

МАГНІТОМЕТРИЧНІ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ НАДПРОВІДНИКОВИХ КВАНТОВИХ ІНТЕРФЕРЕНЦІЙНИХ ДАТЧИКІВ В МЕДИЦИНІ ТА ЕКОЛОГІЇ ЛЮДИНИ

¹Вінницький національний технічний університет

Анотація

Виконано дослідження особливостей розробки та створення нових високочутливих магнітометричних засобів, а також пов'язаних з ними методів реєстрації та аналізу просторово-часової структури надслабких магнітних полів, створюваних в навколишньому просторі біооб'єктами.

Ключові слова: магнітометрична система, біомагнітні дослідження, НКВІД, біомагнітний сигнал, магнітно-резонансна томографія.

Abstract

The study of the features of the development and creation of new high-sensitivity magnetometric means, as well as the associated methods of registration and analysis of the spatial-temporal structure of ultrahigh magnetic fields created in the surrounding space by bioobjects, is performed.

Keywords: magnetometric system, biomagnetic research, SQUID, biomagnetic signal, magnetic resonance imaging.

Вступ

Інтерес до дослідження просторово-часової структури слабких магнітних полів виявляють фахівці багатьох областей, так як вимірювання в навколишньому просторі наведених електричними струмами магнітних полів є одним із способів отримання інформації про розподіл струму в досліджуваному об'єкті і, таким чином, про самий об'єкт.

Особливе місце в даній галузі займають дослідження електромагнітних процесів, які характеризують життєдіяльність біологічних об'єктів в цілому, і їх різних органів (мозку, серця, та ін.), а також розробка і створення відповідної апаратури, оскільки результати подібних досліджень і розробок мають пряме відношення до практичного застосування в медицині, екології живих організмів та екології людини [1, 2].

Основним аргументом на користь розробки нових медичних приладів та медичних діагностичних технологій на базі методів тонких магнітних вимірювань, (таких, наприклад, як магнітокардіографія або магнітоенцефалографія), є їх надзвичайно висока чутливість, що дозволяє реєструвати електромагнітну активність в різних органах людини на клітинному рівні. Це дозволяє отримати об'єктивні оцінки поточного стану таких органів, як серце або мозок людини, зробити прогностичні оцінки їх реакції на різного роду зовнішні впливи, в тому числі на медикаментозну терапію. Позитивною обставиною також є той факт, що тканини тіла людини практично прозорі для магнітного поля, і існує можливість безконтактної реєстрації магнітних сигналів поза тілом людини без їх спотворень. В сукупності з «потенційними» методами вимірювань об'єктивно існує можливість отримати цілісну картину електромагнітної активності досліджуваного органу, причому неінвазивно і безконтактно.

Метою роботи є дослідження, що спрямовані на розвиток нових технологій реєстрації і отримання інформації в сфері медицини та екології людини: кардіологія (магнітокардіографія - МКГ); дослідження мозку людини (магнітоенцефалографія - МEG); біологія - дослідження магнітних полів малих тварин і їх органів при моделюванні та оцінці порушень процесів метаболізму, контроль транспортування ліків на магнітних носіях та ін.

Аналіз напрямків використання

Найбільш чутливими інструментами при дослідженнях надслабких магнітних полів, що генеруються живими організмами на сьогоднішній день залишаються магнітометри на основі надпровідникових квантових інтерференційних датчиків - НКВІДів. Дослідження можливостей

застосування НКВІД-систем в медицині ведуться вже більше 40 років. У роботах численних зарубіжних груп з досліджень магнітних полів серця, мозку, печінки та ін. були продемонстровані переваги одержуваних з допомогою НКВІД-систем медичні результати. Однак, ці результати були отримані як правило в умовах спеціальних магнітно-екранованих камер (МЕК), що мають високу вартість і вимагають певного інженерного забезпечення. Також використані в дослідженнях НКВІД-системи мали різну конструкцію реєстраторів біомагнітних сигналів і методи їх аналізу, тому питання сумісності та уніфікації одержуваних з їх допомогою результатів залишається відкритим до теперішнього часу. Останні дві обставини - висока вартість обладнання (вартість тільки МЕК становить сотні тисяч доларів) і відсутність загальноприйнятих підходів до інтерпретації даних біомагнітних вимірювань - істотно обмежують потенціал їх впровадження в медичну практику.

Тому, для розвитку даного напрямку актуальним було і залишається завдання розробки таких зразків магнітометричних НКВІД-систем, які могли б забезпечити стійку і надійну роботу в умовах звичайних міських клінік (без додаткового магнітного екранування від зовнішніх магнітних шумів і завад). В даний час одним з найбільш важливих прикладних медичних завдань для застосування НКВІД-магнітометрів є кардіологія, де магнітокардіографія може бути використана для ранньої діагностики найбільш поширених захворювань серця. В цьому випадку носієм інформації про електричні події в серці є величини параметрів магнітного поля, яке реєструють в точках навколишнього простору над грудною кліткою людини. Вимірювання виконуються безконтактно, а сама магнітометрична система не створює впливу на електрофізіологічні процеси в серці, так як при реєстрації діагностичної інформації вона не випромінює ніякої енергії.

Згідно з аналізом ВООЗ, 80% реального успіху в зниженні смертності від серцево-судинних захворювань у високорозвинених країнах Європи та Америки було досягнуто завдяки проведенню профілактичних заходів, ранньої діагностики та виявлення пацієнтів з ризиком раптової смерті. Таким чином, ранню діагностику захворювань серця, їх своєчасну профілактику необхідно розглядати, як глобальну медико-соціальну проблему, яка особливо актуальна і для України. Дану проблему в значній мірі можна вирішити за рахунок розвитку і впровадження в клінічну практику магнітокардіографії. Тим більше, що в цій області біомедичних застосувань НКВІД-магнітометрична техніка займає пріоритетне становище, оскільки в даний час не має конкурентноспроможних альтернатив.

Отже, основна увага приділена створенню магнітометричних СКВІД-систем для медичних досліджень і діагностики в області кардіології (МКГ), які можуть надійно функціонувати в умовах високих рівнів зовнішніх електромагнітних завад. Саме такі системи дозволяють отримати нові знання про електрофізіологію серцевої діяльності і мають реальні перспективи широкого практичного застосування в медицині і екології людини. Найбільш перспективним в медичній практиці виявився метод магнітоенцефалографії (МЕГ) [3]. Магнітоенцефалографія є найбільш точним інструментом в дослідженнях електричної активності мозку людини. Мілісекундна роздільна здатність за часом і висока просторова роздільна здатність (2-3 мм) роблять її незамінною при виявленні та діагностиці захворювань, пов'язаних з порушеннями функцій мозку. Метод магнітоенцефалографії і відповідне магнітометричне обладнання пройшли медичну сертифікацію в країнах Північної Америки, Європи і Японії, і використовуються в медичних центрах ряду країн, головним чином в дослідницьких цілях. Одним з практичних застосувань МЕГ в клініках є локалізація епілептичних уражень з метою їх подальшого операційного лікування.

Найбільш соціально значущим є впровадження в клінічну практику методу магнітокардіографії (МКГ), оскільки в розвинених країнах першість за кількістю смертей стійко утримують серцево судинні захворювання. Для своєчасного виявлення і подальшого ефективного лікування цих захворювань необхідно забезпечувати розвиток нових методів кардіодіагностики і сучасних інструментальних засобів, що дозволяють реєструвати патологічні зміни на самій ранній стадії, коли ефективність лікування найбільш висока, а процес розвитку патології ще є виліковним.

Магнітокардіографія дозволяє повністю неінвазивно виявити і оцінити кількісно навіть мінімальні відхилення в роботі серця людини від «норми». Діагностика дизфункцій серця без клінічних симптомів, захворювань коронарних судин, аритмій різної природи, ризик-аналіз, а також індивідуальний підбір медикаментозної терапії можуть бути ефективно здійснені з використанням МКГ-методу та відповідного обладнання.

До теперішнього часу в багатьох експериментальних та клінічних роботах доведена істотно більш висока просторова роздільна здатність магнітокардіографії в порівнянні з електрокардіографією [1-3].

Магнітокардіографія несе в собі необтяжливості і безпеку для пацієнтів, притаманну неінвазивним методам, і точність прямих методів дослідження електрофізіології міокарда.

Зокрема, в огляді [3] наведені результати досліджень по використанню магнітокардіографії в діагностиці ішемічної хвороби серця (ІХС). За даними авторів цього огляду, середня точність магнітокардіографії при діагностиці ішемічної хвороби серця в спокої становить приблизно 75%.

Магнітно-резонансна томографія є загально визнаним інструментом в медичній практиці. До її основних недоліків можна віднести використання високоінтенсивного магнітного поля (1,5-10 Тесла) для отримання зображень внутрішніх органів людини, що негативно позначається на здоров'ї обстежуваних. Магнітно-резонансна томографія на основі слабких магнітних полів (МРТ СМП) є одним з інтенсивно розвинутих в останнє десятиліття напрямків досліджень на базі НКВІД-технологій [1]. Її основною перевагою є можливість візуалізувати одночасно морфологічну структуру досліджуваного органу (мозку, серця), і присутні в ньому електричні процеси. При цьому величини магнітних полів для отримання МРТ-зображень можуть бути знижені з одиниць Тесла до сотень мікротесел без істотної втрати якості зображень досліджуваних органів [1].

Багатообіцяючим практичним напрямком в діагностиці та лікуванні онкологічних захворювань є розробка медичної апаратури на основі НКВІД-магнітометрів і відповідних програмних засобів для стеження за поширенням ліків на магнітних носіях в організмі людини. Принцип роботи подібних програмно-апаратних комплексів полягає в тому, що магнітометрична НКВІД-система стежить за динамікою розподілу магнітних матеріалів або носіїв з ліками, а програмне забезпечення дає можливість відновити просторовий розподіл магнітних наночастинок в організмі людини, причому з точністю, що в десятки разів перевищує результати використання традиційних методів і апаратури [1]. Адекватні величина і градієнт магнітного поля, створені керованим джерелом магнітного поля (магнітним аплікатором), використовуються для утримання введених внутрішньовенно магнітних носіїв з іммобілізованими ліками в потрібному місці, і пролонгування їх дії. Отже, подібні комплекси можуть бути використані і для ранньої діагностики, і для контролю терапії онкологічних захворювань.

Перераховані вище переваги методів тонких магнітних вимірів і магнітометричної апаратури на платформі НКВІД-технологій, а також поява останнім часом магнітометричних систем на основі лазерного накачування з рівнями чутливості фемтотеслового діапазону [2], відкривають широкі можливості по створенню новітніх медичних приладів для реєстрації власних або штучно створених в організмі людини магнітних полів, і розвитку на даній основі нових високотехнологічних методів ранньої діагностики різних захворювань, і впровадження цих методик і апаратури в клінічну практику.

Практична значимість роботи полягає в дослідженні можливості створення комплексу програмно-інструментальних засобів на основі НКВІДів для реєстрації та аналізу просторової структури магнітних полів, створених в навколишньому просторі біологічними об'єктами або їх органами, для безконтактної діагностики в медицині (кардіологія), біології (дослідження тварин) та інших областях, а також їх експериментальна перевірка при вирішенні важливих практичних завдань в медицині. При цьому основний наголос зроблений на розробки магнітометричних НКВІД-систем, стійко працюючих в умовах високих рівнів зовнішніх електромагнітних завад великих міст без додаткового магнітного екранування, оскільки саме такі системи мають реальні перспективи широких клінічних застосувань.

Висновки

Підводячи підсумок короткому огляду використання магнітних методів вимірювань і відповідної апаратури, можна зробити висновок: для біомагнітних досліджень найбільш доцільними є магнітометричні системи на основі надпровідникових квантових інтерференційних датчиків; НКВІДів. Розвиток подібних систем для вирішення конкретних проблем медичної діагностики є актуальним науково технічним завданням.

Перспективи використання НКВІД-систем лежать в площині переходу до магнітометричних систем, які працюють без додаткового магнітного екранування. Це передбачає розробку і створення відповідної інструментальної бази, забезпечує необхідні рівні відношення «сигнал-шум» при реєстрації біомагнітних сигналів в умовах впливу зовнішніх електромагнітних завад, і спеціалізованого програмного забезпечення, спрямованого, з одного боку, на очистку корисного сигналу від сторонніх шумів, а, з іншого боку, на розвиток нових математичних методів і алгоритмів

відновлення характеристик електричних джерел в органах біооб'єктів за результатами аналізу даних магнітних вимірювань.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Фалей М.И., Масленников Ю.В., Кошелец В.П. Измерительные системы на ВТСП СКВИД // Радиотехника. 2012. № 12. С. 5–24.
2. MCG-parameters in automatic classification of patients with arterial hypertension and postinfarction cardiosclerosis / Yuri Maslennikov [et al.] // BIOMAG 2012 Book of Abstracts, BIOMAG 2012 - August 26-30, 2012 - Paris, France. 2012. P. 117.
3. The DC-SQUID-based Magnetocardiographic Systems for Clinical Use / Yu.V. Maslennikov [et al.]. Original Research Article, EUCAS Conference 2011 edited by P.H. Kes, H. Rogalla, Physics Procedia. 2012. V. 36. P. 88–93.

Васильківський Микола Володимирович – канд. техн. наук, старший викладач кафедри телекомунікаційних систем та телебачення, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Vasytkivskyi Mikola V. – Ph.D., Senior lecturer of the Chair of Department of Telecommunication Systems and Television, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Васильківський Ігор Володимирович - канд. техн. наук, доцент кафедри екології та екологічної безпеки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Vasytkivskyi Igor V. – Ph.D., docent Department of Ecology and Environmental Safety, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.