



**Міністерство освіти і науки України
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

**Факультет енергетики, робототехніки та комп'ютерних
технологій**

**Кафедра електромеханіки, робототехніки, біомедичної
інженерії та електротехніки**

СИСТЕМИ БІОМЕДИЧНОЇ РЕАБІЛІТАЦІЇ БІООБ'ЄКТІВ

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ
ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ на тему:
«ВИКОРИСТАННЯ АПАРАТІВ ДЛЯ МАГНІТОТЕРАПІЇ ТА АНАЛІЗУ
ВПЛИВУ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ОРГАНІЗМ ЛЮДИНИ»**

**для студентів першого рівня вищої освіти «бакалавр»
спеціальності 163 «Біомедична інженерія»
освітньо-професійної програми «Біомедична інженерія» денної або заочної
форми навчання**

ЗАТВЕРДЖЕНО
рішенням Науково-методичної
ради факультету енергетики, робототехніки
та комп'ютерних технологій
Протокол №1 від 31 жовтня 2023 р.

Харків, 2024

УДК 538.8(075.8)

Схвалено на засіданні кафедри ЕРБМІЕ
Протокол №2 від 31 вересня 2023 р.

Системи біомедичної реабілітації біооб'єктів: Методичні вказівки до виконання практичної роботи на тему: «Використання апаратів для магнітотерапії та аналізу впливу магнітного поля на організм людини». Для студентів першого рівня вищої освіти «БАКАЛАВР», спеціальності 163 «Біомедична інженерія», освітньо-професійної програми «Біомедична інженерія» денної або заочної форми навчання / уклад. Косуліна Н. Г., Шигимага В. О., Чорна М. О., Сухін В. В., Ляшенко Г. А., Коршунов К. С. – Харків: ДБТУ, 2024. – 48 с.

Методичні вказівки підготовлено згідно з навчальною програмою дисципліни «Системи біомедичної реабілітації біооб'єктів». Систематизовано матеріал для практичної роботи. Приведені загальні відомості щодо магнітного поля, взаємодії провідників зі струмом, індукції магнітного поля. Потік магнітного поля. Розглядається електрична частина апаратів магнітотерапії. принцип роботи апарату МС-92.

Рецензенти:

Мороз О. М. – доктор технічних наук проф., професор кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту Державного біотехнологічного університету

Аврунін О. Г. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри біомедичної інженерії Харківського національного університету радіоелектроніки.

© ДБТУ

2024 рік

© Косуліна Н. Г.

2024 рік

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ. МАГНІТНЕ ПОЛЕ	9
1.1. Вплив магнітного поля на людину.....	9
1.2. Використання змінного магнітного поля в медицині.....	13
РОЗДІЛ 2. ВЗАЄМОДІЯ ПРОВІДНИКІВ ЗІ СТРУМОМ. МАГНІТНЕ ПОЛЕ. ІНДУКЦІЯ МАГНІТНОГО ПОЛЯ. ПОТІК МАГНІТНОГО ПОЛЯ.....	17
2.1. Історія відкриття магнітного струму.....	17
2.2. Магнітне поле постійного струму в диференціальній та інтегральній формі.....	35
РОЗДІЛ 3. ЕЛЕКТРИЧНА ЧАСТИНА АПАРАТІВ МАГНІТОТЕРАПІЇ. ПРИНЦИП РОБОТИ АПАРАТУ МС-92.....	35
3.1. Апарат для магнітотерапії МС-92М.....	35
3.2. Принципова схема.....	37
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	42
4. Завдання для практичної роботи.....	46
5. Контрольні запитання.....	47

ВСТУП

Магнітне поле – складова електромагнітного поля, яке створюється змінним у часі електричним полем та рухомими електричними зарядами. Магнітне поле спричиняє силову дію на рухомі електричні заряди. Немає таких речовин, стан яких не змінювався би при розміщенні їх у магнітне поле. У даному випадку ці речовини називаються магнетиками [1, 5, 9].

Необхідно відзначити, що магнетики набувають власного магнітного моменту в зовнішньому магнітному полі і поділяються на діамагнетики, парамагнетики і феромагнетики.

Тканини організму в основному діамагнетики, подібно воді, крім деоксигенованих еритроцитів, які є парамагнетиками (за наявності атомів заліза в молекулі гемоглобіну) [2, 9]. Властивості магнетиків зумовлені їх будовою, магнітними характеристиками електронів, ядер, атомів і молекул, поведінкою даних елементарних частин у магнітному полі [2, 5, 9, 12]. Магнітне поле пов'язане з електричним полем.

Цей зв'язок проявляється в тому, що при зміні одного з них виникає друге. А.Ампер встановив основні закони магнітної взаємодії струмів. Він застосував у фізиці новий термін – «молекулярні струми», що протікають у речовинах. Наявністю таких струмів пояснено магнітні властивості речовин. Пізніше було встановлено, що роль молекулярних струмів у тілах виконують електрони, які постійно рухаються по орбітах визначених радіусів навколо ядер [12].

Джерелами слабких магнітних полів є біологічні об'єкти. Магнітні поля можуть відображати аномалії в роботі органів чи тканин. Відмічено вплив їх на нервову систему, на зміну характеристик крові, зменшення швидкості осідання еритроцитів і числа лейкоцитів.

Впливає на тканинне дихання, підвищує вміст гемоглобіну крові, знижує вміст нуклеїнових кислот і окремих ферментів [14]. Відповідно первинними в даних випадках є фізичні процеси, такі, як зміна орієнтації молекул, зміна концентрації іонів у неоднорідному магнітному полі, силова дія на іони (визначається силою Лоренца), ефект Холла, який виникає в магнітному полі при розповсюдженні електричного імпульсу збудження [12, 15].

Магнітні поля живого організму можуть бути визвані: – іонними струмами, що виникають унаслідок електричної активності клітинних мембран (головним чином м'язових і нервових клітин); – наявністю феромагнітних частинок, наявних або спеціально введених в організм; – при накладанні зовнішнього магнітного поля проявляються неоднорідності магнітної сприйнятливості органів [2, 9, 15].

Відзначено, що неоднорідність біосередовища суттєво відображається на розподілі магнітних і електричних полів. Реєстрацією магнітних полів біооб'єктів займається біомагнітографія, яка має ряд переваг над методами

електрографії: - магнітографія не потребує прямого контакту з біооб'єктами і дає можливість проводити вимірювання через пов'язку і т. ін. [9]; - магнітні поля швидко слабшають при віддаленні від джерела активності, тому магнітографія більш зручна для точного визначення (локалізації) місця біоелектричної активності; - індукція магнітного поля (силова характеристика), як вектор, характеризується не тільки абсолютною величиною, але і напрямком, що також може давати додаткову корисну інформацію [4, 11].

Магнітокардіографія – діагностичний метод реєстрації зміни величини магнітної індукції серця з часом на протязі кардіоциклу. Магнітокардіографія, на відміну від електрокардіографії, записується безконтактно, тому що магнітне поле можна зареєструвати на відстані від серця, яке є джерелом поля [1, 7, 8, 10].

За діагностичні ознаки магнітокардіографії беруть тривалості хвиль та зубців, їх амплітудні значення, характеристики крутизни певних ділянок магнітокардіограми. Інформація, яку дає методика магнітокардіографії, дозволяє проводити ранню діагностику дистрофії міокарда, гіпертрофії серцевого м'яза [10].

В ідеалі, магнітокардіологічне дослідження повинно обов'язково супроводжуватися повноцінним стандартним електрокардіографічним вимірюванням в однаковому стані серцевої діяльності пацієнта, що дозволяє досить надійно діагностувати багато порушень серцевої діяльності та надає важливу додаткову інформацію для магнітокардіографічних досліджень [11, 13].

Магнітоенцефалографія – діагностичний метод, що дозволяє виміряти і візуалізувати магнітні поля, які виникають внаслідок електричної активності мозку [1, 17].

Разом із фундаментальними дослідженнями, такими, як дослідження сенсорних і моторних функцій мозку і когнітивних процесів пам'яті, магнітокардіографія дає можливість неінвазивної локалізації епілептичних джерел патологічної нейронної активності і диференціальної діагностики різних форм епілепсії [1, 4, 6, 7, 8].

Метод магнітоенцефалографії базується на вимірюванні слабких магнітних полів (з індукцією магнітного поля значно менших нановеличин), які породжуються електричною нейронною активністю мозку. Реєстрація магнітних полів мозку можлива завдяки використанню надчутливих сенсорів для реєстрації магнітного поля (сквідів або надпровідникових квантових інтерферометрів) [1, 3, 6].

Магнітоенцефалографія може служити адекватним, а іноді і найбільш інформативним методом дослідження визваної і спонтанної активності кори головного мозку, здатна виявляти джерела, зв'язані зі зміною сумарної постсинаптичної активності нейронів [11, 12, 13].

Проведені дослідження за допомогою магнітоенцефалографії дають можливість тестувати і виявляти такі захворювання, як розсіяний склероз, хвороба Альцгеймера, шизофренія, синдром Шегрена [1, 3, 7, 8].

Магнітобіологія – розділ біофізики, що вивчає вплив магнітних полів на живі біосистеми, досліджує біомагнітні поля, що генеруються живими структурами (серце, мозок, нерв і т.п.) і визначає магнітні властивості речовин біологічного походження [9].

В організмі людини на магнітне поле реагують всі системи, але найбільше ті, які виконують регуляторні функції (нервова, ендокринна, кровоносна системи).

На нервову систему магнітне поле надає переважно гальмівну дію, пригноблюючи умовні і безумовні рефлексії, зменшуючи частоту електричних розрядів окремих нейронів.

З відділів головного мозку найбільшу реакцію на магнітне поле виявили гіпоталамус і кора великих півкуль [9, 12].

Ізольовані структури мозку реагують на магнітне поле інтенсивніше, ніж цілісний мозок, що свідчить про безпосередню дію магнітного поля на нервову тканину.

Гіпофіз у відповідь на дію магнітного поля змінював продукцію окремих гормонів і перш за все гонадотропних. Значні морфологічні зміни спостерігаються в статевих, у надниркових і щитовидній залозах. Зміни кровоносною системи виражаються в розширенні судин, крововиливах.

У крові під дією магнітного поля відзначається збільшення числа лейкоцитів, зміна властивості тромбоцитів і швидкості осідання еритроцитів [13, 14]. Магнітотерапія представляє собою сукупність методів лікування захворювань за допомогою магнітних полів.

Даний напрямок у фізіотерапії засновано на впливі змінного (постійного) магнітного поля низької (високої) частоти на організм людини.

Під впливом цього поля тканини людського організму не намагнічуються, але такі складові елементи біотканин, як вода і клітини крові, можуть змінювати магнітні властивості [13, 15].

В основі фізіологічної та лікувальної дії магнітних полів лежать фундаментальні фізичні закони.

У процесі впливу магнітного поля на тканини організму людини в них виникають електричні струми; внаслідок переорієнтації біологічних макромолекул, що знаходяться в іонізованому стані, і вільних радикалів, а також зміни фізико-хімічних властивостей водних систем організму. Відбуваються зрушення в швидкості біохімічних та біофізичних процесів.

Магнітна переорієнтація рідких кристалів, які є основою клітинних і цитоплазматичних мембран, впливає на проникність цих мембран і специфічні функції клітини [16].

Магнітне поле викликає наведення електричних струмів (е.р.с. індукції) у провідниках, що перетинають його силові лінії (ефект Холла). Е.р.с. індукції виникає при переміщенні провідника в постійному магнітному полі, а також у провідниках, що у спокої, під дією зовнішнього магнітного поля.

Рідкі середовища організму мають високу електропровідність. У них відбувається наведення е.р.с. індукції під дією зовнішніх магнітних полів.

Слабкі електричні струми, що виникають, під дією постійного магнітного поля в рухомих біологічних рідинах, що перетинають магнітні силові лінії (кров у кровоносних судинах, лімфа), а під дією зовнішнього магнітного поля і в біологічних рідинах, що у спокої, багато в чому визначають лікувальний ефект магнітних полів. Іншим важливим фізичним явищем, що пояснює біотропний вплив магнітних полів, є так званий магнітомеханічний ефект Лоренца.

Сутність його полягає у виникненні механічних сил взаємодії (тяжіння або відштовхування) між магнітним полем і рухливим електричним зарядом, що перетинає його силові лінії.

Залежно від напрямку руху електричного заряду він або втягується, або виштовхується з магнітного поля [16, 17]. Магнітомеханічна взаємодія виникає внаслідок наявності у рухливого електричного заряду власного магнітного поля.

Це фізичне явище реалізується на рівні живого організму за рахунок виникнення механічних сил, що викликають структурно-функціональні зміни на всіх рівнях (атомарному, молекулярному, субклітинному, клітинному, тканинному), де проходить перебіг елементарних біоелектричних процесів. Під дією зовнішніх магнітних полів відбувається зміна конфігурації електронних хмар неспарених валентних електронів, що мають некомпенсований магнітний момент.

Це призводить до зміни фізико-хімічних властивостей атомів, що містять неспарені валентні електрони.

У біологічних макромолекулах, де є такі атоми, виникають конформаційні зрушення, що можуть стати причиною підвищення або зниження специфічної активності, що є властивістю цих макромолекул. Зокрема, магнітне поле активує ферменти (K-Na – залежну АТФ-азу, трипсин, карбоксидисмугтазу, РНКполімераза), змінює спорідненість активного центру адренорецепторів міокарда і периферичних судин до адреналіну, стимулює всі внутрішньоклітинні біохімічні реакції вільнорадикального типу.

Під дією магнітного поля прискорюється транспорт електрона по ланцюгу дихальних ферментів (цитохромів) у мітохондріях, що призводить до посилення процесів окисного фосфорилування і накопиченню АТФ всередині клітини.

За рахунок механізму конкурентного інгібування при цьому гальмується гліколіз, відбувається залуження тканин. Лужна реакція пригнічує запальний процес.

Магнітомеханічний ефект реалізується на рівні електрично активних клітин і тканин: нейронів і нервових волокон, структур центральної та периферичної нервової системи, м'язових клітин поперечно-смугастого і гладенького типу. Під дією зовнішніх магнітних полів виникають оборотні структурні зміни мембран нервових і м'язових клітин як матеріальних носіїв слабких біострумів деполіаризації і реполіаризації, які є джерелом біомагнітних полів (пондеромоторний ефект).

Це супроводжується зміною мембранної проникності, напрямку і швидкості течії багатьох біохімічних реакцій, що каталізуються ферментами, фіксованими на клітинній мембрані.

Відбуваються виразні зміни в діяльності нейронів кори головного мозку і підкіркових ядер (гіпоталамус, таламус), ретикулярної формації стовбура з формуванням переважно гальмівних реакцій, гальмуванням активності нейронів ретикулярної формації, придушенням адренергічної активності центральної нервової системи і стимуляцією парасимпатичних відділів гіпоталамуса [9, 12, 16, 17, 18].

Периферичний відділ нервової системи відповідає на магнітотерапевтичний вплив підвищенням порогу збудження рецепторів покривних тканин різних видів чутливості, в особливості больових рецепторів, прискоренням проведення імпульсу по висхідних і низхідних нервових провідниках.

Для досягнення всіх компонентів лікувальної дії магнітних полів курс магнітотерапії повинен бути тривалим. Кожна наступна процедура в ході курсу підвищує і посилює досягнуті результати.

Лікувальні ефекти, отримані після курсу процедур магнітотерапії, стійкі та довго зберігаються. Магнітотерапія відноситься до числа найбільш щадних і легко переносимих методів фізичного лікування.

Не викликаючи помітних суб'єктивних відчуттів, зрушень центральної гемодинаміки, теплових ефектів, магнітотерапія може широко застосовуватися у хворих літнього віку, дітей, при тяжкій супутній соматичній патології. Магнітотерапія натуральна і близька до суті людського організму, до того природного фізичного середовища, в якому організм перебуває з моменту зачаття.

Магнітні поля добре поєднуються і комбінуються в лікувальному процесі з іншими фізичними факторами. Дія цих чинників у ряді випадків значно посилюється (лазерне випромінювання, ультразвук, лікарський електрофорез, імпульсні струми).

Вплив низькочастотним магнітним полем не супроводжується у більшості хворих будь-якими відчуттями та іншими реакціями, тому дозування впливу проводиться шляхом урахування розміру індукції в мілітеслах (мТл) і тривалості процедури у хвилинах.

Протипоказаннями до застосування методів магнітотерапії є індивідуальна непереносимість впливу магнітного поля, схильність до кровотеч, брадикардія, серцево-судинна недостатність III стадії, гіпертонічна хвороба III стадії, судинні дистонії за гіпотонічним типом, гострі гнійні захворювання, злоякісні новоутворення, вагітність, системні захворювання крові, алкогольна інтоксикація [15, 16, 17].

Отже, методика магнітотерапії дозволяє використовувати змінні (високо або низькочастотні) або постійні магнітні поля. Їх можна застосовувати в безперервному або імпульсному режимах. Імпульси, залежно від методу, можуть мати різну частоту, тривалість і форму.

Магнітотерапія є єдиним видом фізіотерапевтичних процедур, який можна застосовувати навіть під час гострої форми захворювання, при сильних болях і температурі. Вона використовується з метою розсмоктування гематом і зняття запалень.

Основною метою магнітотерапії можна назвати боротьбу з больовими відчуттями, особливо, з хронічним болем.

В організмі людини магнітні поля призводять до змін таких біологічно активних речовин, як ферменти, протеїни, нуклеїнові кислоти. Вони також впливають на вільні радикали [12, 15].

Можна сказати, що методи магнітотерапії впливають на організм людини на дуже глибоких рівнях: субмолекулярному, молекулярному, субклітинному.

Магнітотерапія успішно застосовується при захворюванні серцево-судинної системи (гіпертонія, вегетосудинна дистонія), органів дихання (бронхіт, синусит, пневмонію), опорно-рухового апарату (артрози, артрити), нервової системи (невралгії, невропатії, дисциркуляторної енцефалопатії, неврозів).

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ. МАГНІТНЕ ПОЛЕ

1.1. Вплив магнітного поля на людину

Магнітне поле – це силове поле, що діє на рухомі електричні заряди і тіла. Це одна з п'яти відомих нам сил, які керують Всесвітом від мікросвіту до масштабів міжгалактичних. Схоже, що магнітне поле – неодмінна умова для існування життя. Адже воно являє собою єдиний захист від вбиваючої радіації Сонця.

Людина на планеті Земля постійно знаходиться під впливом магнітного поля. Людське тіло також має власне магнітне поле, яке різниться для різних органів. Важливим моментом є підтримка відносного балансу між зовнішніми і внутрішніми магнітними полями. Безперечним є факт, що зовнішні магнітні поля в значній мірі визначають стан наших внутрішніх магнітних полів.

У макромолекулах (нуклеїнові кислоти, протеїни і т.п.) під впливом магнітних полів виникають заряди і змінюється їх магнітна сприйнятливість. Магнітна енергія макромолекул в результаті такого впливу перевищує енергію теплового руху. Саме цей ефект дає можливість використовувати магнітне поле для запуску орієнтаційних та концентраційних змін всередині біологічно активних макромолекул.

Цей ефект впливає на швидкість біохімічних і біофізичних процесів. Активність йонів є найважливішим регуляторним механізмом людського організму. Ця активність визначається, в першу чергу, зв'язком з макромолекулами і ступенем гідратації (тобто зв'язком з молекулами води). Завдяки зростанню йонної активності в тканинах організму під впливом магнітних полів відбувається стимуляція клітинного метаболізму, тобто збільшення обміну речовин.

Лікарі та вчені експерти в області фізіологічних процесів, що відбуваються під впливом магнітного поля в людському організмі, звертають особливу увагу на вплив магнітного поля на кровоносно-судинну систему людини, ефективність переносу кисню кров'ю, транспортування поживних речовин, але найбільш чутливою до магнітного поля є нервова система.

На магнітні поля реагує і багато інших систем організму: ендокринна, серцево-судинна, дихальна, кістково-м'язова й травна системи, органи чуття та кров.

Низькочастотні магнітні поля

Слабкі магнітні поля – техногенного та природного походження – впливають на фізіологічні функції людини, що в підсумку позначається на загальному стані. Особливості впливу магнітного поля на людину принципово відрізняються від будь-якого іншого впливу – хімічного, теплового, радіаційного, електричного. Наприклад, якщо мускулатура і система кровообігу можуть частково шунтувати небезпечний струм,

а радіація частково поглинутися поверхневими шарами тіла, то магнітне поле впливає на організм в цілому.

У природних умовах людина піддається лише природним електромагнітним полям, на які він налаштувався на протязі всього процесу еволюції на планеті Земля. Коли ж в цей процес взаємодії втручаються штучні джерела магнітних, електричних та електромагнітних полів, то відбувається порушення синхронізації. Магнітне поле Землі змінюється з частотою в середньому 8 Гц, хоча це значення може значно коливатися. Наш організм вже налаштований на те, щоб сприймати цю частоту і вважає її природним фоном. Наші клітини таким чином є чутливими до даної частоти впливу магнітного поля.

Різні наукові дослідження показали, що низькочастотне (2...8 Гц) електромагнітне поле впливає на швидкість реакції людини і на оптичний сигнал. Магнітне поле в діапазоні 5...10 Гц змінює час реакції мозку людини на багато інших зовнішніх впливів.

Дослідження показали, що при впливі на людський організм короткочасного змінного магнітного поля з частотою 0,01...5 Гц відбувається різка зміна характеру електроенцефалограми мозку людини. Під впливом слабких змінних магнітних полів у людини зростає частота пульсу, починає боліти голова, погіршується самопочуття і відчувається слабкість у всьому організмі.

При цьому відбувається сильна зміна електричної активності мозку. Людський організм реагує на низькочастотні коливання геомагнітного поля: при збільшенні поля на фундаментальній частоті магнітосфери Землі (8 Гц) час реакції людини зменшується на 20 мс, а при наявності нерегулярних коливань магнітного поля з частотою 2...6 Гц – час реакції збільшується на 15 мс.

За даними вимірювання артеріального тиску протягом року було достовірно показано, що добові зміни діастолічного артеріального тиску і вмісту лейкоцитів збігаються з щоденними змінами магнітного поля Землі. Так само залежить від збуреності магнітного поля планети і частота серцевого ритму.

Сонячні геомагнітні бурі

Поряд з повсякденними оточуючими нас магнітними полями, вплив Сонця і його геомагнітних бур надає людині найбільш сильний негативний вплив. Так само, вплив цих бур найбільш яскраво проявляє симптоми людини.

Геомагнітна буря – збурення геомагнітного поля тривалістю від декількох годин до декількох діб. Причина виникнення геомагнітних бур – вибухи на Сонці, відгомони яких долітають до Землі. Зірка викидає безліч заряджених частинок, які на величезній швидкості несуть сонячний вітер. До земної атмосфери ці частинки долітають через день або два.

Більшість часток поглинає електромагнітне поле Землі, яке захищає нашу планету і її мешканців. Воно виконує роль купола, який відбиває атаки з космосу. Саме цю захисну реакцію магнітного поля Землі називають бурєю.

«Оборона» планети призводить до швидкої і сильної зміни характеристик купола.

Таким чином, геомагнітна буря – це швидкі і сильні зміни в магнітному полі Землі, що виникають в періоди підвищеної активності Сонця.

Разом з суббурями, геомагнітні бурі є одним з видів геомагнітної активності. Вони викликані надходженням в межі Землі збурених потоків сонячного вітру і їх взаємодією з магнітосферою Землі. Геомагнітні бурі є проявом посилення кільцевого струму Землі, постійно існуючого в області радіаційних поясів планети.

Це явище є одним з найважливіших елементів сонячно-земної фізики і її практичної частини, яка зазвичай позначається терміном «космічна погода». Геомагнітні бурі мають несиметричний за часом характер розвитку: в середньому фаза наростання збурення (головна фаза бурі) становить близько 7 годин, а фаза повернення до вихідного стану (фаза відновлення) – близько 3 діб.

Частота появи помірних і сильних буревіїв на Землі має чітку кореляцію з 11...річним циклом сонячної активності: при середній частоті близько 30 буревіїв в рік їх число може становити 1...2 бурі в рік поблизу сонячного мінімуму і досягати 50 буревіїв в рік поблизу сонячного максимуму. Це означає, що в роки сонячного максимуму людство до 50% часу року живе в умовах помірних і сильних буревіїв, а за своє 75-річне життя середньостатистична людина проживає близько 2250 помірних і сильних буревіїв, що загалом тривають 15 років.

Найпотужнішою геомагнітної бурею за всю історію спостережень була геомагнітна буря 1859 роки, так звана «подія Каррінгтона» або Сонячний супершторм. З 28 серпня по 2 вересня на Сонці спостерігалися численні плями і спалахи. Відразу після полудня 1 вересня британський астроном Річард Каррінгтон спостерігав найбільший спалах, який викликав великий корональний викид маси.

Він направлявся до Землі і досяг її через 18 годин, що дуже швидко, так як ця відстань зазвичай проходиться за 3-4 дня. Викид рухався так швидко тому, що попередні викиди розчистили йому шлях.

1-2 вересня розпочалася найбільша за всю історію реєстрація геомагнітної бурі, яка викликала відмова телеграфних систем по всій Європі і Північній Америці. Північні сьйва спостерігалися по всьому світі, навіть над Карибами; також цікаво, що над Скелястими горами вони були настільки яскравими, що світіння розбудило золотошукачів, які почали готувати сніданок, думаючи, що настав ранок.

Геомагнітні бурі є одним з найважливіших елементів космічної погоди і впливають на багато областей діяльності людини, з яких можна виділити порушення зв'язку, систем навігації космічних кораблів, виникнення вихрових індукційних струмів в трансформаторах і трубопроводах, та навіть руйнування енергетичних систем.

На людини вони впливають так само негативно, викликаючи вкрай сильні головні болі, нерідко запаморочення, явне уповільнення реакції та неухважність.

Вплив магнітного поля на розвиток хвороб

Сучасна наука вже довела, що магнітне поле Землі впливає на живі організми. Встановлено також, що живі істоти не тільки сприймають електромагнітні потоки, але і генерують власні.

Експерименти підтверджують існування прямого впливу вкрай низькочастотних коливань геомагнітного поля на організм людини. Виходячи з цих відомостей можна зробити висновок, що під час магнітних збурень на Землі (тобто під час магнітних бур) низькочастотні варіації геомагнітного поля будуть негативно впливати на самопочуття і здоров'я людей.

Оскільки магнітні поля впливають на весь організм людини – в тій чи іншій мірі піддаються впливу всі системи. Однак, якщо здоровий організм ще може справлятися, тобто адаптуватися до впливу магнітних полів, то чим сильніше він хворіє, тим більш істотним стає негативний вплив. Організму, ослабленому тривалою хворобою, навіть незначний, слабкий вплив може завдати значної, а іноді і непоправної шкоди.

Дослідження показали, що в день проходження магнітної бурі і, протягом найближчих 1...2 днів після неї, сильно зростає кількість звернень людей з серцево-судинними проблемами та збільшується кількість летальних випадків. Наш організм реагує на вплив не миттєво, тому пік звернень припадає не на день самої магнітної бурі, а на перший або другий день після неї. Також впливає і зміна самого магнітного поля, частота, амплітуда і модуляція якого змінюється в міру проходження і спаду магнітної бурі.

Як вже було сказано: навіть у здорових людей під час магнітних бур відбуваються деякі зміни в складі крові. При безпосередньому синхронному вимірюванні концентрації лейкоцитів в крові і рівня збуреності магнітного поля Землі, з'ясувалося, що вони змінюються практично одночасно. Під час магнітних бур підвищується ймовірність тромбоутворення. Вертикальна складова магнітного поля Землі змінюється протягом доби і це призводить до зміни швидкості осідання еритроцитів в крові.

Магнітне поле для людини потрібне!

Як вже усі зрозуміли, зниження рівня зовнішнього магнітного поля також веде до порушення магнітного поля в організмі людини. Наприклад, така зміна в кровеносній системі порушується кровообіг, транспортування кисню і поживних речовин до органів і тканин, що може в результаті призвести до розвитку хвороби.

Таким чином, недостатній чи збільшений рівень зовнішнього магнітного впливу за ступенем шкоди, що завдається їм організму, може цілком змагатися з дефіцитом мінералів і вітамінів. Отже, неймовірно важливо підготувати організм людини до впливу на нього сильних магнітних бур, щоб людина відчувала себе при цьому комфортно.

1.2. Використання змінного магнітного поля в медицині

Магнітне поле – складова частина, „електромагнітного поля”, що є окремим видом матерії. Особливість магнітного поля проявляється в його механічному діянні лише на рухомі електричні заряди або на тіла, які мають магнітний момент, незалежно від того, рухаються вони чи ні. Джерелами магнітного поля є рухомі електричні заряди, наприклад, струм у провідниках. Магнітне поле пов'язане з електричним полем. Цей зв'язок проявляється в тому, що при зміні одного з них виникає друге. В історії людства був час, коли магніт називали „каменем кохання”, „каменем мудрості”.

Розповідають, що в середньовіччі магніт охороняв житла городян від злодіїв, Кусок магніту клали біля дверей, і тоді металеві речі, що їх тримав злодій, міцно прикипали до цього металу. Злодії лякався і тікав. Згодом магніт було передано на користування вченим. Він мав таку гучну славу, що навіть знаменитий Ньютон носив у своєму персні, замість дорогоцінного каменя кусочок дуже сильного магніту.

В даний час в медичній практиці все більш широке застосування знаходять методи немедикаментозного лікування, в тому числі магнітотерапії. Існує широке коло медичинських приладів і пристроїв, методів діагностики і лікування, способів боротьби з різними медичними проблемами, в яких магнітні явища і властивості магнітних матеріалів не тільки з успіхом використовуються, але їх застосування є науково виправданим. Магніти останнім часом все частіше використовуються для більш точного і менш інвазивного введення в організм хворого різних інструментів та ліків в ході лікувальних і діагностичних процедур.

Управління рухом у цьому разі здійснюється з допомогою МП (магнітного поля), наприклад при проведенні ендovasкулярних маніпуляцій. Основні механізми впливу магнітних полів на біологічні організми, що дозволяють розвивати магнітну терапію: 1) посилення кровотоку і поліпшення кислородтранспортної функції крові (обидва ці явища лежать в основі здатності організму до самовідновлення); 2) зміна швидкості міграції іонів кальцію, в результаті чого, з одного боку, кальцій швидше надходить в пошкоджену кісткову тканину (наприклад, при переломах), і вона швидше відновлюється, а з іншого боку, кальцій швидше вимивається з хворого ураженого артритом суглоба; 3) зміна кислотно-лужного балансу (рН) різних рідин в тілі людини і тварин (дисбаланс часто є наслідком патологічного процесу); 4) зміна виробітку (найчастіше підвищення) гормонів ендокринними залозами; 5) зміна ферментної активності і швидкостей різних біохімічних процесів; 6) поліпшення макро – і мікрореології крові за рахунок зміни (як правило, зниження) її в'язкості.

Людське тіло з магнітною точки зору являє собою інертний матеріал, завдяки його основної складової - воді. У цілому вода діамагнітна, тобто слабо

відштовхується магнітними полями. Під дією МП електрони молекул води можуть злегка коригувати свій рух, створюючи при цьому МП протилежного напрямку, приблизно в тисячу разів менше прикладеної. При видаленні магнітних полів електрони повертаються на свої первинні орбіти, і молекули води знову стають немагнітними. Найбільш ймовірні фізико-хімічні ефекти МП на біологічний об'єкт: орієнтаційна перебудова володіють власним магнітним моментом хімічно вільних молекул - радикалів, рідкокристалічних макромолекулярних структур, металлопротеїдів (гемоглобін, каталаза, вітаміни) і молекул води у вигляді клатратних структур. Багато хто не роблять належної відмінності між формою магнітної терапії, заснованої на дії помірних статичних полів від постійних магнітів, і більш поширеною формою магнітної терапії, заснованої на імпульсних полях електромагнітів.

Імпульсні магнітних полів істотно відрізняються від постійних, оскільки, згідно з рівняннями Максвелла, змінне в часі МП індукує електричне поле. Електричні поля чинять виражену дію на біологічні процеси, зокрема на нервові і м'язові клітини, про що ми знаємо ще з часів Гальвані і його дослідів з ніжками жаб. Багато років тому FDA (Управління з контролю за продуктами і ліками США схвалило використання імпульсних магнітних полів в «стимуляторах росту кісток» для лікування погано срастаючихся переломів і «магнітної стимуляції» – впливу імпульсних полів на мозок і інші компоненти нервової системи. В даний час подібні роботи ведуться досить інтенсивно. Зокрема, показано, що при лікуванні депресії, нав'язливо-компульсивном і біполярному розладів, шизофренії, епілепсії, хвороби Паркінсона перспективним засобом є транскраніальна (внутрішньочерепна) магнітна стимуляція (TMS), при якій пацієнт отримує сотні імпульсів потужного змінного МП величиною до 1 Тл і більш тривалістю в мілісекунду кожен. Однак подібні форми магнітно-імпульсної терапії засновані на біологічних ефектах від індукованих електричних полів і в корені відрізняються від терапії із застосуванням статичних полів постійних магнітів. TMS використовується в лікарнях Сполучених Штатів, Європи та Австралії в якості звичайної лікувальної процедури. Все життя на нашій планеті, перебуває під впливом електромагнітних полів, і все, що знаходиться на Землі, в тому числі люди, тварини і рослини, піддається впливу невидимих силових ліній цього поля. Геомагнітні збурення в результаті змін на поверхні Сонця, стійке збільшення використання електроенергії в побуті та індустрії, постійна присутність стрес-факторів в житті людини викликають відповідну реакцію з боку вегетативної нервової системи, відповідальною за підтримання гомеостазу.

Збалансована робота вегетативної нервової та ендокринної систем забезпечує незалежність організму від постійно мінливих умов зовнішнього середовища. В експериментальних дослідженнях показано, що після дії МП на живі організми в умовах гіпоксії істотно підвищується їх виживання. Гемомагнітотерапія досить широко використовується в клініці в умовах відділень інтенсивної терапії при лікуванні критичних станів. Так, магнітну обробку крові застосовують у комплексному лікуванні хворих сепсисом, ускладненим синдромом гострого легеневого пошкодження.

Лікувальний ефект магнітотерапії пов'язаний з нормалізуючим впливом змінного МП на стан еритроцитарних мембран та судинну стінку, що призводить до поліпшення кислородтранспортної функції крові і, як наслідок, більшої стійкості організму до гіпоксії. Вона дозволяє досягнути меншої травматизації формених елементів крові в процесі її перфузії по екстракорпорального контуру, пригнічує адгезивні та агрегаційну функцію тромбоцитів і знижує активність згортаючої системи крові; покращує деформованість еритроцитів, нормалізуючи реологію крові; підвищує резистентність еритроцитів до ушкоджувальних впливів.

Розроблені технології впливу на організм імпульсних низькочастотних МП володіють високим ступенем безпеки у використанні. Слід зазначити, що вплив МП відрізняється хорошою переносимістю та не супроводжується неприємними суб'єктивними відчуттями. Відомо, що однією з основних проблем онкології є створення ефективних маркерів, здатних розпізнати ракові клітини серед здорових, з тим щоб згодом руйнувати їх, не завдаючи шкоди іншим. В даний час саме в цій якості пропонується використовувати складні магнітні наночастинки, які тепер можуть розглядатися як один з нанорозмірних приладів для біомедицини.

Руйнівна для ракових клітин робота виконується під дією МП. Ядро наночастинок складається з оксидів заліза. Дослідниками було виявлено, що під впливом МП частинки, що знаходяться всередині ракових клітин, здатні розривати мембрани клітин, викликаючи тим самим згубні для них ушкодження.

Американські дослідники стверджують, що в найближчому майбутньому можна буде запобігти сліпоті у людей з пошкодженою сітківкою, використовуючи так звану магнітну рідину. Зазвичай для повернення ушкодженої сітківки на місце використовується силіконова рідина, але американські вчені виявили, що найкращим чином може вирішити цю проблему намагнічена рідина (частіше використовують магнетит - матеріал на основі заліза).

Дійсно, такий метод значно точніший, оскільки він дозволяє рідини рухатися під дією зовнішнього магніту і досягати таких ділянок очі, які важко досяжні іншими способами. Тепер магнітне поле використовується у медицині для виймання дрібненьких кусочків заліза, що потрапить в око, або осколків від розриву снаряду чи гранати, які застряли недалеко від поверхні тіла. Магнітне поле широко використовується також для лікування ряду захворювань. Вам, певно, доводиться чути про такі апарати як ВЧ, УВЧ, рентген та інші, що створюють магнітне поле.

Коли в людини раптово зупинилося серце, масаж часто примушує його знову забитися. Але масаж серця можна робити тоді, коли відкрита грудна клітка. А якщо під руками немає хірургічних інструментів? Група лікарів з Медичного центра Брукліна (США) пропонує ввести в серцевий м'яз розчин дуже дрібного порошку заліза і потім підвести до грудей потужний електромагніт. Під дією магнітного поля частинки заліза почнуть рухатися і потягнуть за собою м'язові волокна.

Коли магнітне поле змінне, можна добитися, що м'яз почне скорочуватись в потрібному ритмі. За допомогою магнітного поля дослідники примушували серце собаки битися протягом чотирьох годин. Можливо, настане такий час, коли магнітне поле є допомагатиме хірургові лікувати серце. Спостереження показати, що магнітне поле є у кожного чоловіка. Але дуже слабке. Так, згинаючи і розгинаючи руку, людина створює на своїй поверхності магніт. Напруженість магнітного поля серця дуже мала. Магнітне поле серця являється змінною величиною, виникаючою одночасно з його електричною активністю. Отже, магнітне поле прийшло на службу до людини.

РОЗДІЛ 2. Взаємодія провідників зі струмом. Магнітне поле. Індукція магнітного поля. Потік магнітного поля

2.1. Історія відкриття магнітного поля

Магнітні явища були відомі ще в прадавньому світі. Компас був винайдений більш 4500 років тому. У Європі він з'явився приблизно в XII столітті нової ери. Однак тільки в XIX столітті був виявлений зв'язок між електрикою й магнетизмом і виникла уява про магнітне поле.



Ханс Ерстед

Рис. 2.1 – Портрет Ханса Ерстеда

Першими експериментами (проведені в 1820 г.), що показали, що між електричними й магнітними явищами є глибокий зв'язок, були досліди датського фізика Х. Ерстеда. Ці досліди показали, що на магнітну стрілку, розташовану поблизу провідника зі струмом, діють сили, які прагнуть її повернути. У тому ж році французький фізик А. Ампер спостерігав силову взаємодію двох провідників зі струмами й встановив закон взаємодії струмів. По сучасних уявах, провідники зі струмом виявляють силову дію один на один не безпосередньо, а через *магнітні поля*, які їх оточують.



Андре Ампер

Рис. 2.2 – Портрет Андре Ампер

Джерелами магнітного поля є електричні заряди, що рухаються (струми). Магнітне поле виникає в просторі, що оточує провідники зі струмом, подібно тому, як у просторі, що оточує нерухливі електричні заряди, виникає електричне поле. Магнітне поле постійних магнітів також створюється електричними мікрострумами, що циркулюють усередині молекул речовини (гіпотеза Ампера).

Вчені XIX століття намагалися створити теорію магнітного поля за аналогією з електростатикою, уводячи в розгляд так звані магнітні заряди двох знаків (наприклад, північний N і південний S полюси магнітної стрілки).

Однак дослід показує, що *ізолюваних магнітних зарядів не існує*.

Магнітне поле струмів принципово відрізняється від електричного поля. Магнітне поле, на відміну від електричного, виявляє силову дію тільки на заряди, що рухаються (струми).

Для опису магнітного поля необхідно ввести силову характеристику поля, аналогічну вектору напруженості E електричного поля. Такою характеристикою є *вектор магнітної індукції B* який визначає сили, що діють на струми або заряди, що рухаються в магнітному полі.

За позитивний напрямок вектора B ухвалюється напрямок від південного полюса S до північного полюса N магнітної стрілки, що вільно орієнтується в магнітному полі.

Таким чином, досліджуючи магнітне поле, створюване струмом або постійним магнітом, за допомогою маленької магнітної стрілки, можна в кожній точці простору визначити напрямок вектора B .

Таке дослідження дозволяє наочно представити просторову структуру магнітного поля. Аналогічно силовим лініям в електростатиці можна побудувати *лінії магнітної індукції*, у кожній крапці яких вектор B спрямований по дотичній. Приклад ліній магнітної індукції полів постійного магніту і котушки зі струмом наведено на мал.

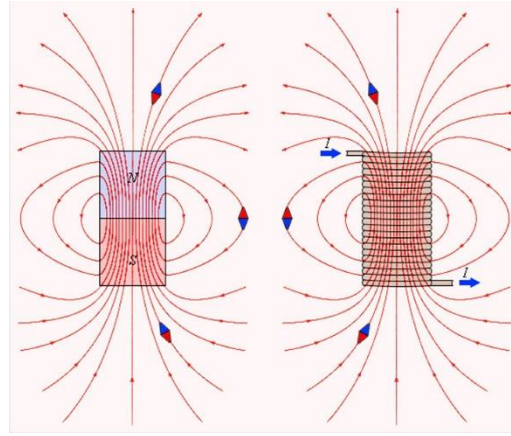


Рис. 2.1 – Силові поля

Зверніть увагу на аналогію магнітних полів постійного магніту й котушки зі струмом. Лінії магнітної індукції завжди замкнені, вони ніде не обриваються. Це означає, що *магнітне поле не має джерел – магнітних зарядів*. Силові поля, що володіють цією властивістю, називаються *вихровими*. Картину магнітної індукції можна спостерігати за допомогою дрібних ошурок, які в магнітному полі намагнічуються й, подібно маленьким магнітним стрілкам, орієнтуються уздовж ліній індукції.

Для того, щоб кількісно описати магнітне поле, потрібно вказати спосіб визначення не тільки напрямку вектора B але і його модуля. Простіше всього це зробити, вносячи в досліджуване магнітне поле провідник зі струмом і вимірювати силу, що діє на окрему прямолінійну ділянку цього провідника. Ця ділянка провідника повинна мати довжину Δl , досить малу в порівнянні з розмірами областей неоднорідності магнітного поля.

Як показали досліди Ампера, сила, що діє на ділянку провідника, пропорційна силі струму I , довжині Δl цієї ділянки й синусу кута α між напрямками струму й вектора магнітної індукції:

$$F \sim I \Delta l \sin \alpha.$$

Ця сила називається *силою Ампера*. Вона досягає максимального по модулю значення F_{\max} , коли провідник зі струмом орієнтований перпендикулярно лініям магнітної індукції. Модуль вектора B визначається в такий спосіб:

Модуль вектора магнітної індукції дорівнює відношенню максимального значення сили Ампера, що діє на прямий провідник зі струмом, до сили струму I у провіднику і його довжині Δl :

$$B = \frac{F_{\max}}{I \Delta l}$$

У загальному випадку сила Ампера виражається співвідношенням:

$$F = IB\Delta l \sin\alpha$$

Це співвідношення прийнято називати законом Ампера.

У системі одиниць СІ за одиницю магнітної індукції прийнята індукція такого магнітного поля, у якому на кожний метр довжини провідника при силі струму 1 А діє максимальна сила Ампера 1 Н. Ця одиниця називається *тесла* (Тл).

Тесла – дуже велика одиниця. Магнітне поле Землі приблизно дорівнює $0,5 \cdot 10^{-4}$ Тл. Великий лабораторний електромагніт може створити поле не більше за 5 Тл.

Сила Ампера спрямована перпендикулярно вектору магнітної індукції й напрямку струму, що тече по провідникові. Для визначення напрямку сили Ампера звичайно використовують *правило лівої руки*: якщо розташувати ліву руку так, щоб лінії індукції входили в долоню, а витягнуті пальці були спрямовані вздовж току, то відведений великий палець укаже напрямок сили, що діє на провідник.

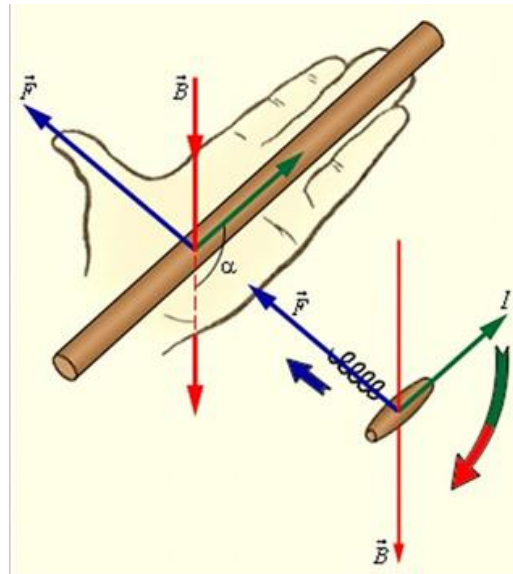


Рис. 2.2 – Правило лівої руки

Якщо кут α між напрямками вектора B й струму в провіднику відмінний від 90° , то для визначення напрямку сили Ампера більш зручно користуватися *правилом буравчика*: уявлюваний буравчик розташовується перпендикулярно площини, що містить вектор B і провідник зі струмом, потім його рукоятка повертається від напрямку струму до напрямку вектора B . Поступальне переміщення буравчика буде показувати напрямок сили Ампера. Правило буравчика часто називають правилом правого гвинта.

Одним з важливих прикладів магнітної взаємодії є взаємодія паралельних струмів. Закономірності цього явища були експериментально встановлені Ампером. Якщо по двом паралельним провідникам електричні струми течуть у ту саму сторону, то спостерігається взаємне притягання

провідників. У випадку, коли струми течуть у протилежних напрямках, провідники відштовхуються.

Взаємодія струмів викликається їхніми магнітними полями: магнітне поле одного струму діє силою Ампера на інший струм і навпаки.

Досліди показали, що модуль сили, що діє на відрізок довжиною Δl кожного із провідників, прямо пропорційний силам струму I_1 і I_2 у провідниках, довжині відрізка Δl і обернено пропорційний відстані R між ними:

$$F = k \frac{I_1 I_2 \Delta l}{R}$$

У Міжнародній системі одиниць СІ коефіцієнт пропорційності k прийнято записувати у вигляді:

$$k = \frac{\mu_0}{2\pi}$$

де μ_0 – постійна величина, яку називають *магнітною сталою*. Уведення магнітної сталої в СІ спрощує запис ряду формул. Її чисельне значення дорівнює:

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Н/А}^2 \approx 1,26 \cdot 10^{-6} \text{ Н/А}^2$$

Формула, що виражає закон магнітної взаємодії паралельних струмів, приймає вигляд:

$$F = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_1 I_2 \Delta l}{R}$$

Звідси не важко одержати вираження для індукції магнітного поля кожного із прямолінійних провідників. Магнітне поле прямолінійного провідника зі струмом повинне мати осьову симетрію й, отже, замкнені лінії магнітної індукції можуть бути тільки концентричними окружностями, що розташовуються в площинах, перпендикулярних провіднику.

Це означає, що вектори B_1 й B_2 магнітної індукції паралельних струмів I_1 і I_2 лежать у площині, перпендикулярній обом струмам. Тому при обчисленні сил Ампера, що діють на провідники зі струмом, у законі Ампера потрібно покласти $\sin \alpha = 1$.

Із закону магнітної взаємодії паралельних струмів випливає, що модуль індукції B магнітного поля прямолінійного провідника зі струмом I на відстані R від нього виражається співвідношенням:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}$$

Для того, щоб при магнітній взаємодії паралельні струми притягались, а антипаралельні відштовхувались, лінії магнітної індукції поля прямолінійного провідника повинні бути спрямовані за годинниковою стрілкою, якщо дивитися вздовж провідника за напрямком струму. Для визначення напрямку вектора B магнітного поля прямолінійного провідника також можна користуватися *правилом буравчика*: напрямок обертання рукоятки буравчика збігається з напрямком вектора B , якщо при обертанні буравчик переміщається в напрямку струму.

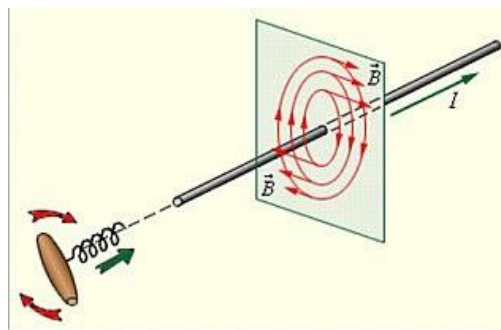
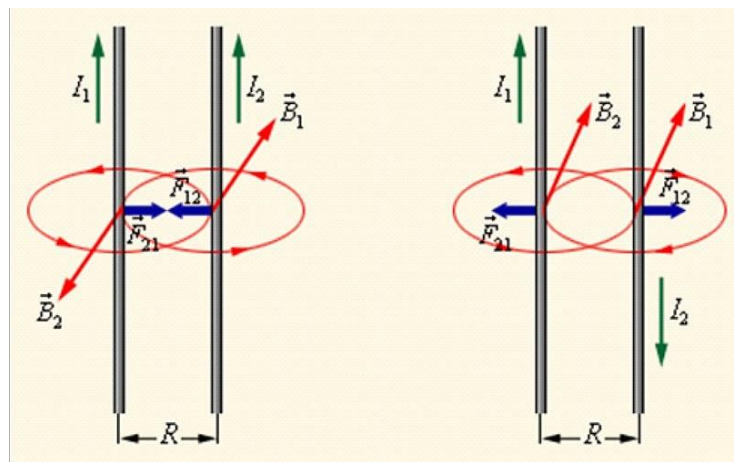


Рис. 2.3 – Правело Буравчика

Ще одна дуже важлива характеристика магнітного поля - *магнітний потік*, або *потік магнітної індукції*.

У випадку однорідного магнітного поля *магнітним потоком* Φ через площадку S , розташовану перпендикулярно до ліній індукції, називають величину, яка дорівнює добуткові магнітної індукції на площу площадки:

$$\Phi = BS.$$

Якщо магнітна індукція B не перпендикулярна до площадки, магнітний потік дорівнює:

$$\Phi = BS \cos \alpha.$$

За одиницю вимірювання магнітного потоку в СІ прийнят 1 вебер (вб). 1 Вб = 1 Тл · м².

2.2. Магнітне поле постійного струму в диференціальній та інтегральній формі

2.2.1. Основні характеристики магнітного поля. Інтегральна форма запису закону повного струму

Магнітне поле задано у визначеній області простору, якщо у кожній точці цієї області задані його основні характеристики. Це векторні величини: індукція \vec{B} , намагніченість \vec{J} і напруженість \vec{H} .

Відомо, що ці три величини задовольняють співвідношення:

$$\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \vec{J}) = \mu_0\mu_r\vec{H} = \mu_a\vec{H}, \quad (2.1)$$

де μ_0 – магнітна постійна, а μ_a і μ_r – абсолютна і відносна магнітні проникності.

З дослідних даних також відомо, що на елемент провідника довжиною dl , розташований у магнітному полі і по якому протікає струм величиною I , діє сила \vec{F} , яка визначиться за формулою:

$$\vec{F} = I[\vec{dl} \times \vec{B}]. \quad (2.2)$$

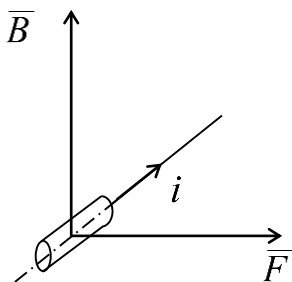


Рис. 2.4

З визначення векторного добутку випливає, що ця сила перпендикулярна як до вектора індукції \vec{B} , так і до елемента струму $\vec{dl} = I\vec{dl}$ (рис. 2.4). З виразу (2.2) випливає, що поняття індукції може бути визначено силою, що діє на провідник довжиною dl , рівною одиниці, якщо по ньому протікає струм I , величина якого також дорівнює одиниці. Ця сила залежить від орієнтації вектора \vec{B} відносно векторного елемента \vec{dl} . При цьому, якщо

індукція \vec{B} і елемент \vec{dl} рівнобіжні, то елемент струму не відчуває механічного впливу з боку магнітного поля, і відчуває максимальний механічний вплив поля, якщо вектори \vec{B} і \vec{dl} взаємно перпендикулярні.

Отже, магнітне поле може бути визначене як особливий стан матерії, що спостерігається у певній області простору і породжує діючу на поміщений у цю область поля провідник зі струмом силу, яка прямо пропорційна величині струму в цьому провіднику. З цього визначення випливають висновки відносно того, що визначений у деякій області простору електричний струм, неминуче створює в ній магнітне поле і наявність магнітного поля, яке створено будь-яким, розташованим у певних точках простору, струмом може призвести до виникнення струму в інших точках цього простору.

Зауважимо, що магнітне поле може бути створено як струмом провідності, так і струмом електричного зсуву. Далі будемо розглядати головним чином магнітне поле постійного струму провідності, коли струм зсуву відсутній.

Нагадаємо далі, що кількісний зв'язок між циркуляцією вектора \vec{H} по замкненому контуру і струмом усередині цього контура можна визначити за законом повного струму в інтегральній формі:

$$\oint \vec{H} \vec{dl} = I. \quad (2.3)$$

Формулюється цей закон так: лінійний інтеграл від напруженості магнітного поля уздовж будь-якого замкненого контура дорівнює величині повного струму усередині цього замкненого контура.

При цьому під повним струмом можна розуміти весь струм, що пронизує контур інтегрування, тобто суперпозицію струму провідності і струм зсуву.

2.2.2. Диференційна форма запису закону повного струму

Зазначаючи те, що розглянуте співвідношення (2.5) придатне для контура будь-яких розмірів, припустимо, що зображений на рис. 10.14 замкнений контур, позначений стрілками, має такий малий розмір, що в обмеженій ним площинці щільність струму провідності однакова у всіх точках цієї площинки, площа якої дорівнює Δs .

Тоді для струму Δi , що пронизує цю площинку, буде виконуватися співвідношення:

$$\Delta i = \overline{\delta \Delta s} = \delta_n \Delta s, \quad (2.5)$$

де δ_n є проекцію вектора щільності струму $\vec{\delta}$ на нормаль до цієї площинки, тобто на напрямок вектора $\vec{\Delta s}$. Підставляючи праву частину цього виразу замість правої частини (2.5), отримаємо співвідношення:

$$\oint \overline{H} dl = \delta_n \cdot \Delta s,$$

у лівій частині якого міститься відповідна циркуляція у вигляді криволінійного інтеграла по контуру, який показано на рис. 2.5 стрілочками. Слід також зауважити, що за позитивний напрямок нормалі до малої обмеженої стрілками площинки приймають напрямок руху вістря правоходового гвинта, який обертається в напрямку, прийнятому за позитивний в обході контура при складанні отриманої циркуляції.

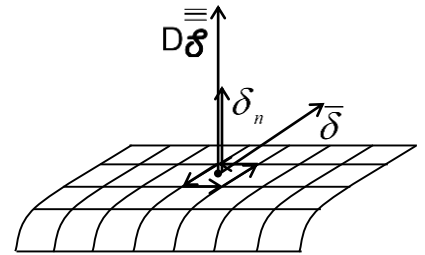


Рис. 2.5

Поділивши обидві частини рівності на Δs , і спрямуємо Δs до нуля, що відповідає прямуванню, обмеженої стрілками на рис. 2.5 площинки, до нуля. У результаті цих дій отримуємо рівність:

$$\lim_{\Delta s \rightarrow 0} \frac{\oint \overline{H} dl}{\Delta s} = \delta_n.$$

У лівій частині цієї рівності знаходиться величина, яка називається проекцією ротора вектора \overline{H} на напрямок нормалі до площинки Δs . Цю нормальну до Δs проекцію ротора \overline{H} прийнято позначати записом $rot_n \overline{H}$, який приводить до запису попередньої рівності у вигляді $rot_n \overline{H} = \delta_n$.

Припускаючи далі, що площинка Δs орієнтована у просторі так, що напрямок нормалі до неї збігається з напрямком вектора щільності струму δ у даній точці поля, можна перейти від запису рівності проекцій двох векторів $rot_n \overline{H}$ і δ до запису рівності самих векторів, тобто до формули:

$$rot \overline{H} = \overline{\delta}. \quad (2.6)$$

Цей вираз і є записом закону повного струму в диференціальній формі.

Ротор може бути визначений як функція, що характеризує поле у розглянутій точці стосовно його здатності до утворення вихорів. *Поля, ротор яких відмінний від нуля, називають вихровими.* Враховуючи те, що для магнітного поля постійного струму $rot \overline{H} = \overline{\delta}$, приходимо до висновку, що у всіх точках простору, де при існуванні $\overline{\delta} \neq 0$, поле вектора \overline{H} є полем вихровим.

При отриманні виразу для рівності двох векторів $rot \overline{H}$ і $\overline{\delta}$ в обраній системі координат звернемо увагу на те, що векторний запис (2.6) цієї рівності означає, що виконуються покоординатні рівності проекцій цих векторів на координатні осі. У

випадку декартової системи координат xuz ці рівності мають вигляд $rot_x \bar{H} = \delta_x$, $rot_y \bar{H} = \delta_y$ і $rot_z \bar{H} = \delta_z$, де $rot_x \bar{H}$, $rot_y \bar{H}$, $rot_z \bar{H}$ і δ_x , δ_y , δ_z – проєкції векторів $rot \bar{H}$ і $\bar{\delta}$ відповідно на координатні осі x , y і z . Розглянемо далі

співвідношення $rot_z \bar{H} = \frac{\oint \bar{H} d\bar{l}}{\Delta s_z}$, яке випливає із наданого вище визначення

вектора $rot \bar{H}$ через $\oint \bar{H} d\bar{l}$, тобто через циркуляцію вектора \bar{H} уздовж заданого замкненого контура. Слід зауважити, що це співвідношення виконується тоді, коли контур інтегрування у $\oint \bar{H} d\bar{l}$ обмежує достатньо малу площу Δs_z у площині xoy , де $z = 0$. Домовимось відносно того, що така мала площа надана у вигляді площі прямокутника (рис. 2.6), який міститься у площині xoy зворотної прямокутної системи координат xuz , і обмежена прямокутним контуром $m-n-p-q$ з визначеним на ньому стрілочками позитивним напрямком обходу. Якщо позначити через H_x і H_y значення проєкцій вектора \bar{H} на вісь x і на вісь y у точці m , то проєкції на ці осі у точках n , p і q набуватимуть відповідних значень:

$$H_x + \frac{\partial H_x}{\partial x} dx \quad \text{і} \quad H_y + \frac{\partial H_y}{\partial x} dx \quad \text{у точці } n,$$

$$H_x + \frac{\partial H_x}{\partial y} dy + \frac{\partial H_x}{\partial x} dx \quad \text{і} \quad H_y + \frac{\partial H_y}{\partial y} dy + \frac{\partial H_y}{\partial x} dx \quad \text{у точці } p,$$

$$H_x + \frac{\partial H_x}{\partial y} dy \quad \text{і} \quad H_y + \frac{\partial H_y}{\partial y} dy \quad \text{у точці } q.$$

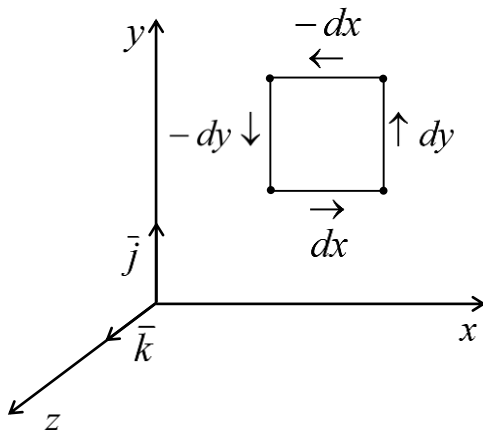


Рис.2.6

Використаємо ці формули для складання циркуляції вектора \bar{H} , як суми відповідних цієї циркуляції інтегралів по відрізках mn , np , pq і qm . При цьому в інтегралах по відрізках mn і pq залишаються лише “іксові” складові вектора \bar{H} , (оскільки “ігрекові” складові цього вектора перпендикулярні елементу шляху інтегрування dx), а в інтегралах по відрізках np і qm треба залишати лише “ігрекові” складові вектора \bar{H} (оскільки “іксові” складові цього вектора перпендикулярні елементу шляху інтегрування dy).

У зв’язку з цим і з достатньо малими названими відрізками інтегрування, яке випливає з того, що площа даного на рис. 10.15 прямокутника є замалою,

можна вважати, що вираз $\frac{H_x + \left(H_x + \frac{\partial H_x}{\partial x} dx\right)}{2} dx = \left(H_x + \frac{1}{2} \frac{\partial H_x}{\partial x} dx\right) dx$ для добутку середнього значення проекції H_x вектора \bar{H} на довжину dx шляху вздовж відрізка mn дорівнює складовій $\oint \bar{H} d\bar{l}$ на відрізку mn .

Аналогічним чином можна отримати вираз:

$$\frac{\left(H_y + \frac{\partial H_y}{\partial x} dx\right) + \left(H_y + \frac{\partial H_y}{\partial x} dx + \frac{\partial H_y}{\partial y} dy\right)}{2} dx = \left(H_y + \frac{\partial H_y}{\partial x} dx + \frac{1}{2} \frac{\partial H_y}{\partial y} dy\right) dy$$

для складової $\oint \bar{H} d\bar{l}$ на відрізку np , а також вираз:

$$\frac{\left(H_x + \frac{\partial H_x}{\partial y} dy\right) + \left(H_x + \frac{\partial H_x}{\partial y} dy + \frac{\partial H_x}{\partial x} dx\right)}{2} (-dx) = \left(H_x + \frac{\partial H_x}{\partial y} dy + \frac{1}{2} \frac{\partial H_x}{\partial x} dx\right) \cdot (-dx)$$

для складової $\oint \bar{H} d\bar{l}$ на відрізку pq і вираз:

$$\frac{H_y + \left(H_y + \frac{\partial H_y}{\partial y} dy\right)}{2} (-dy) = \left(H_y + \frac{1}{2} \frac{\partial H_y}{\partial y} dy\right) (-dx)$$

для складової $\oint \bar{H} d\bar{l}$ на відрізку qm .

Якщо додати всі ці складові шуканої циркуляції вектора \bar{H} і поділити отриманий додатак на величину $\Delta sz = dsz = dx dy$ елементарної площинки, що міститься у площині xoy , отримаємо співвідношення для «зетової» проекції вектора $rot \bar{H}$:

$$rot_z \bar{H} = \frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} = \delta_z.$$

Аналогічним способом отримаємо і співвідношення:

$$rot_x = \frac{\partial H_z}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial z} = \delta_x$$

$$i \quad rot_y H = \frac{\partial H_x}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial x} = \delta_y.$$

Три останні формули можна поєднати у запису розкладу вектора $rot\bar{H}$ по ортам $\bar{i}, \bar{j}, \bar{k}$ декартової системи координат:

$$rot\bar{H} = \bar{i} \left(\frac{\partial H_z}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial z} \right) + \bar{j} \left(\frac{\partial H_x}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial x} \right) + \bar{k} \left(\frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} \right). \quad (2.6)$$

Неважко переконатися і в тому, що вираз (10.51) для вектора $rot\bar{H}$ можна отримати, розкриваючи визначник третього порядку, який знаходиться у правій частині співвідношення:

$$rot\bar{H} = \begin{vmatrix} \bar{i} & \bar{j} & \bar{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ H_x & H_y & H_z \end{vmatrix}.$$

Відповідні вирази для проєкцій $rot\bar{H}$ можна одержати у циліндричній і сферичній системах координат. Звернемо також увагу на зручність подання вектора $rot\bar{H}$ у вигляді векторного добутку оператора просторового диференціювання ∇ на вектор \bar{H} . У правильності співвідношення $rot\bar{H} = [\nabla\bar{H}]$ неважко переконатися шляхом безпосереднього векторного множення ∇ на \bar{H} .

2.2.4. Принцип безперервності магнітного потоку

Візьмемо до відома, що магнітний потік Φ є потоком вектора магнітної індукції \bar{B} через деяку незамкнену на себе поверхню S і задається виразом $\Phi = \int_S \bar{B} ds$ за допомогою поверхневого інтеграла, взятого у цій поверхні.

Якщо поверхня замкнена сама на себе, то потік, що її пронизує, прийнято задавати формулою:

$$\Phi = \oint \bar{B} ds.$$

При виконанні припущення відносно того, що магнітний потік, який увійшов усередину будь-якого об'єму, дорівнює магнітному потоку, що вийшов з того ж об'єму. Отримуємо співвідношення:

$$\oint \bar{B} ds = 0, \quad (2.7)$$

яке свідчить про те, що алгебраїчна сума потоків, що увійшли до об'єму і вийшли з нього, дорівнює нулю.

Останній вираз являє собою математичний запис принципу безперервності магнітного потоку в інтегральній формі.

Поділимо обидві частини (10.52) на об'єм V , що знаходиться усередині замкненої поверхні s , спрямуємо об'єм V до нуля і візьмемо межу отриманого відношення за умови, що V прямує до нуля:

$$\lim_{V \rightarrow 0} \frac{\oint \overline{B} ds}{V} = 0,$$

в результаті чого отримаємо співвідношення:

$$\operatorname{div} \overline{B} = 0. \quad (2.8)$$

Співвідношення (2.8) можна трактувати як диференціальну форму запису принципу безперервності магнітного потоку, яка справедлива для будь-якої точки магнітного поля. Отже, у будь-якій точці магнітного поля немає ні джерела, ні стоку ліній вектора магнітної індукції. Лінії вектора \overline{B} ніде не перериваються, вони є замкненими лініями.

Для сукупності точок, де $\overline{\delta} = 0$, і отже, де $\operatorname{rot} \overline{H} = 0$ магнітне поле можна розглядати як поле потенційне, тобто як поле, кожна точка якого має скалярний магнітний потенціал φ_m . Для таких областей можна прийняти:

$$\overline{H} = -\operatorname{grad} \varphi_m. \quad (2.9)$$

З того, що $\operatorname{div} \overline{B} = \operatorname{div} \mu \overline{H} = 0$, випливає, що при $\mu = \operatorname{const}$
 $\operatorname{div} \overline{H} = 0$.

В останній вираз підставимо $-\operatorname{grad} \varphi_m$ замість \overline{H} і одержимо $\operatorname{div} \operatorname{grad} \varphi_m = 0$. Цей результат приводе до висновку відносно того, що скалярний потенціал магнітного поля φ_m для областей, не зайнятих струмом, підкоряється рівнянню Лапласа:

$$\nabla^2 \varphi_m = 0. \quad (2.9)$$

2.2.5. Граничні умови

Подібно до того, як в електростатичному полі й у полі провідного середовища виконувалися певні граничні умови, у магнітному полі також мають місце свої граничні умови. Їх дві:

$$H_{1t} = H_{2t} \quad (2.10)$$

$$B_{1n} = B_{2n} \quad (2.11)$$

Умова (2.10) означає, що на межі розділу двох однорідних й ізотропних середовищ, різних у магнітному сенсі, рівні одна одній тангенціальні складові векторів напруженості магнітного поля.

Умова (2.11) свідчить про рівність нормальних складових векторів магнітних індукцій на межі розділу.

Умова (2) виводиться шляхом складання лінійного інтеграла $\oint \overline{H} dl$ по плоскому контурі $m-n-p-q$ (рис. 2.7) подібно до того, як у розділі електростатичного поля складається інтеграл $\oint \overline{E} dl = 0$. Сторони np і qm мізерні порівняно зі сторонами mn і pq . Довжину сторони mn і рівну їй за величиною довжину сторони pq позначимо dl . Тоді:

$$H_1 \sin \alpha_1 dl - H_2 \sin \alpha_2 dl = 0$$

$$H_1 \sin \alpha_1 = H_{1t} \quad H_2 \sin \alpha_2 = H_{2t},$$

$$\text{отже, } H_{1t} = H_{2t}.$$

Рівність нормальних складових векторів магнітної індукції впливає з принципу безперервності магнітного потоку:

$$\oint \overline{B} ds = 0.$$

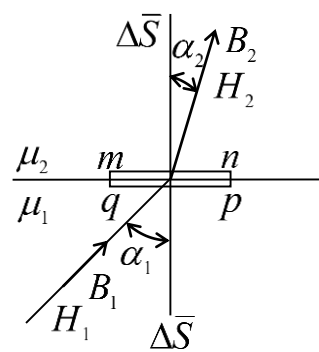


Рис. 2.7

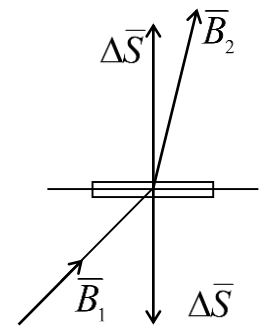


Рис. 2.8

Для того щоб переконатися в справедливості (2.10), виділимо на межі розділу невеликий плоский паралелепіпед і запишемо вирази для потоків вектора \overline{B} через його нижню грань (рис. 2.8) – $B_{1n} \Delta S$ і верхню грань $B_{2n} \Delta S$. Враховуючи далі, що сума потоків дорівнює нулю, тобто що $-B_{1n} \Delta S + B_{2n} \Delta S = 0$, отримуємо, що $B_{1n} = B_{2n}$. З (2.10) і (2.11) впливає

$$\text{співвідношення: } \frac{tq \alpha_1}{tq \alpha_2} = \frac{\mu_1}{\mu_2}.$$

Воно дає зв'язок між кутом падіння α_1 і кутом зламу α_2 .

2.2.6. Векторний потенціал магнітного поля

Для розрахунку магнітних полів широко використовується векторний потенціал магнітного поля. Його позначають \overline{A} . Це штучно введена векторна

величина, яка плавно змінюється від точки до точки, а також, що її ротор дорівнює магнітній індукції:

$$\overline{B} = \text{rot} \overline{A}. \quad (2.12)$$

Підставою для подання індукції у вигляді ротора від вектор – потенціалу слугує те, що дивергенція будь-якого ротора тотожно дорівнює нулю.

Відомо, що в магнітному полі $\text{div} \overline{B} = 0$. Підставимо в цю рівність $\text{rot} \overline{A}$ замість \overline{B} , отримаємо вираз, тотожно рівний нулю:

$$\text{div} \text{rot} \overline{A} = 0.$$

Якщо вектор – потенціал, як функція координат, буде відомий, то індукція в будь-якій точці поля визначиться шляхом узяття ротора від вектор – потенціалу відповідно до (2.12).

Таким чином, виникає завдання – скласти рівняння щодо вектор – потенціалу.

Помножимо обидві сторони (2.12) на магнітну проникність середовища μ , що дає:

$$\mu \text{rot} \overline{H} = \mu \overline{\delta}.$$

Умовимося, що будемо мати справу із середовищами, які можуть бути поділені на окремі області, а відтак магнітні проникності μ у кожній окремій області постійні. Якщо μ є сталою величиною, то його можна підвести під знак ротора, тому:

$$\text{rot} \mu \overline{H} = \text{rot} \overline{B} = \mu \overline{\delta}. \quad (2.13)$$

У (2.13) замість \overline{B} підставимо $\text{rot} \overline{A}$, отримаємо:

$$\text{rot} \text{rot} \overline{A} = \mu \overline{\delta}. \quad (2.14)$$

Операція взяття ротора від ротора є, по суті, операцією розкриття подвійного векторного добутку і виконується таким чином:

$$\text{rot} \text{rot} \overline{A} = \left[\nabla \left[\nabla \overline{A} \right] \right] = \text{grad} \text{div} \overline{A} - \nabla^2 \overline{A} = \mu \overline{\delta}. \quad (2.15)$$

обчислення об'ємного інтеграла (2.21), який потрібно брати по всіх областях, зайнятих струмом.

Магнітний потік, що пронизує будь-яку поверхню S , дорівнює:

$$\Phi = \int_S \overline{B} ds, \quad (2.22)$$

тому що $\overline{B} = \text{rot } \overline{A}$ то $\Phi = \int_S \text{rot } \overline{A} ds$.

На підставі теореми Стокса поверхневий інтеграл може бути перетворений у лінійний:

$$\int_S \text{rot } \overline{A} ds = \oint \overline{A} \cdot d\overline{l}. \quad (2.23)$$

$$\text{Таким чином, } \Phi = \oint \overline{A} d\overline{l}. \quad (2.24)$$

На підставі цього можна сказати, що для визначення магнітного потоку, який пронизує деяку площу S , необхідно підрахувати циркуляцію вектора потенціалу по замкненому контуру, на який спирається поверхня S .

Визначення потоку по (2.23) часто має переваги порівняно з визначенням потоку через магнітну індукцію по (2.24). Річ у тім, що співвідношенням (2.24) можна скористатися тільки в тому випадку, коли відоме значення \overline{B} в будь-якій точці поверхні S , тоді як для обчислення потоку за допомогою співвідношення (2.24) досить знати значення \overline{A} на контурі і нема необхідності знати \overline{A} в точках усередині контура.

Перехід від $\int_S \text{rot } \overline{A} ds$ до інтеграла $\oint \overline{A} d\overline{l}$ може бути пояснений у такий спосіб: розділимо площу S на елементарні площинки (рис. 2.9). Замінимо інтеграл сумою і під інтегралом замість $\text{rot } \overline{A}$ підставимо відповідно до визначення ротора $\oint \frac{\overline{A} d\overline{l}}{\Delta S}$ – (де межа опущена), тоді:

$$\int_S \text{rot } \overline{A} ds \approx \sum \oint \frac{\overline{A} d\overline{l}}{\Delta S} \Delta S \approx \sum \oint \overline{A} d\overline{l}.$$

Таким чином, для обчислення $\int_S \text{rot } \overline{A} ds$ необхідно знайти складові циркуляції вектора \overline{A} по контурах всіх елементарних площинок і потім знайти їх суму.

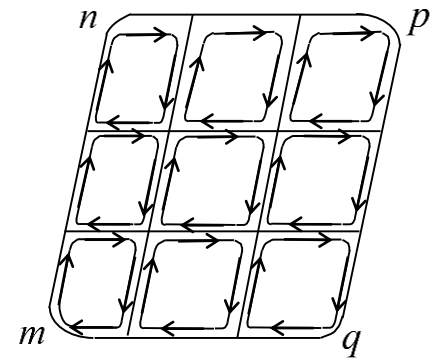


Рис. 2.9

Оскільки при складанні циркуляції обхід ділянок, що є суміжними між будь-якими двома сусідніми площинками, відбувається двічі і притім у протилежних напрямках, то складові циркуляції на всіх суміжних ділянках взаємно знищуються, і залишається циркуляція тільки по периферійному контуру $m-n-p-q$:

$$\sum \oint \bar{A} ds = \oint \bar{A} dl .$$

Векторний потенціал елемента струму

Визначимо величину і напрямок складової $d\bar{A}$ векторного потенціалу \bar{A} , створену струмом i , що протікає по елементу лінійного провідника довжиною dl . Нехай відстань від елемента струму до довільної точки простору буде позначено через R (рис. 2.9). Відповідно до загального виразу $A = \frac{\mu}{4\pi} \frac{\delta dV}{R}$, але $\bar{\delta} dV = \bar{\delta} ds dl = i dl$.

де ds – площа поперечного перерізу провідника.

$$\text{Отже, } \bar{A} = \frac{\mu}{4\pi} \frac{i dl}{R} .$$

Складова векторного потенціалу від елемента струму має такий самий напрямок у просторі, як і струм в елементі провідника.

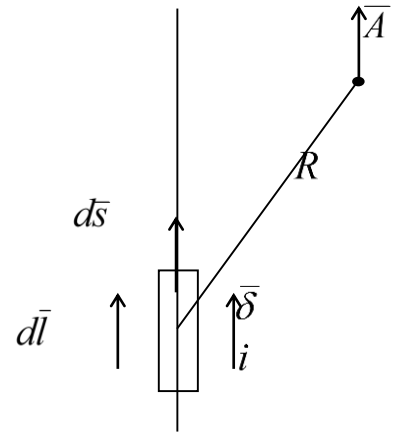


Рис. 2.9

РОЗДІЛ 3. ЕЛЕКТРИЧНА ЧАСТИНА АПАРАТІВ МАГНІТОТЕРАПІЇ. ПРИНЦИП РОБОТИ АПАРАТУ МС-92

3.1. Апарат для магнітотерапії МС-92М

Апарат для магнітної терапії - магнітостимулятор МС-92М, створений на кафедрі фізичної та біомедичної електроніки національного технічного університету України. Наведені описи функціональної і принципової схем приладу.

В даний час з-за надмірного застосування в різних галузях народного господарства хімічних речовин різко збільшилася алергізація і захворюваність населення. Використання в сучасній медицині великої кількості хіміопрепаратів посилило ці явища. Тому і виникла потреба у використанні безмедикаментозних засобів терапії, серед яких важливе місце займає терапія низькочастотним електричним і магнітним полями.

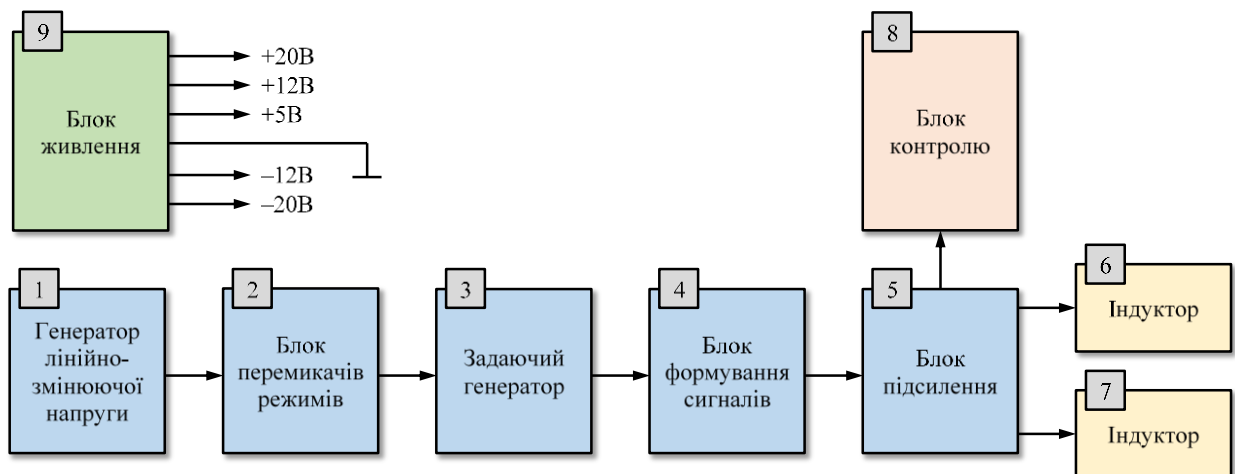


Рис. 1. Структурна схема.

Впливу магнітних полів ведуть до таких лікувальних ефектів, як протизапальний, противоотечний, знеболюючий і стимулюючий регенерацію тканини. Зокрема, магнітним полем лікують судинні захворювання, захворювання нервової системи, хвороби суглобів і хребта, травми та їх

наслідки, термічні ураження, а також використовують лікування магнітним полем в гінекології, дерматології, урології.

В даний час в країнах СНД серійно виробляється апарат «Полюс-1» [1], розроблений під ВНПМП. Апарат призначений для місцевого лікувального впливу односпрямованим низькочастотним змінним магнітним полем. «Полюс-1» має три види індукторів: з П-об-різним і прямим сердечниками і порожнинної індуктор. Лікування проводять за допомогою одного або двох змінних індукторів, що встановлюються поперечно або поздовжньо.

Регулюють магнітну інтенсивність 4 ступенями. Індукція магнітного поля (МП) 25...5 мТл. МП швидко згасає і на відстані 5 – 6 см від індуктора майже відсутнє. Апарат працює в безперервному і переривистому режимах.

Інший апарат – «Полюс-101» призначений для впливу змінним магнітним полем на кінцівки. Індуктори до нього виконані у вигляді двох соленоїдів. Один з них індуктує змінне магнітне поле частотою 700 Гц, інший частотою 1000 Гц. Максимальна індукція в центрі соленоїда становить 1,5 мТл, у внутрішніх його стінок – 2,5 мТл. На кожному наступному рівні індукція збільшується на 25%.

Р .П. Кікут і Д.К. Міллерс розробили пристрій для магнітотерапії, яке забезпечує багаторазову дію магнітного поля на тіло людини з високою точністю просторової орієнтації і можливістю контролю за станом пацієнта в процесі лікування [2].

В Японії створено апарат для магнітотерапії «Магни-ТАЙЗЕР». Інтенсивність генерується їм магнітного поля 50...80 мТл. Існує кілька моделей «Магнітайзера»: М-Р1 призначений для двоелектродної сеансів; М-МХ -матрац, що складається з трьох незалежних частин з двома електродами в кожній, електроподушкі і ручного переносного електроду; переносний прилад М-Р використовується для контакту електродів з будь-якою частиною тіла і призначений для стаціонарних і амбулаторних умов.

У Румунії для магнітотерапії використовують апарат «Магнітодіафлюкс», забезпечений двома індукторами-соленоїдами діаметром 30 і 60 см і забезпечує переривчастий режим магнітотерапевтичного впливу.

В Італії експлуатується апарат «Ронсфор», що складається з індуктора з програмним управлінням, кушетки для хворого і індуктора-соленоїда, що пересувається уздовж кушетки. Індукція магнітного поля 2,8 мТл.

В Україні створено зразок апарату «ПМ», що генерує магнітне поле від 2,5 до 10 мТл. Розроблено установка "УМТ-1" для створення магнітного поля 5...30 мТл і частоти 1...100 Гц; генератор імпульсного магнітного поля "Алимп-1" і "Звезди-3", індукція магнітного поля 0,05...2,5 мТл, частота проходження імпульсів 1...1000 Гц [3].

На кафедрі фізичної та біомедичної електроніки Національного технічного університету України КПІ розроблений новий апарат для магнітної терапії -магнітостимулятор "МС-92м". Він призначений для терапевтичного впливу на організм людини постійним і змінним магнітним полем індукцією 5...30 мТл. Прилад має два індуктора з діаметром робочої поверхні 36 мм.

Портативність і електробезпека приладу дозволяють лікувати хворих не тільки в умовах стаціонару, а й в амбулаторно-клінічних мережах, на дому.

Важливими параметрами серійних апаратів даного класу є, зокрема, максимальне значення індукції електромагнітного поля, споживана апаратом енергія, коефіцієнт корисної дії, маса і габаритні розміри, а також собівартість і продажна ціна виробів. Це визначає умови широкого впровадження апаратів в практичну медицину і їх конкурентоспроможність на ринку виробів медичної техніки.

3.2. Принципова схема

На рис.1 приведена функціональна схема магніто-стимулятора "МС-92М". Він складається з генератора лінійно-змінює напруги 1, блоку перемикачів режимів 2, що задає 3, блоку формування сигналів (БФС) 4, блоку посилення 5, індукторів I і II (6 і 7), блоку контролю 8, блоку живлення 9.

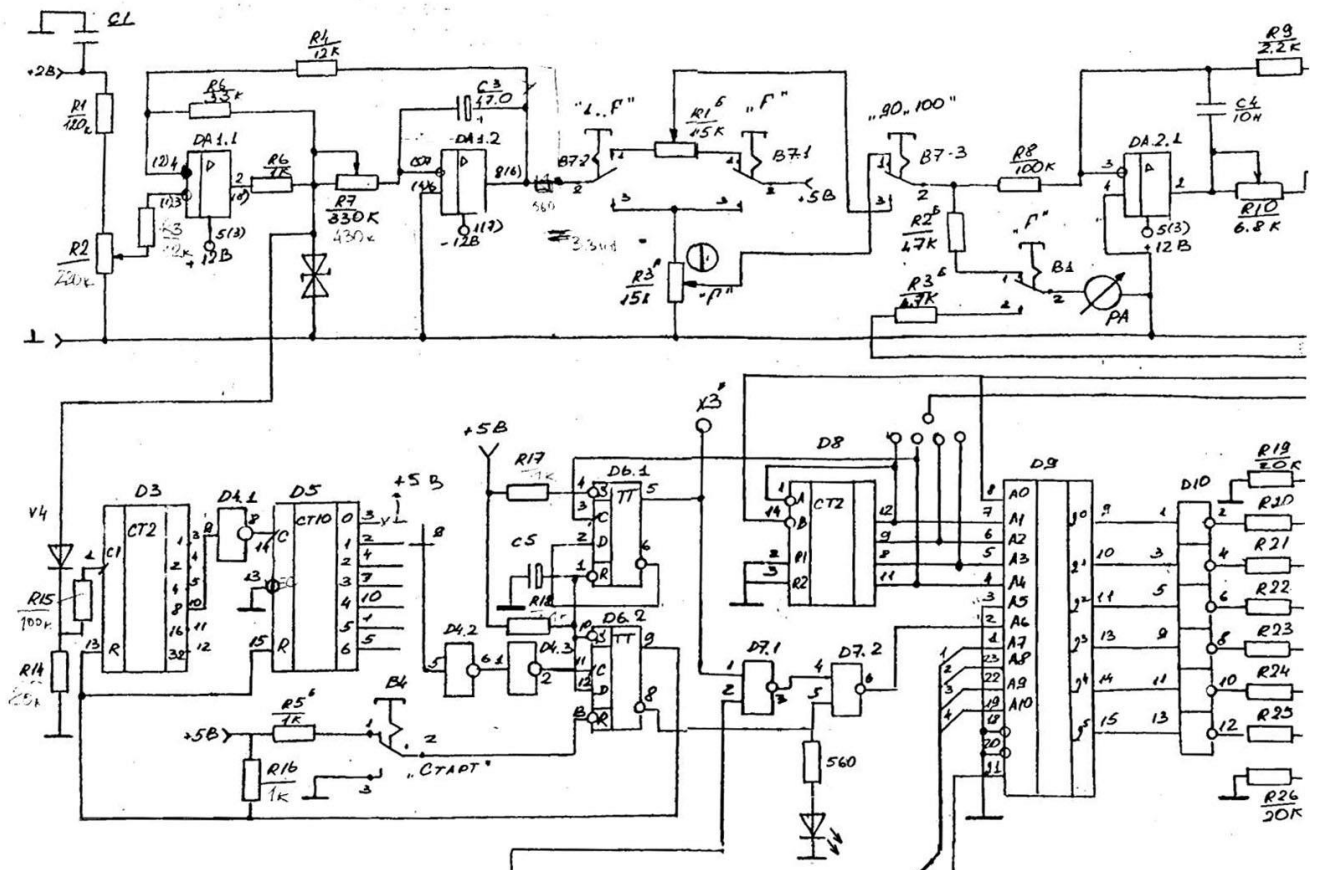


Рис. 2. Схема апарата для магнітотерапії МС-92М

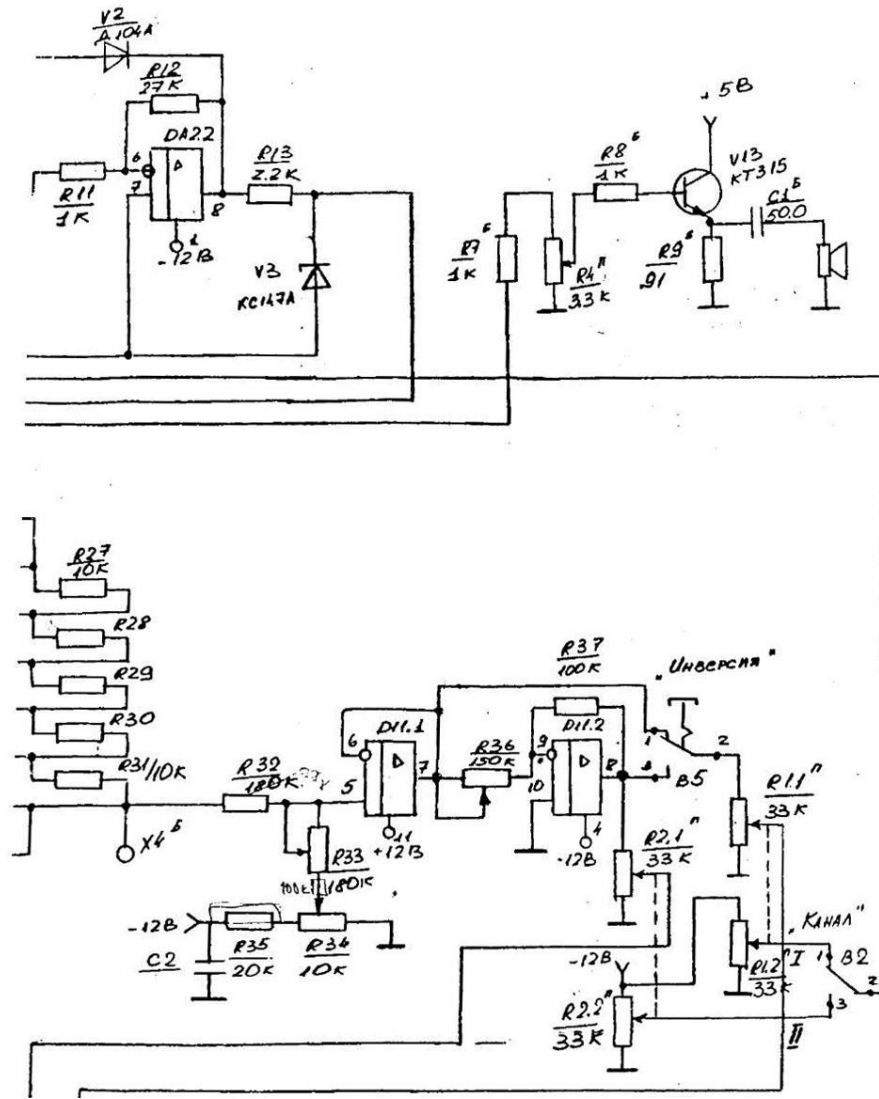


Рис. 3. Схема аппарата для магнитотерапии МС-92М (продолжение)

Після включення живлення генератор лінійно-змінює напруги виробляє періодичний сигнал трикутної форми з періодом проходження 20 с, який надходить на вхід блоку перемикачів режимів і далі на вхід генератора, що задає у вигляді сигналу управління частотою генерації.

Залежно від положення перемикачів режимів роботи задає генератор видає фіксовану частоту F , змінні частоти $1-F$ або 90100 Гц. Вихідні імпульси з генератора, що задає надходять в блок формування сигналів (БФС), який представляє собою ПІЗУ з ультрафіолетовим стиранням. У БФС в цифровій

формі закодовані 16 форм сигналів.

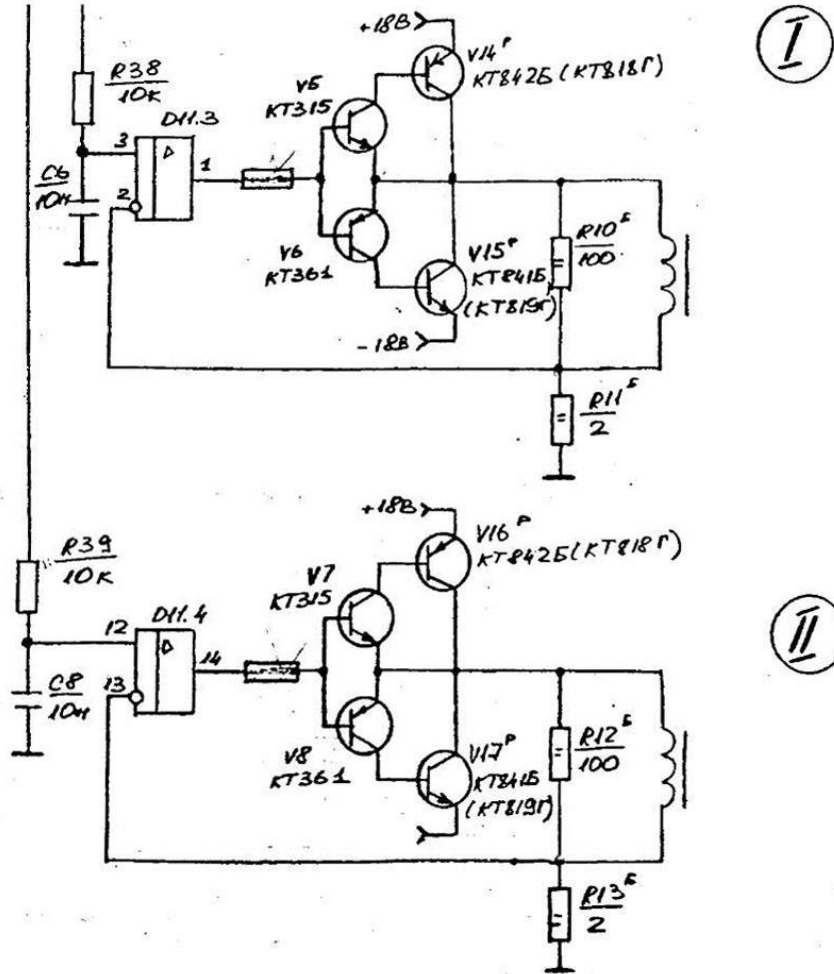


Рис. 4. Схема апарата для магнитотерапии МС-92М (продолжение)

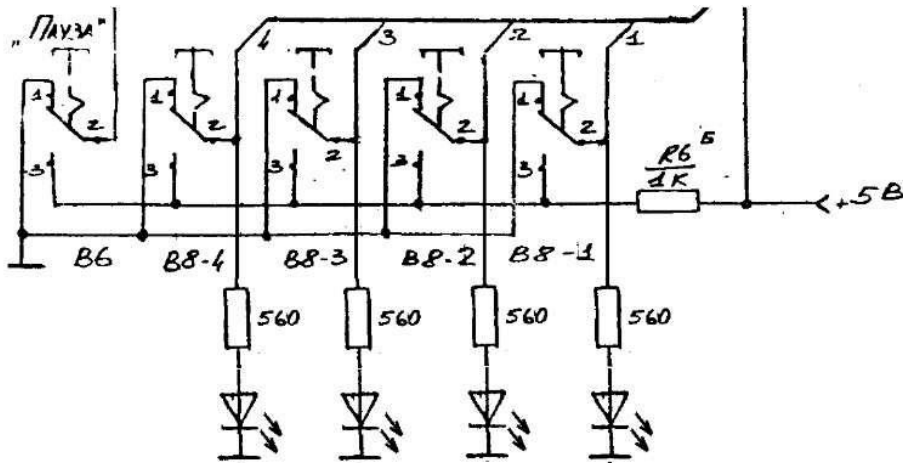


Рис. 5. Схема апарата для магнитотерапии МС-92М (продолжение)

Цифрові коди з ППЗУ надходять на цифроаналоговий перетворювач, на виході якого формується апроксимувати кусочно-постійною функцією аналоговий сигнал одного періоду вихідних імпульсів. Аналоговий сигнал з виходу БФС надходить в блок посилення, який підсилює ці сигнали по потужності з навантаженням на індуктори I і II (блоки 6 і 7), що перетворюють його в магнітне поле певної форми, частоти і індукції.

Блок контролю дозволяє візуально спостерігати за робочими параметрами частоти і індукції електромагнітного поля, які виробляються приладом в обох каналах. Для установки тривалості тієї чи іншої процедури прилад забезпечений таймером.

Генератор ленийо-змінює напруги (рис.2) побудований на операційному підсилювачі DA1. Резистором R2 можна регулювати рівень зміщення пилоподібного на напруги щодо нульового потенціалу, а змінним резистором R7 - період слідування.

Блок перемикання режимів являє собою набір дільників напруги, які включаються за допомогою перемикачів F (режим фіксованого частоти), 1-F (режим плаваючою регульованою частоти), 90-100 (режим плаваючою нерегульованою частоти).

Блок формування сигналів (рис.2) складається з циф-роаналогового перетворювача (схеми інверторів D10, набір прецизійних резисторів R19-R31), ППЗУ (D9), довічного лічильника (D8), тригера (D6.1), інверторів (D4.2, D4.3) і перемикачів «1» - «4», «Пауза».

Залежно від положення перемикачів «1» - «4» формується адреса, що визначає, з якої області пам'яті ППЗУ вибирається сигнал необхідної форми. При цьому двійковий код з лічильника D8 і частота з задає генератора надходять в ППЗУ і визначають поточну адресу осередків, в яких записані коди ординат зчитує сигналу. Коди сигналу з виходу ППЗУ перетворюються в аналогову форму цифроаналоговим перетворювачем і надходять в блок посилення.

Перемикач «Пауза», тригер D6.1 і інвертори D4.2, D4.3 задають режим, в якому вихідна частота необхідної форми сигналу зменшується в два рази, тобто після кожного сигналу обраної форми слід пауза тривалістю в один період сигналу.

Блок посилення (рис.2) складається з попереднього підсилювача (D11.1, D11.2) і двох ідентичних каналів вихідних підсилювачів потужності, які забезпечують управління робочими індукторами L1 і L2 (D11.3, V5, V6, V14, V15 і D11. 4, V7, V8, V16, V17). Перемикач «Інверсія» дає можливість перемикати полярність індуктора L1 і забезпечувати синфазний або протифазний режим по відношенню до індуктора L2. За допомогою здвоєних змінних резисторів R1.1, R1.2 і R2.1, R2.2 можна регулювати величини індукції в кожному з каналів незалежно.

Блок контролю 8 (рис.2) включає в себе міліамперметр РА, транзистор V13, динамік, перемикач «Канал 1», «Канал 2», «В», «F».

Перемикачі «F» і «B» забезпечують комутацію контрольованих значень частоти і індукції імпульсів електромагнітного поля по кожному з каналів. Динамік служить для звукової сигналізації роботи приладу для зручності обслуговуючого персоналу.

Таймер включає в себе тригер D6.2, двійковий лічильник D3, десятковий лічильник з дешифратором на виході D5, три інвертора (D4.1, D4.2, D4.3), перемикачі «Старт» і «Час процедури».

Перемикачем «Старт» тригер D6.2 встановлюється в стан лог. "0", дозволяючи роботу лічильників D3, D5. Сигнал з виходу генератора, побудованого на елементі DA1, подається на вхід двійкового лічильника D3.

Внаслідок цього кожні 2,5 хв на лічильник з дешифратором D5 через інвертор D4.1 надходить позитивний перепад, і на першому виході лічильника D5 через 5 хв встановлюється рівень лог.'Т, а на інших виходах - рівні лог. "0". Кожен наступний позитивний перепад на рахунковому вході зміщує рівень лог. «1» на наступний вихід, а на його місці встановлюється рівень лог. «0».

Так триває до тих пір, поки позитивний перепад з одного з виходів лічильника не надійде через перемикач «Час процедури» на рахунковий вхід тригера D6.2, який переключасться в стан лог. «1». Тим самим блокується робота лічильників D3, D5, і відбувається установка їх в вихідний нульовий стан.

Індуктори L1 і L2 (блоки 6 і 7, рис. 2) представляють собою виносні котушки, які через роз'єм з'єднані з виходами підсилювачів потужності і забезпечують індукцію електромагнітного поля від 0 до 30 мТл.

Проведений комплекс технічних і клінічних випробувань в фізіотерапевтичних відділеннях різних клінік дозволяє зробити висновок про високу ефективність магнітостимулятора при лікуванні широкого класу захворювань.

Відсутність побічних ефектів і протипоказань до використання магнітотерапії в клінічній практиці, низька вартість експлуатації апарату, відсутність витратних матеріалів, високий ступінь електробезпеки, відсутність безпосереднього контакту з тілом пацієнта і, отже, виключення можливості перенесення інфекцій обумовлюють широкі перспективи розвитку даного напрямку фізіотерапії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ємчик Л. Ф. Медична і біологічна фізика / Л.Ф. Ємчик, Я.М. Квіт. – Л.: Світ, 2003. – С. 269 – 290.
2. Жирмунская А. Е. Системы описания и классификация магнитоэнцефалограмм человека / А.Е. Жирмунская, В. С. Лосев. – М.: Наука, 2014. – С. 81.
3. Крейцер А. Г. Руководство по эксплуатации медицинских измерительных приборов / А. Г. Крейцер.– Ленинград: Медицина, 2010. – 304с.
5. Магнитоэнцефалография – новейший метод функционального картирования мозга человека / А. Н. Шестакова, А. В. Буторина, А. Е.Осадчий [и др.] // Эксперим. психол. – 2012. – Т. 5, № 2. – С. 119 – 134.
7. Мустецов М.П. Инженерные методы медикобиологических исследований: учеб.пособие / М. П. Мустецов, Т. А. Смердова. – 2-е изд. – Харьков, ХНУРЭ, 2014. – 248 с.
6. Наджафіан М. А. Комп'ютерні засоби мережі та системи / М.А. Наджафіан, В. Є. Васильєв, І. А. Чайковський // Техніка. – 2012. – № 11. – С. 58-66.
7. Посудін Ю. І. Фізика з основами біофізики: навч. посібник / Ю.І. Посудін. – К.: Світ, 2003. – 400 с.
8. Риженко Т. Програмно-технічний магнітокардіографічний комплекс для діагностики кардіологічних захворювань: матеріали 2-ї Міжнар.наук.-практ. конф. [Информационные технологии и кибернетика на службе здравоохранения] / Т. Риженко, І. Недейвода, В. Васильєв. – Дніпропетровськ. – 2004. – С. 136 – 138.
9. Улашик В .С. Введение в теоретические основы физической терапии / В.С. Улашик. – Минск: Наука и техника, 2011. – 238 с.
11. Федішин Я. І. Фізика з основами біофізики: навч. посіб./ Я.І. Федішин. – Львів: Світ, 2000. – 458 с.
12. Фізіологія: підручник для студ.вищ.мед.навч.закл. / В.Г.Шевчук, В.М. Мороз, С.М. Белан [та ін.]; за ред. В. Г. Шевчука, вид. 2, випр.з допов. – Вінниця: Нова книга, 2015. – 448 с.
13. Фолков Б. Кровообращение / Б. Фолков, Э. Нил. – М: Медицина, 2006. – 463 с.
15. Холодов Ю.А. Магнетизм в біології / Ю.А. Холодов. – М.: Медицина, 2010. – 96 с.
16. Sheila Kitchen. Electrotherapy: evidence-based practice / Sheila Kitchen, Sarah Bazin. – 2002. – 347 p.
14. Shtyrov Y. Automaticity and attentional control in – spoken language processing: neurophysiological evidence / Y. Shtyrov // Mental Lexion. – 2010. – Vol. 5. – P. 255-276.

15. Shtyrov Y. Rapid cortical plasticity underlying novel word learning / Y. Shtyrov, V. Nikulin, F. Pulvermuller // *J. of Neuroscience*. – 2010. – Vol. 30. – P. 16864 –16867.
16. Самосюк И. З., Фисенко Л. И., Чухраев Н. В., Ужов С. А., Шимко Г. Е. Электропунктурная диагностика. Вып. 1.- К.: АО Укрпрофздравница, 1997.- 206 16.с.
17. Применение искусственных магнитных полей в экспериментальной и клинической медицине. Ч. 1. Механизмы воздействия и ответные реакции живого организма.: Обзоры по электронной технике. Электроника СВЧ / Ю. М. Райгород-ский, В. Ф. Горяинов, Ю. А. Кудрин и др. – М.: ЦНИИ Электроника, 1987. Вып.4 (1249).
19. О возможности диагностики заболеваний у животных путем измерения собственного электромагнитного излучения тканей (радиотермометрия) / Косулина Н. Г., Чакина Н. А. // *Проблеми біоніки. – Збірник наукових праць. Випуск 51. – Харків: ХДТУР. –1999. – С. 80 – 83.*
20. Радиотермометрія в діагностиці стану сільськогосподарських тварин / Черенков А. Д., Балан Г. П., Косуліна Н. Г. // *Питання електрифікації сільського господарства. Збірник наукових праць. – Харків: ХДТУСГ. – 1999. – С. 80 – 82.*
21. Аналіз методів дослідження взаємодії електромагнітного поля (ЕМП) з біологічними об'єктами / Косуліна Н. Г // *Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. “Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України”.* – Харків: ХДТУСГ, 2003. – Вип. 19, Т. 1. – С. 202 – 212.
22. Використання мікрохвильових технологій у сільському господарстві / Косуліна Н. Г // *Праці. Таврійська державна агротехнічна академія. – Мелітополь: ТДАТА, 2003. – Вип. 15. – С. 141 – 148.*
23. Применение информационных электромагнитных полей в технологических процессах сельского хозяйства / Черенков А. Д., Косулина Н. Г. // *Світлотехніка та електроенергетика. Міжнародний науково-технічний журнал. Харківська національна академія міського господарства. – 2005. – №5. – С. 77 – 80.*
24. Низкоэнергетические электромагнитные технологии в растениеводстве / Косуліна Н. Г., Черенков А. Д. // *Світлотехніка та електроенергетика. Міжнародний науково-технічний журнал. Харківська національна академія міського господарства. – 2008. – № 4(16). – С. 80 –85.*
25. Биофизический анализ воздействия информационного электромагнитного поля на биологические объекты / Косуліна Н. Г // *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. – 2013. – Вип. 141. – С. 86 – 87.*
26. Analysis of processes of image formation of bio-objects based on gas discharge visualization. Natalia Kosulina, Maksym Sorokin, Yuri Handola, Stanislav Kosulin, Kostiantyn Korshunov, Mariia Chorna, Vitaly Sukhin / *SSRG-International Journal of Electrical and Electronics Engineering (SSRG)-IJEEE*",

Volume 11 Issue 4, 2024 by SSRG - IJEEE Journal, Year of Publication: 2024.
<https://www.internationaljournalssrg.org/IJEEE/paper-details?Id=687>.

DOI: [10.14445/23488379/IJEEE-V11I4P112](https://doi.org/10.14445/23488379/IJEEE-V11I4P112)

27. Analysis of characteristics of semi-disc leucosapphire resonator with electronic frequency tuning / *Аналіз характеристик напівдискового лейкосапфірового резонатора з електронним регулюванням частоти.* Kosulina, N.G., Chorna, M.O., Boroday, I.I., ..Avrunin, O.G., Semenets, V.V. *Telecommunications and Radio Engineering (English translation of Elektrosvyaz and Radiotekhnika)*, 2022, 81(6), pp. 1–14. *Volume 81, Issue 6, 2022, pp. 1-14*

DOI:10.1615/TelecomRadEng.2022037910

28. Kosulina, N., Sorokin, M., Handola, Y., Kosulin, S., & Korshunov, K. (2023). Forming an elliptical directional diagram of the sectoral horn antenna for flow irradiation of sugar beet seeds by electromagnetic field / *Формування еліптичної діаграми спрямованості секторіальної рупорної антени для потокового опромінення електромагнітним полем насіння цукрового буряка.* *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(5 (121), 26–37. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.273972>

29. Natalia Kosulina, Stanislav Kosulin, Kostiantyn Korshunov, Mykola Lysychenko, Maksym Sorokin, Yuri Handola, Huzenko Vitalii. Substantiation of Requirements to the Gas Discharge Visualization-Based Technical System for Studying Bio-objects / *Обоснование требований к технической системе для исследования биообъектов на основе газоразрядной визуализации, «SSRG International Journal of Electrical and Electronics Engineering»*, vol. 10, no. 2, pp. 132-142, 2023. Crossref, <https://doi.org/10.14445/23488379/IJEEE-V10I2P113>

30. Cell conductivity as a probability process of membrane electroporation. Проводимость клетки как вероятностный процесс электропорации мембраны / Shigimaga V. A., Kosulina N. G., Chorna M. A., Borodai I. I. *International periodic scientific journal MODERN SCIENTIFIC RESEARCHES*. No 16 (1). – P.71 – 84. DOI: 10.30889/2523-4692.2021-16-01-022. <https://www.modscires.pro/index.php/msr/issue/archive>

31. Automatic control and correction systems rations for animal feeding. The scientific heritage. (Budapest, Hungary) / Shigimaga V., Faizullin R., Kosulina N., Sukhin V., Korshunov K. The journal is registered and published in Hungary. VOL 1, No 78 (78) (2021). – P. 45 – 51. DOI: 10.24412/9215-0365-2021-78-1-45-50

32. Prospective aspects in the robotization development of animal husbandry processes / V. A. Shigimaga, N. G. Kosulina, M. O. Chorna, I. I. Borodaj // *Engineering of nature management*. – 2021. – N4(22). – p. 77 – 81. DOI: 10.37700/enm.2021.4(22).77

33. Расчет специализированной антенны для проведения биологических исследований / Н. Г. Косуліна, К. С. Коршунов // *Інженерія природокористування*, 2021, №4(22). – С. 99 – 103 DOI:0.37700/enm.2021.4(22).99

34. Аналіз електродинамічної моделі біологічно активної точки шкіряного покриву тварин / В. В. Гузенко, В. В. Семенець, Т. В. Носова, М. Л.

Лисиченко, Н. Г. Косуліна / Радіотехніка: Всеукр. міжвід. наук.-техн.зб. 2020. Вип. 201. С. 215 – 219.

35. Моделювання електронних імпульсних рефлектометрів на основі характеристик нелінійних функціоналів / В. В. Семенець, О. Г. Аврунін, О. Д. Черенков, Н. Г. Косуліна / Радіотехніка: Всеукр. міжвід. наук.-техн.зб. 2020. Вип. 201. С. 179 – 185.

36. Open system for measuring the chemiluminescence of crop seeds
[Aleksandr D. Cherenkov](#), [Natalia G. Kosulina](#), [Yaroslav I. Yaroslavskyy](#), [Nataliia V. Titova](#), [Zbigniew Omiotek](#), [Gauhar Borankulova](#), [Aigul Tungatarova](#). [Author Affiliations +Proceedings Volume 11581, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2020](#); 115810A (2020) <https://doi.org/10.1117/12.2580182>
 Event: Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2020, 2020, Wilga, Poland.
<https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/11581/115810A/Open-system-for-measuring-the-chemiluminescence-of-crop-seeds/10.1117/12.2580182.short> (СКОПУС)

37. Analysis of the influence of the internal noise of the frequency conversion system on the accuracy of measuring the dielectric permittivity of plant gas exchange / Kosulina N., Pirotti Y., Cherenkov A., Chorna M., Korshunov K. The scientific heritage (Budapest, Hungary), №51. – Vol 1. – 2020. – P. 58 – 63. венгрия

38. Justification of the parameters of the dielcometric system of plant gas exchange control. Kosulina N., Pirotti Y., Cherenkov A., Chorna M., Sapryka A. Osterreichisches Multiscience journal (Innsbruck, Austria). Vol 1, No 32(2020) – P. 61 – 66. Австрия

39. Kryvonosov V., Buhlal N., Boryakin A., Shaiko-Shaikovsky O., Kryvonosov V., Kosulin N. / Information system of non-invasional control and diagnosis of bone fracture in ankle osteosynthesis, №27 2021, International independent scientific journal VOL. 34

30. Cell Conductivity in Pulsed Electric Field as a Probabilistic Process of Membrane Electroporation / V. A. Shigimaga N. G. Kosulina M. A. Chorna S. V. Kosulin / New Frontiers in Physical Science Research Vol. 1, 1 September 2022, Page 72 – 91. <https://doi.org/10.9734/bpi/nfpsr/v1/3616A>, Published: 2022-09-01
<https://stm.bookpi.org/NFPSR-V1/article/view/8122>

ЗАВДАННЯ ДЛЯ ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ

1. Ознайомитися з явищем впливу постійним і змінним магнітним полем на біологічний об'єкт.
2. Ознайомитися з зовнішнім виглядом апаратів ДЛЯ МАГНІТНОЇ ТЕРАПІЇ та принципом їх роботи.
3. Ознайомитися з конструкцією та роботою апаратів ДЛЯ МАГНІТНОЇ ТЕРАПІЇ (Апарат імпульсної низькочастотної магнітотерапії АЛІМп-1, Полус-1, Магнітостимулятор МС-92М).
4. Зробити порівняльну характеристику розглянутих апаратів та сучасних апаратів .
5. Зробити висновок по роботі.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. За рахунок яких фізичних явищ утворюється магнітне поле?
2. Які прилади генерують магнітні поля?
3. Які вчені внесли вклад в дослідження магнітних явищ?
4. Основні величини, які характеризують магнітні поля?
5. Основні явища та формули, які характеризують магнітне поле.
6. Яка біологічна дія впливу магнітного поля.
7. Технічна характеристика Апарату АЛІМП-1.
8. Призначення та принцип дії апарату АЛІМП-1.
9. Технічна характеристика Полюс-1.
10. Призначення та принцип дії Полюс-1.
11. Технічна характеристика Магнітостимулятор МС-92М.
12. Призначення та принцип дії Магнітостимулятор МС-92М.
13. Які сучасні прилади випускає промисловість?

СИСТЕМИ БІОМЕДИЧНОЇ РЕАБІЛІТАЦІЇ БІООБ'ЄКТІВ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ
ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ на тему:
«ВИКОРИСТАННЯ АПАРАТІВ ДЛЯ МАГНІТОТЕРАПІЇ ТА АНАЛІЗУ
ВПЛИВУ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ОРГАНІЗМ ЛЮДИНИ»

для студентів першого рівня вищої освіти «бакалавр»
спеціальності 163 «Біомедична інженерія»
освітньо-професійної програми «Біомедична інженерія» денної або заочної
форми навчання

Укладачі уклад. Косуліна Н. Г., Шигимага В. О., Чорна М. О., Сухін В. В.,
Ляшенко Г. А., Коршунов К. С.

План 2024 р.

Підп. до друку 02.11.2024 р. Формат 60×84^{1/16}. Папір офсет.

Друк. цифровий. Гарнитура Bookman Old Style. Ум. друк. лист. 2.

Наклад 50 прим. Зам. № 11/02/2024.