що роль світла в процесах метаболізму живих організмів є дуже важливою. При порушенні цих механізмів перспективним для корекції і відновлення функцій організму, з метою покращення самопочуття пацієнтів, є застосування регульованих джерел світла [1]. Серед відомих напрямків такого використання є світлотерапія, яка знаходить все більше застосування в практичній медицині для лікування, профілактики та реабілітації з використанням потоків енергії різної довжини хвиль, шляхом впливу на біологічно активні точки чи зони шкіри людини. Лікування різноманітних уражень шкіри, бронхолегеневих та ортопедичних захворювань, деяких новоутворень, опромінення крові в процедурі фотофереза - це далеко не повний перелік ефективного застосування світлотерапії [2-3].

Важливим моментом при проведенні терапевтичних процедур є встановлення оптимальних параметрів опромінення – потужності джерела світла, експозиції, довжини хвиль опромінення. Зазвичай рівні вихідної потужності встановлюється в межах одиниць мВт, а ефективність регулюють часовою експозицією [2]. В той же час відомо, що біологічний ефект пропорційний поглинутій дозі електромагнітного опромінення, яку бажано було б вимірювати протягом процесу проведення процедури.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Відсутність зворотнього зв'язку є причиною недостатнього застосування фототерапевтичних технологій, тому виникає завдання удосконалення їх шляхом пошуку нових підходів у виборі джерела випромінювання та реалізації на їх основі нових оптико-електронних пристроїв із неперервним контролем параметрів процесу.

Розробка та дослідження пристрою для світлотерапії і алгоритму перетворення сигналів, які б забезпечували можливість вимірювання інтенсивності та контролю поглинутої енергії в процесі проведення процедури і, тим самим, прогнозувати часові параметри досягнення лікувального ефекту.

III. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

На сьогоднішній день широкого застосування набули напівпровідникові джерела світла, які відомі своїми якісними характеристиками, а саме високою світловіддачею, механічною стійкістю, безпечністю, ціною, тривалістю служби та спектром випромінювання.

Використання напівпровідникових елементів для оптико-електронних пристроїв, що можуть застосовуватися у фототерапевтичних технологіях є високо перспективним, оскільки вони володіють покращеним коефіцієнтом корисної дії та мають можливість регулювання просторового розподілу енергії в малих площинах для різного спектру випромінювання.

Також вони характеризуються незначною величиною робочої напруги та струму, малою інерційністю при роботі в імпульсному режимі, високою надійністю, низькою вартістю тощо. На відміну від традиційних зрядних джерел випромінювання, такі пристрої забезпечують надійну роботу в імпульсному режимі, допускають керування випромінюванням в заданому діапазоні енергетичних та часових параметрів.

Світлодіоди завдяки відповідності медичним вимогам [2] дозволяють створення на їх основі світлодіодних матриць, які забезпечують можливість реалізувати стаціонарні і стимуляційні режими опромінення по всій його площі за допомогою програмно керованих комутацій світлодіодів різних характеристик. Підключення світлодіодних матриць до мікроконтролера дасть змогу включати тільки необхідні частини опромінювальної установи і зменшить негативний ефект впливу опромінювання на здорову поверхню шкіри.

Таким чином, за допомогою фототерапії, тканини, опромінювані світлом певної довжини хвилі, благотворно використовують світлову енергію для більш ефективного функціонування. У тканинах підвищується синтез колагенових і еластинових волокон, що поліпшує її якість і зовнішній вигляд.

На основі проведених літературних досліджень визначено основні критерії для виявлення вимог, щодо характеристик елементів для структури пристроїв контролю динамічного опромінення, аналізу їх можливостей і розробки рекомендацій по оптимальному вибору елементів пристроїв сумісних з пристроями фототерапії. При вирішенні даного завдання широка номенклатура промислових типів електронних компонентів, зокрема СВД і фотоприймачів, дозволяє вибрати потрібні компоненти. Перш за все, це стосується відповідності їх спектральних характеристик певним спектральним смугам поглинання. Беручи до уваги недостатність, а в окремих випадках - відсутність інформації, щодо формулювання зазначених вище вимог, порівняльного аналізу відповідності їм існуючих складових, по рекомендації їх вибору і експериментальної перевірки відповідності, постановка і рішення даного завдання важливі і актуальні.

Завдяки плідній співпраці вчених двох університетів КПІ та ТНТУ створено корисну модель під назвою «Пристрій для світлотерапії» під номером заявки u201608572, яка увібрала в себе найнеобхідніші елементи для досягнення якісного світлолікування. Було запропоновано нову структуру оптико-електронної системи безперервного контролю при фототерапії, яка повинна складатися, як мінімум, з трьох частин: випромінюючої, приймальної, передавальної.

В основу цієї корисної моделі була поставлена задача створити такий пристрій для світлотерапії, в якому б шляхом введення нових елементів та зв'язків забезпечувалась би можливість вимірювання інтенсивності світлового потоку та контроль поглинання

енергії світлового потоку в процесі проведення процедури.

Поставлена задача вирішується тим, що в пристрій для світлотерапії, що включає в себе матрицю світлодіодів, з'єднану з блоком контролю та керування, датчики фізіологічного стану людини, підключені через модуль зв'язку до блоку контролю та керування, вхід-вихід якого підключений до входу-виходу мікроелектронно-обчислювальної машини, додатково введені світлочутливий елемент, розмішений на матриці світлодіодів, виходом підключеним до перетворювача струм-напруга, вихід якого підключений до першого входу керованого перемикача, до другого входу якого підключений генератор опорної напруги, а вихід підключений до каналу перетворення, який складається із послідовно з'єднаних вибіркового підсилювача частоти комутації, синхронного детектора, інтегратора та аналого-цифрового перетворювача, вихід якого підключений до другого входу мікроелектронно-обчислювальної машини, а управляючі входи керованого перемикача та синхронного детектора підключені до другого виходу блоку контролю та керування.

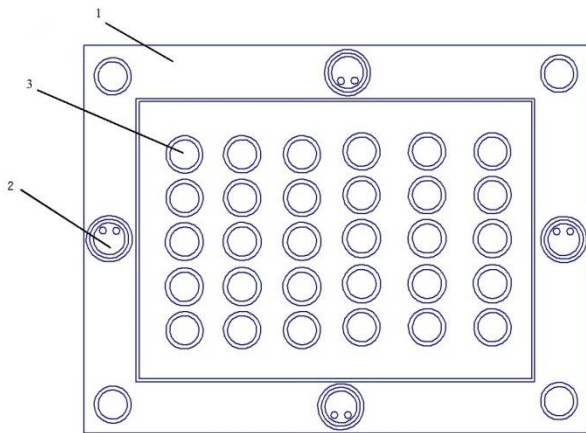


Рис. 1. Структурна схема світлодіодної матриці. 1–корпус світлодіодної матриці, 2–фотоприймач, 3–світлодіод;

На рис. 2 представлена розроблена авторами функціональна схема пристрою світлотерапії для світлотерапії, яка реалізує поставлену мету.

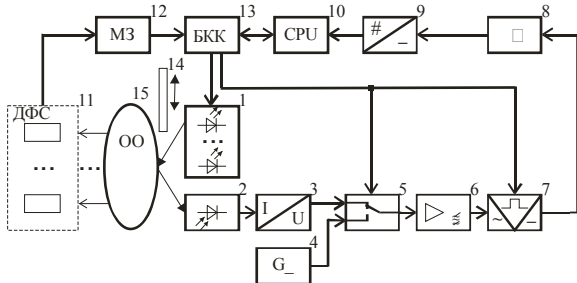


Рис. 2. Структурна схема пристрою світлотерапії.

При цьому на виході перетворювача «струм-напруга» 3 реєструється відповідне значення напруги:

$$U_I = I_I R_N \quad (1)$$

де I_I - струм через світлочутливий елемент 2 при максимальній інтенсивності світлового потоку світлодіодної матриці 1; R_N - вхідний опір перетворювача 3.

Напруга U_I подається на перший вхід керованого перемикача 5. На другий вхід керованого перемикача 5 подається напруга U_0 із генератора опорної напруги 4.

Це значення напруги U_0 вибирається зі співвідношення:

$$U_0 = U_T = I_T R_N \quad (2)$$

де I_T - темновий струм через світлочутливий елемент 2; U_T - напруга, що пропорційна I_T .

На управляючий вхід керованого перемикача 5 із другого виходу блоку комутації та керування 13 з частотою Ω подаються прямокутні імпульси, які забезпечують періодичне перемикання контактів керованого перемикача 5.

В один напівперіод комутації на виході керованого перемикача 5 утворюється напруга (1), а в другий напівперіод комутації – відповідно напруга (2).

В результаті періодичного перемикання перемикача 5 з послідовності імпульсів напруг U_I і U_0 вибіркоким підсилювачем частоти комутації 6 виділяється і підсилюється змінна складова напруги амплітудою, що визначається за формулою

$$U_2 = K_1 \frac{U_I - U_0}{2}, \quad (3)$$

де K_1 - коефіцієнт підсилення вибіркового підсилювача 6 частоти комутації.

Змінна напруга після підсилення випрямляється синхронним детектором 7, який керується напругою частоти комутації керованого перемикача 5. Випрямлена напруга накопичується в інтеграторі 8, в якому придушуються низькочастотні шуми перетворювальних і підсилювальних блоків. На виході інтегратора 8 виділяється постійна різницева напруга, яка визначається за формулою

$$U_3 = \frac{K_1 K_2 K_3}{2} (U_I - U_0) \quad (4)$$

де K_2 - коефіцієнт випрямлення синхронного детектора 7;
 K_3 - коефіцієнт передачі інтегратора 8.

При подальшому перетворенні в аналого-цифровому перетворювачі 9 формується код, що відповідає максимальній інтенсивності світлового потоку світлодіодної матриці 1.

$$N_1 = \alpha U_3 = \frac{SK_1K_2K_3}{2}(U_1 - U_0) \quad (5)$$

де α - сумарний коефіцієнт перетворення вимірювального каналу; S - масштабний коефіцієнт аналого-цифрового перетворення. Код (5) записується в пам'ять мікроЕОМ 10.

На другому етапі дзеркало прибирається і опромінюється вибрана ділянка шкіри об'єкту 15 із заданою інтенсивністю.

При виконанні перетворень, аналогічних першому етапу, на виході аналого-цифрового перетворювача формується код, що відповідає інтенсивності світлового потоку світлодіодної матриці 1, відбитого від об'єкта опромінення 15:

$$N_2 = \alpha U'_3 = \frac{SK_1K_2K_3}{2}(U'_1 - U_0) \quad (6)$$

де U'_1 - напруга, обумовлена інтенсивністю відбитого випромінювання від об'єкта опромінення 15; U'_3 - значення різницевої напруги, яке відповідає вимірюванню сигналу на другому етапі. Отриманий код (6) записується в пам'ять мікроЕОМ 10.

Різниця між результатами вимірювань на першому та другому етапах, яку вираховує мікроЕОМ 10 характеризує поглинуту об'єктом опромінення 15 відповідну частину світлового потоку світлодіодної матриці 1:

$$N_3 = N_1 - N_2 = \alpha(U_3 - U'_3) \quad (7)$$

Інформація про здатність досліджуваної ділянки шкіри про поглинання вноситься в базу даних, наприклад, в електронну карту пацієнта.

IV. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Таким чином, запропонований пристрій для світло терапії забезпечує можливість вимірювання потужності світлового потоку, а за рахунок розробленого алгоритму вимірювання - контроль за рівнем поглинання оптичного

опромінювання в процесі терапевтичної процедури і, відповідно, можливість оцінки біологічного ефекту та прогнозування результату опромінення. Важливим є також те, що використання комутаційно-модуляційного методу перетворення, дозволяє значно підвищити чутливість аналізу та проводити обробку сигналів низької інтенсивності потужністю $10^{-6} - 10^{-10}$ Вт.

V. ВИСНОВКИ

- Результати вимірювання поглинальної здатності, визначених для лікування ділянок шкіри, біологічно активних зон пацієнта фіксуються в пам'яті комп'ютера і можуть повторно використовуватися лікарем на наступних сеансах лікування, що значно спрощує процес лікування.
- Окрім того цей параметр може бути використаний як діагностичний при повторних сеансах із зафіксованими змінами.
- Запропонований пристрій для світлотерапії значно спрощує процес установки лікувальних параметрів, підвищує його об'єктивність і забезпечує можливість визначення кореляційної залежності між рівнем поглинання та ефективністю світлотерапії.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] А.М. Коробов, Фототерапевтические аппараты Коробова серии «Барва», А.М.Коробов, В.А. Коробов, Т.А. Лесная. - Харьков, ХНУ им. В.Н. Каразина. - 2008. - 175 с.
- [2] О.Т. Кожухар, Возможности электронной системы із зворотнім зв'язком для лікування вушних шумів / М. Зазуляк, О.Т. Кожухар, Є.Р. Косий // Матеріали III конф. з міжнарод. участю «Актуальні проблеми біомедицинської інженерії, інформатики, кібернетики і телемедицини», Київ, 11-13 березня 2010. - С. 53-56.
- [3] М.С. Івах, Підвищення ефективності фотомедицинських технологій біоінформативною компонентою/ О.Т. Кожухар, М.А. Костів, М.С. Івах, А.М. Зазуляк, І.В. Мельник // "Медицина та біологічна інформатика і кібернетика: Віхи розвитку" : конф. з міжнарод. участю, 20-23 квіт. 2011 р. : Збірник праць. - К.: НМАПО імені П.Л. Шупика, 2011. - С. 32.
- [4] В.А. Андрійчук, Аналітичний метод світлотехнічного розрахунку для опромінювальних пристроїв з несиметричним світловим розподілом /Андрійчук В.А., Зеленков І.А.// Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції "АВІА-2002" 23-25 квітня 2002 року, м.Київ: Національний авіаційний університет. - 2002р. - Т.2 Аерокосмічні системи моніторингу та керування, Секція: Авіоніка. - С. 23.79-23.82
- [5] Л.П. Круковская, Ультрафиолетовое излучение: - его биологическая воздействие, приемники: Методическое пособие. - СПб.: СПбГПУ, 2009. - 26 с.
- [6] М.С. Івах, Підвищення ефективності фотомедицинських технологій біоінформативною компонентою/ О.Т. Кожухар, М.А. Костів, М.С. Івах, А.М. Зазуляк, І.В. Мельник // "Медицина та біологічна інформатика і кібернетика: Віхи розвитку" : конф. з міжнарод. участю, 20-23 квіт. 2011 р. : Збірник праць. - К.: НМАПО імені П.Л. Шупика, 2011. - С. 32.