

Міністерство освіти, науки, молоді і спорту України
Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя

*Кафедра
біотехнічних систем*

Введення в спеціальність

"Біотехнічні та медичні апарати і системи"

(навчальний посібник)

**для студентів
за професійним спрямуванням 6.0509
"Радіоелектронні апарати"**

Тернопіль 2012

Навчальний посібник "Введення в спеціальність"
написаний у відповідності з навчальним планом
спеціальності 7.050902 "Біотехнічні та медичні апарати і системи".

Укладач: проф. Яворський Б.І.

Рецензенти:

проф. Злепко С.М., Вінницький національний технічний університет
проф. Драган Я.П., Національний університет "Львівська політехніка"

Відповідальний за випуск:

зав. каф. "Біотехнічних систем" ТДТУ імені Івана Пулюя Яворський Б.І.

Робоча програма

дисципліни "Введення в спеціальність"

затверджена на засіданні кафедри "Біотехнічних систем"

протокол № ... від " " 20 ... р.

Віддруковано у

Кількість примірників:

Підписано до друку . .200 р.

© Яворський Богдан Іванович

Цей посібник є відредагованим та доповненим конспектом лекцій для студентів спеціальності 7.050902 — "Біомедичні апарати та системи" за професійним спрямуванням 6.0509 "Радіоелектронні апарати" Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, виданого у 2000 році малим підприємством "Тайп".

Автор дякує всім, насамперед студентам, хто подав зауваження, доповнення, поради до цього видання.

Посібник орієнтований не лише на студентів, але і на школярів, вчителів середніх загальноосвітніх шкіл та позашкільних установ, викладачів вищих навчальних закладів з суміжних дисциплін та факультетів, а також працівників, що зайняті у сфері трудових ресурсів і інших відомств

ВСТУП

На початку 60-х років ХХ ст. слово «інженер» (*ingenium* — талант, природний дар, *лат.*) отримало префікс "біо-" (**βίος** — живе, *грец.*). Нове слово означило інженерів, які працювали у галузі створення і застосування біомедичної техніки, розвитку якої, перш за все, посприяли досягнення в електроніці.

За ініціативою Володимира Зворикіна (який у 1912 р. закінчив Петербурзький політехнічний інститут, «батька американського телебачення»; винахідником сучасної системи телебачення є Борис Грабовський — син відомого поета Павла Грабовського, патенти № 16733 та № 5592 від 1928 р.) у 1952 р. була створена професійна група з медичної електроніки Інституту радіоінженерів США (IEEE). Він став також засновником і президентом Міжнародної федерації медичної і біологічної техніки; вчений був глибоко впевнений у тому, що електроніка здатна значною мірою покращити медичне діагностування. Коли в 1962 р. групі почесних членів IEEE (з нагоди його 50-річчя) запропонували думкою перенестись ще на 50 років уперед і описати досягнення в галузі радіоелектроніки за період 1963-2012 рр., то шість членів із 55 прогноз присвятили перспективам застосування електроніки у біології та медицині. Хоча прогнози річ невдячна, але у даному випадку можна констатувати, що сьогоднішній стан розвитку біомедичної техніки (БМТ) дає всі підстави сподіватися, що вони здійснюються.

У зв'язку з інтенсивним розвитком біомедичної електронної техніки питанням підготовки інженерів у цій галузі у США стала приділятися значна увага. Формувалися спеціальні програми підготовки біоінженерів, створювалися відповідні кафедри і коледжі з метою постійного поповнення промисловості та системи охорони здоров'я бакалаврами із спеціальною підготовкою як в інженерній справі, так і в біології.

На сьогодні фахівці з вищою освітою в області електронної біомедичної техніки готуються в університетах усіх континентів.

На теренах СРСР перша кафедра електронно-медичної апаратури була створена у 1962 р. з ініціативи академіка А.І. Берга в Ленінградському електротехнічному інституті (ЛЕТІ, пізніше кафедра біомедичної електроніки та охорони середовища) Фактично, підготовку біоінженерів у колишньому СРСР започатковано у ЛЕТІ. У 1991 р. підготовку цих спеціалістів, крім ЛЕТІ, проводили шість вузів Росії, що розташовані в Москві (чотири), Томську і Ставрополі, а також Грузинський технічний університет і Ферганський політехнічний інститут (Узбекистан).

Підготовка біоінженерів у цих вузах здійснювалась за спеціальністю 1905-«Біотехнічні і медичні апарати та системи». Поєднання теоретичних знань у галузі точних наук, практичного інженерного досвіду зі знанням основ біофізики, анатомії, фізіології і психології людини давало максимальний ефект у діяльності фахівця як на підприємствах медичної промисловості, так і в системі охорони здоров'я і наукових досліджень. У процесі навчання ці спеціалісти отримують глибокі знання фізичних методів дослідження біологічних об'єктів і принципів побудови електронної медичної техніки, відбору та обробки біомедичної

інформації, застосування кібернетичних методів та обчислювальної техніки у біологічних та медичних дослідженнях, синтезу біотехнічних систем різного призначення тощо.

В Україні підготовка біоінженерів почалася у 1980 р. у Харківському інституті радіоелектроніки (тепер — Харківський національний університет радіоелектроніки). Через десять років у Тернопільському приладобудівному інституті (тепер — Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя) було зроблено перший набір студентів, а у Львівському політехнічному інституті було введено спеціалізацію при підготовці радіоінженерів (а з 1993 р. почалась безпосередня підготовка) з вказаної спеціальності. У 1992 р. прийом студентів для навчання за цим фахом почав тодішній Харківський авіаційний інститут.

У подальші роки в Україні спостерігалася значна тенденція до збільшення кількості спеціалістів з біомедичної техніки. Зауважимо, що аналогічна ситуація складається і в Росії. Ця тенденція обумовлена поступовим усвідомленням важливості та перспективності розвитку технічних засобів оснащення системи охорони здоров'я і збільшенням випуску серійної та освоєнням нової медичної техніки, особливо підприємствами. При розгляді перспектив підготовки біоінженерів в Україні, враховано, по-перше, загальний стан і проблеми розвитку біомедичної електронної техніки і, по-друге, особливості її економіки, ринкових відносин, інтеграції зі світовою системою підготовки фахівців.

В Україні встановлено десятки базових (бакалавр) напрямків вищої освіти, в основу затвердженої класифікації яких покладено Міжнародну стандартну класифікацію освіти (International Standard Classification of Education — ISCED). Новий перелік спеціальностей в умовах багатоступеневої підготовки забезпечує її наскрізність: рівень молодшого спеціаліста та робітничі професії являються складовою частиною відповідного рівня фахівця через визначений напрямок освітньо-професійного рівня бакалавра. Перелік та кваліфікаційні рівні робітничих професій розробляються Міністерством праці України на базі міжнародної стандартної класифікації професій (International Standard Classification of Occupation — ISCO).

Підготовка фахівців різного рівня кваліфікації в галузі БМТ відповідно до ступеневої системи освіти здійснюється таким чином. Базовий (бакалаврський) напрямок «Електронні апарати» (Bachelor of Science in Electron Devices) за спеціальностями «Конструювання і технологія електронних обчислювальних засобів», «Конструювання і технологія радіоелектронних засобів» «Біотехнічні та медичні апарати і системи»; техніків (молодших спеціалістів) за спеціальностями «Виробництво електронно-обчислювальної техніки», «Радіо апаратобудування», «Монтаж, технічне обслуговування і ремонт медичної техніки», «Виробництво біомедичних електронних приладів»; робітників за професіями: градувальник радіоапаратури; намотувальник котушок; оператор автоматичної лінії підготовки і пайки електрорадіоелементів на друкованих платах; слюсар-механік радіоелектронної апаратури; контролер, монтажник, регулювальник і слюсар-складальник радіоелектронної апаратури і приладів; полірувальник і складальник хірургічних інструментів та апаратів, електромеханік по ремонту і

обслуговуванню медичного обладнання, медичного рентгенівського обладнання, наркозодихальної електронної медичної апаратури тощо.

1. РОЛЬ ТЕХНІКИ У ЖИТТІ ЛЮДИНИ

Для далеких предків людини питання про час і спосіб виникнення первісної техніки (пристосувань, знарядь, що полегшують виконання певної роботи — добування вогню, повалення дерев, обробка землі і т.п.) просто не існувало. Властивість творити і, зокрема, придумувати засоби виробництва приписувалася виключно богам. Відтворені у міфах уявлення людей про оточуючий світ доносять до нас крізь тисячоліття епічні розповіді про те, як боги змилювалися над людиною і створили перші знаряддя праці. Так найдавніші письмові згадки про богів-творців техніки сягають кінця IV — початку III тисячоліття до Р.Х. Їх залишили перші і в історії людства будівельники міст і поселень — древні шумери. Вони вважали, що такі головні технічні засоби як плуг, мотика і форма для цегли були створені “владикою землі”, владикою Світового океану і прісних підземних вод — богом Енкі. Він навчив людей споруджувати канали, розводити сади, городи, культурні рослини. А один з головних шумерських богів Енліль дав людині зерно для сівби і винайшов колесо. Древні греки донесли до нас міф про Прометея, котрий, вражений беспорядністю, беззахисністю людей перед природними стихіями, пройнявся глибоким співчуттям до їх страждань і вкрав з Олімпу божественний вогонь, щоб подарувати його людям. Той же Прометей навчив людей будувати кораблі, житлові і культові споруди, виготовляти техніку.

Трохи згодом люди почали висловлювати думку щодо не божественного походження техніки. Вже в I столітті до н.е. римський поет і філософ Тит Лукрецій в поемі “Про природу речей” стверджував, що виготовляти і застосовувати техніку людей навчила нужда, а не боги. Примушені існувати в суворих природних умовах, люди застосовували перші засоби праці (рис. 1). Ті, що не вдавалися до таких кроків, були приречені на вимирання.

Палеонтологи стверджують, що техніка (штучно, цілеспрямовано створювані засоби для полегшення діяльності людини, від грецьких **ΤΕΧΝΙΚΗ** — штука, мистецтво та **ΤΕΚΤΩ** — будівничий, столяр, а також латинського *texere*, що означає одягати) могла виникнути лише після того, як пітекантропи навчилися використовувати в якості знаряддя праці природні матеріали, спочатку випадково, а потім свідомо і систематично. Роги, зуби тварин, великі кістки, палиці були першою зброєю і знаряддям праці, але такі підручні засоби не були технікою. Головною відмінністю технічних засобів від підручних є їх придумування і виготовлення. Питання: хто перший створив технічні засоби — мавпоподібний предок людини, чи сама людина, подібне до питання про курку і яйце, оскільки наявність одного передбачає існування іншого. Той, хто винайшов перші технічні засоби і був першою людиною (рис. 1).



(а)



(б)



(в)

Рис. 1. Виготовлення та застосування кремнієвої сокири (а — обробка поверхні; б — шліфувана кремнієва сокира, ранній неоліт, Франція; в — два лісоруби зрубують дерево діаметром 20 см за 3 хвилини. Робота виконується при розчищенні полів та для одержання будівельних матеріалів)

Вміння придумувати, створювати і використовувати техніку — така ж ознака людини, як пряма хода, спроможність мислити, розмовляти, жити соціумом і колективно працювати. Іншими словами, людина, техніка, мова, суспільство і колективна праця виникли як наслідок одного процесу — поступового формування людини.

Демонструють спроможність до складних дій і багато тварин. Бобри — споруджують загати, греблі, високий рівень злагодженості дій спостерігаємо у бджіл та мурах, майстерно ліплять свої гнізда птахи. Однак, всі ці дії є **інстинктивними**. Діючи рефлекторно, вони не створюють нічого нового, а лише повторюють дії, запрограмовані природою для кожного виду. Тому гніздо птаха певного виду виглядає так само, як і тисячоліття тому.

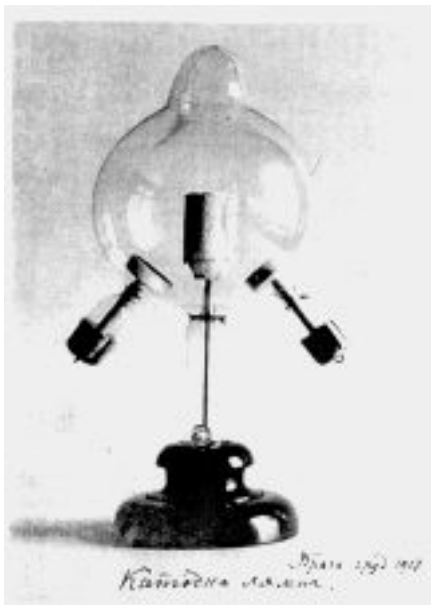
На відміну від тварин, людина для своїх потреб використовує знаряддя праці — своєрідні продовження рук, які в багато разів підвищують її можливості. При цьому людина діє **свідомо**: наперед визначає **мету**, обмірковує **спосіб і засоби її досягнення**, добирає необхідний **матеріал**, складає **послідовність дій і операцій**. Іншими словами, ще до початку практичної діяльності, людина

подумки складає проект свого витвору, а проектування — це вже творчість, свідоме вироблення того, чого в природі ще не існувало. На такі дії не спроможна жодна інша істота.

Світ сучасної техніки не менш складний і різноманітний, ніж природний. Але, на відміну від природного, цей багатогранний світ людина створила своїми руками для своїх життєвих потреб, і тривало це протягом усієї історії людства. Вже найдревніші люди (австралопітеки) вмiли виготовляти найпростіші (технічні) засоби і обробляти матеріали. Поступово з розвитком техніки змінювалася і сама людина.

Якщо змалювати історію людства у вигляді дороги, на якій одному міліметру шляху відповідатиме один рік, то весь час від моменту появи техніки (створення перших кам'яних знарядь) до нинішнього часу вкладеться приблизно в три кілометри. Землеробство, тваринництво, керамічний посуд, вироби з міді і бронзи, писемність з'являться лише на останніх десяти метрах цього шляху. Великі гробниці фараонів — єгипетські піраміди, металургія, залізна сокира фігуруватимуть приблизно на кількох останніх метрах до кінцевого пункту — нинішнього часу. Падіння Римської імперії і початок Середньовіччя знаходиться на відстані півтора метри до нинішньої позначки, а книгодрукування — трохи більше півметра. На відстані чверті — патент на винахід парового двигуна. Далі — стрімкий розвиток машинобудування і таких фундаментальних наук як математика, фізика, хімія.

В короткому відрізку довжиною в один дециметр вмістилися такі події як відкриття електрона Дж. Томпсоном (1897 р.), винахід електричної лампочки А. Едісоном, розробка конструкції “катодної лампи” І. Пулюєм (рис. 2).



(a)



(б)

Рис. 2. Світлина “катодної лампи” (а) конструкції Івана Пулюя (б) з його підписом. (І. Пулюй — талановитий фізик кінця XIX ст., уродженець с. Гримайлів Тернопільської обл.)

До цього ж відрізка часу належать винаходи радіолампи Лі-де-Форестом (рис. 3а), радіоприймача Г. Марконі, напівпровідникового тріода У. Шоклі-

У. Братейна-Дж. Бардіна (рис. 3б), інтегральних твердотільних мікросхем Дамером-Кілбі (рис. 3в), одноелектронного транзистора Г. Агмеда (1993 р.).

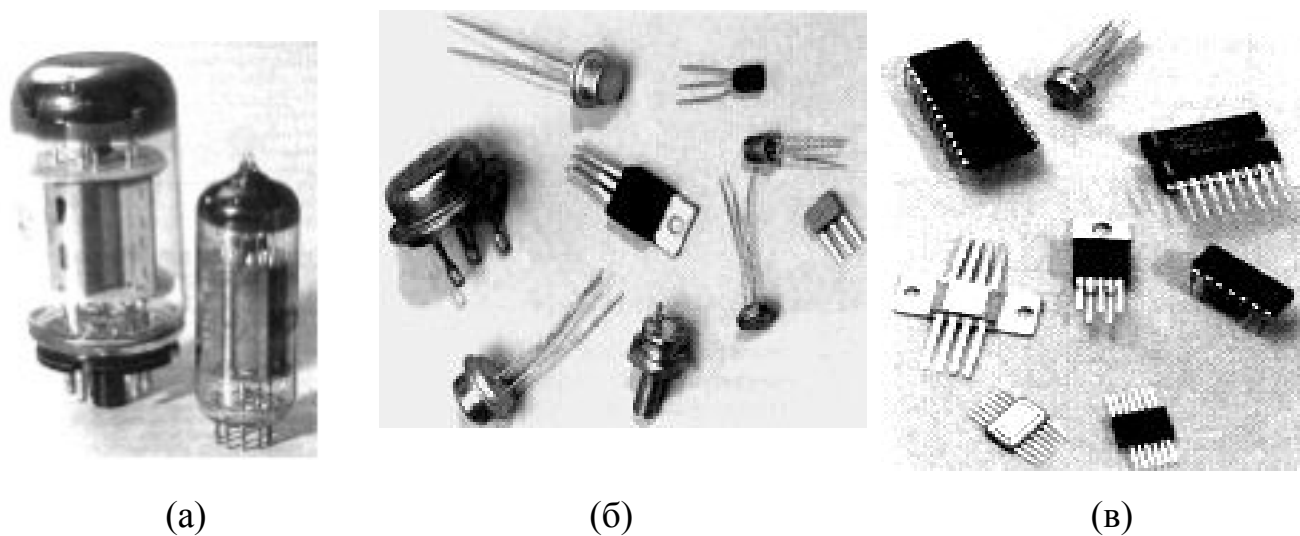


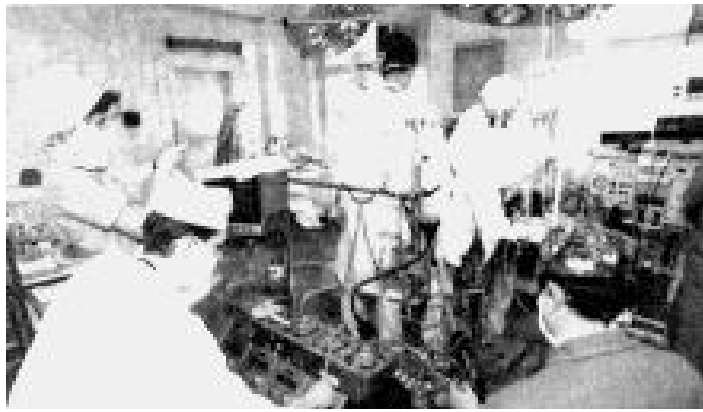
Рис. 3. Сучасні радіолампи — максимальний розмір до 6 см (а), різні види транзисторів — максимальний розмір до 1,5 см (б), інтегральні мікросхеми в різних корпусах — максимальний розмір до 3 см, містять більше 100 000 транзисторних структур (в)

Якщо ж долучити до цього списку створення відеокасет та компакт-дисків, персональних комп'ютерів, комп'ютерних процесорів (мікросхем) Pentium, всесвітньої комп'ютерної мережі Інтернет та інших сучасних технічних засобів, то доведеться скористатися міліметровою лінійкою. З наближенням до наших днів кількість технічних винаходів та відкриттів стрімко зростає, винаходи однієї галузі сприяють розвитку інших і т.д.

Роль техніки у сьогодиньньому житті людини важко навіть оцінити. Це стосується усіх аспектів нашого існування. Сучасна техніка не обминула жодної сфери людської діяльності, допомагаючи долати відстані (транспорт, зв'язок), облаштовувати життєвий простір (будівництво), оборонятися (оборонний комплекс), добувати і переробляти природні речовини у форми, придатні для вживання (добувна і переробна промисловість), прогнозувати економічні, соціальні, зміни, атмосферні, сейсмічні явища і т.д. В той час, коли нагромаджувалися винаходи у таких галузях як транспорт, зв'язок, добувна, переробна, оборонна промисловість, проблеми вирішувалися на рівні механіки (виграш в силі, часові, віддалі, потужності, можливостях формотворення і т.п.). Але засоби техніки сягнули і до підсилення інтелектуальних можливостей людини, коли необхідні були відбір, перетворення, передача, обробка, аналіз сигналів з метою одержання інформації задля підвищення ефективності певного виду діяльності. Ще цікавішими технічними засобами є біотехнічні системи — наприклад, штучні органи людини (рис. 4).



(а)



(б)



(в)

Рис. 4. Штучне серце (а) — Науково-дослідний інститут трансплантології і штучних органів, Росія; апарат штучного кровообігу (б), апарат “штучна нирка” — “Ренарт — 1000” (в) — завод “Авангард”, м. Саров, Росія

Сучасна медицина у багатьох випадках не в змозі без техніки проводити дослідження, збирати інформацію, встановлювати діагноз, проводити складні хірургічні операції та лікування. Варто лише перелічити такі всім відомі апарати як електрокардіограф — для роблення видимими (візуалізації) електропотенціалів серця, тепловізор — для візуалізації розподілу температури по тілу людини, енцефалограф — для дослідження електричних сигналів головного мозку, рентгенівський — для візуалізації щільних і м'яких тканин організму людини, ультразвуковий — для неінвазивного дослідження внутрішніх органів, томограф — для отримання зображення січень біооб'єктів без їх розтину, опромінювачі електромагнітною (з видимого діапазону — лазерні), ультразвуковою та іншою енергією. Усі вони орієнтовані на здійснення ефективної реабілітації, діагностування, лікування, профілактики.

Технічні засоби посідають важливе місце у процесах життєдіяльності людини. Вироблено спеціальний світогляд на проблему визначення цього місця. Вважається, що найкраще це зробити на базі системного (**συστημική** — окремі сутності, зібрані в одне ціле, *грец.*) погляду. З цієї позиції людина є складною системою, що існує в системі Світу. Задля цього вона, взаємно обмінюючись з середовищем енергією (**ενεργεια** — активність, *грец.*), речовиною, інформацією (**informare** — надавати форму, *лат.*, «знята» ентропія (**τροπή** — зміна, *грец.*)), створює умови потрібні для цього існування, вносячи потрібну певну

впорядкованість у Світ. Цей порядок потрібно підтримувати, що визначає характер, вигляд, зміст процесів життєдіяльності. Для гармонійного, ефективного, оптимального існування потрібно затрачувати мінімум енергії, речовини, запроваджувати процеси відтворення затрачених ресурсів. В цілому це називається «біосом» — життям. Навколишнє оточення людина сприймає за фізичними величинами йому властивими (змінна фізична величина називається сигналом). Технічні засоби використовуються для розв'язування перелічених проблем.

При розв'язанні проблем життєдіяльності все більшу роль відіграють радіоелектронні засоби техніки. Принцип їх роботи об'єднується такими базовими явищами — поведінкою заряджених частинок (електронів) та поширенням (випромінюванням, радіацією) електромагнітної енергії у середовищах (твердих тілах, газах, рідинах). Ці явища лежать в основі принципу роботи радіоелектронних засобів техніки — комп'ютерів, генераторів електромагнітних хвиль, їх підсилювачів, перетворювачів і т.п.

2. ЕЛЕКТРОННА ТЕХНІКА У МЕДИЦИНІ

Одна з основних тенденцій сучасної *медицини* (тлумачать це слово по різному, — як область діяльності людини, що пов'язана з діагностуванням стану, виявленням чи розпізнанням патологій, лікуванням, а також профілактикою чи реабілітацією організму, його систем та органів. Походження терміну іноземне: очевидно від грецького **μηδικ** — трава з певного роду рослин, якою, очевидно, лікували, чи латинського *medicus*, той, хто вивчав чи виконував лікування) — широке впровадження техніки — не тільки закономірне, але й необхідне, оскільки за допомогою сучасних технічних засобів лікар стає інтелектуально потужнішим, отримує нові засоби лікувального впливу, підсилює свої сенсорні можливості, все ближче підходить до оптимального керування процесами, які відбуваються в організмі людини під час лікування.

При накопиченні знань про природу і підвищенні складності задач, що вирішувалися за допомогою техніки, у межах останньої почався процес її диференціації і поглибленої спеціалізації. Таким чином виникла біомедична техніка (БМТ), завданням якої є застосування технічних наук і технологій для практичного вирішення медичних проблем. Відзначимо, що БМТ охоплює всі аспекти застосування технологій до живих систем. Це галузь техніки, що постійно розвивається, тому межі її впливу та взаємодії з іншими технічними дисциплінами на сьогоднішній день визначені досить приблизно. БМТ впливає на всі галузі медицини завдяки великому арсеналу методів та апаратних засобів.

Впровадження техніки у саму сферу життя і медицину сприяє підготовці інженерів з біомедичної техніки, які мають всебічні знання з техніки, біології та суміжних з ними галузей науки. Тепер інженерами (незалежно від спеціальності) називають осіб, які отримали спеціальну технічну освіту.

Біомедична техніка забезпечує ефективність одного з важливих видів життєдіяльності — охорони здоров'я: **профілактики** (запобігання) захворювань, їх **діагностики** (розпізнавання), **лікування**, **реабілітації** (відновлення) втрачених

чи пошкоджених функцій. При цьому знаходять застосування різноманітні технічні засоби.

Розрізнити (класифікувати) засоби медтехніки можна за видами енергії, яка з цими засобами пов'язана (механічні — кінетична та потенціальна енергія; теплотехнічні — теплова; гідравліка, пневматика — запасена енергія у пружних середовищах; електричні — енергія електричного, магнітного полів). Виділяються такі аспекти використання технічних засобів (техніки). **Енергетичний аспект** — для переведення речовини з одного фазового стану в інший з метою отримання нових фізичних чи хімічних властивостей, творення форми і т. п. Здебільшого це машини, апарати для переміщення, зміни траєкторії руху, виграшу в силі. **Інформативний аспект** — для відбору, перетворення, опрацювання сигналів з метою отримання, відбору інформації, яку вони переносять.

Ефективність, оптимальність життєдіяльності досягається керуванням, стабілізацією, відповідних її процесів шляхом слідкування за ними і запровадження зворотних зв'язків та впливів. На рис. 5 наведено загальну блок-схему біомедичної діяльності. Роль технічних засобів видно з цієї схеми. Це — «підсилення» інтелектуальних та функціональних властивостей людини під час опрацювання інформації, створення впливу енергією потрібного виду у потрібному місці, певної тривалості і т. п.

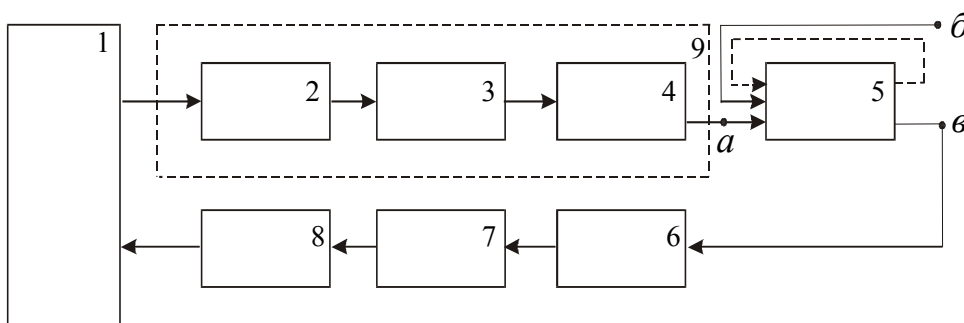


Рис. 5. Типова схема біомедичної діяльності (1 — біооб'єкт; 2 — відбір, перетворення даних; 3 — передача даних; 4 — обробка, візуалізація; 5 — лікар, оператор; 6 — перетворення реакції оператора, лікаря у сигнал; 7 — передача; 8 — перетворення сигналу у вплив; 9 — інформаційно-вимірювальна система; а — канали сприйняття інформації; б — інформація з експертної системи, консиліуму; в — канал реакції оператора; пунктиром показано зворотний зв'язок)

Кожна біотехнічна система чи апарат, що використовують у медичній практиці, складає один з функціональних блоків, зображених на рис. 5. Переважно потік даних у таких схемах має напрямок зліва направо. Головною відмінністю біотехнічних систем від усіх інших є те, що джерелом сигналів є біооб'єкт (1, рис. 5) — **клітина, тканина, орган, медична система, організм**. Для біооб'єкту властивими є процеси обміну енергією, інформацією, речовиною з оточенням та відтворення собі подібних. У біотехнічних системах біооб'єкт в процесі біомедичної діяльності піддається впливові енергії або від нього відбирається **сигнал** — змінна фізична величина. Предметом уваги у біотехнічних системах є значення фізичної величини, її властивість чи стан. При цьому важливим є її доступність, оскільки це може бути як тиск крові всередині

судини, так і потенціал на поверхні тканини чи невидимі виділення енергії з поверхні тіла (наприклад, інфрачервоного випромінювання — тепла). Важливими фізичними величинами, що використовує медицина є біопотенціал, тиск, потік, переміщення (швидкість, прискорення, сила), імпеданс, температура, концентрація (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1

Основні фізичні величини носіїв сигналів

Метод виміру	Вимірювання параметру	Частотний діапазон сигналу, Гц	Стандартний давач чи метод.
Балістокардіографія (БКГ).	0 — 7 мГ	0 — 40	Акселерометр, тензордавач.
Тиск крові (артеріальний прямий, венозний), непрямий,	10 — 400 мм рт. ст.	0 — 50	Тензометр.
рН крові	6,8 — 7,8 рН од.	0 — 2	Спеціальний електрод.
Серцевий викид	4 — 25 л / хв.	0 — 20	Розчинний барвник, вимірник потоку.
Електрокардіографія	0,5 — 4 мВ	0,01 — 250	Нашкірні електроди.
Гальванічна реакція шкіри	1 — 500 кОм	0,01 — 1	Нашкірні електроди.
Гастроінтестинальний тиск	0 — 100 см	0 — 10	Манометр.
Фонокардіограф (ФКГ)	Динамічний діапазон 80 Дб, поріг близько 0,0001 Па	22 — 2800	Мікрофон.
Респіраторні функції. Пневмотахографія	0 — 600 л/хв.	0 — 40	Пневмотахограф диференціального тиску.
Об'єм	50 — 1000 мл/вдох	0,1 — 10	Методи описані вище.
Температура тіла	32 — 40 С; 90 — 104 F	0 — 0,1	Термістор, термопара.

Загалом, перетворювач (давач, чуйник, електрод; 2, рис. 5) перетворює одну форму енергії в іншу, зокрема, електричну. Перетворювач є посередником (інтерфейсом) з живим об'єктом. Він повинен якомога менше впливати на нього, бути мінімально інвазивним.

Звичайно, перетворювач неможливо прямо під'єднати до пристрою відображення (4, рис. 5). Необхідно енергію з його виходу передати на віддаль (3, рис. 5), перетворити у інший вид, погодивши його характеристики з наступними блоками. Часто сигнал з виходу піддають обробці, щоб виділити його корисну частину, компенсувати спотворення, яких він зазнав внаслідок перетворення чи передачі.

Остаточно отримаємо візуалізовану на екрані дисплею величину у вигляді, який сприймає людина-оператор (лікар; 5, рис. 5). Деякі з відомих форм візуалізації мають вигляд графіків, діаграм, часто динамічних, змінних у часі. Деколи візуальні сигнали супроводжують звуковими. Такі візуалізовані і

аудізовані сигнали порівнюють з еталоном чи якимось іншим способом судять про стан, вигляд і інші характеристики біооб'єкту, здійснюючи діагностичні чи інші маніпуляції. Відбір, передача, опрацювання, подання інформації людині виконується інформаційно-вимірною системою (9, рис. 5). Одержання інформації провадиться опрацюванням сигналів на базі алгоритмів, побудованих з врахуванням їх моделей (математичних об'єктів — формул, рівнянь, які описують ці сигнали). В цьому полягає інформаційний аспект застосування БМТ.

Біотехнічним системам властива наявність зворотного зв'язку, завдяки якому здійснюють лікувальний чи інший вплив на біооб'єкт (6-8, рис. 5). Як правило, цей вплив характерний видом енергії, що його втілює, часом та тривалістю її прикладання, характером просторових розмірів, інтенсивністю та її зміною у часі. Забезпечити з потрібною точністю, стабільністю ці характеристики та їх параметри можливо тільки за допомогою технічних засобів, в чому полягає енергетичний аспект їх застосування.

Конкретний вигляд реалізації тих чи інших блоків, зв'язків систем і апаратів може мати самі різноманітні форми (наприклад, радіо, телефонні, електронні та інші канали зв'язку; цифрова, спеціалізована, стандартна комп'ютерна техніка, аналогові обчислювально-моделюючі пристрої).

Енергетичний аспект БМТ. Найбільш поширеними медичними є хірургічні та лікувальні втручання до біооб'єкту. Медичні потреби вимагають досить складних їх характеристик. Надзвичайно великі можливості для цього дає лазерна техніка. Це пояснюється особливими властивостями лазерного випромінювання. Його природу вивчає квантова механіка. Саме на її законах ґрунтуються процеси, що відбуваються у лазерах, тому його і називають оптичним квантовим генератором. Три основних властивості, завдяки яким лазер завоював визнання полягають у тому, що по-перше, лазерне випромінювання має дуже високу концентрацію енергії випромінювання. Її величина залежить від потужності випромінювання і сягає іноді мільйонів градусів. По-друге, лазер випромінює енергію однієї частоти, на однаковій довжині хвилі. По-третє, лазерне випромінювання дуже стабільне. Електромагнітна хвиля, яку генерує лазер, поширюється на численні кілометри не змінюючи при цьому своїх характеристик. Її амплітуда, частота і фаза можуть залишатися постійними тривалий час. Ця властивість називається високою просторовою і часовою когерентністю. Всі три особливості лазерного випромінювання знайшли застосування в найрізноманітніших галузях техніки, зокрема у медицині лазер широко використовується як хірургічний інструмент. Світловий промінь, розтинаючи судини, одночасно “запаює” їх, запобігаючи кровотечі. Розтин, на відміну від скальпеля, тонкий і чистий, тому загальноновизнано, що лазер пошкоджує живу тканину менш травматично, аніж хірургічні інструменти, при цьому небезпека інфікування суттєво знижується. Більше того, за допомогою лазерного променя проводяться операції, які неможливо виконати іншими інструментами. В першу чергу це операції на оці. Лазерний “скальпель” — світловий промінь, сфокусований на сітківці (тонкому шарі світлочутливих клітин, що вистилають зсередини очне дно), вводять в око безпосередньо через зіницю. Змінюючи довжину імпульсу і його енергію, акуратно “приварюють”

відшаровану сітківку або відтинають уражені судини, не дозволяючи їм розростатися. Колір випромінювання грає у лазерній хірургії провідну роль. Наприклад кров пропускає червоний колір, а поглинає синій і зелений. Тому рубіновий або гелієво-неоновий лазер для “заварювання” судин не придатний. Але синій промінь аргонного лазера миттєво викличе згортання крові, і її згусток “закупорить” судину. Але червоний колір можна пропустити через сітку капілярів, сфокусувати на пухлині і зруйнувати її. Кровоносні судини при цьому залишаться неушкодженими.

На тілі людини є велика кількість (акупунктурних) точок, подразнюючи які можна стимулювати або гальмувати діяльність органів та систем. Колись китайська медицина практикувала введення голок в вищезгадані точки. Сьогодні цю роль успішно виконує лазерний промінь. На рис. 6 наведено лазерний перфоратор для безконтактного взяття проб крові.



Рис. 6. Лазерний перфоратор “Ермед-303”

Обчислення ж інтенсивності, потужності та усіх інших параметрів лазерного випромінювання, зарівно ж як керування його роботою виконується за допомогою електронної обчислювальної техніки.

Інформаційний аспект БМТ. Для всіх живих систем характерними є постійні зміни у просторі та часові фізичних величин (тиску, температури, електропровідності, потенціалу, лінійних розмірів і т.д.). Якщо ці зміни спостерігаються і є для нас інформативними, то їх називають сигналами. Сигнали є інформативними — несуть інформацію про живу систему. Для цього необхідно лише знати її структуру і вміти зіставити її зі структурою сигналу. Для відбору інформації слід поставити у відповідність сигналу числа, або, іншими словами — поміряти сигнал. Реальні сигнали є складними. Маючи певну мету, певні міркування чи досвід, можна вибрати модель сигналу (грубо — його спрощений варіант, але описаний математично коректно) і далі розглядати сигнал в рамках вибраної моделі. У цьому випадку сигнал описують параметрами (числами) та характеристиками (функціями), які властиві моделі. Тому виміри, направлені на отримання числової оцінки цих параметрів чи характеристик за їх

спостереженнями. Останні здійснюються з врахуванням властивостей вибраної моделі.

Століттями медики для діагнозу та досліджень відбирали інформацію, в основному, за допомогою своїх п'яти почуттів. Сьогодні з цією метою використовуються вимірні електроди, давачі, перетворювачі сигналів, різноманітні засоби передачі та зв'язку, процесори для обробки сигналів, запам'ятовуючі пристрої, дисплеї та монітори, комп'ютери та багато інших технічних засобів. З їх допомогою можна відібрати, перетворити зміни величин, що характеризують стан живої системи, передати їх на віддаль (часом значну), шляхом обробки по алгоритму, створеної з врахуванням моделі сигналу, виявити суттєві з них, оцінити кількісно їх параметри та характеристики, візуалізувати (відтворити на дисплеї) з метою отримання інформації і прийняття рішення про подальшу діяльність. В техніці такого роду інструмент називають інформаційно-вимірною системою (ІВС, чи ВІС). У медицині ІВС необхідні для діагнозу стану, слідкування за станом (моніторингу) чи дослідження живого об'єкту (організму, його функціональних систем, органу, тканин чи клітин). Очевидно, що точність вимірювань може бути різною — наприклад, для діагнозу достатньо знати лише наявність відхилення від норми та його приблизну величину, тоді як при дослідженнях суттєвим є значення вимірів та їх похибки.

Застосування ІВС (чи їх ідеології) у медицині є адекватною реакцією медиків на зростання кількості населення, його комунікабельності, змінами у біосфері, що пов'язано з діяльністю людини. Крім того, технічні засоби підвищують ефективність, гуманність методів профілактики, лікування та реабілітації.

Одним з прикладів ІВС є моніторна система. Вона забезпечує неперервний відбір фізіологічних параметрів від одного або декількох чоловік. Необхідну обробку і аналіз цих показників та відображення даних, а також утворення необхідних керуючих сигналів. Моніторні системи класифікуються як медичні інформаційно-вимірні (розімкнуті) системи. Вони є частиною біотехнічних систем оперативного управління станом людини.

Прототипом ІВС є оптичний мікроскоп, винайдений в 1673 р. голландським вченим Антоні ван Левенгуком (рис.7), що здійснило справжню революцію.

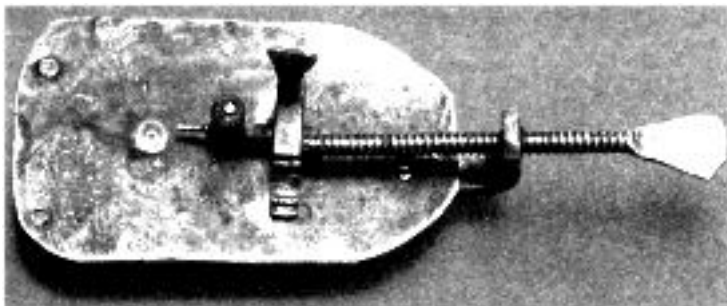


Рис. 7. Мікроскоп А. Левенгука

Завдяки мікроскопу стало можливим вивчення структур раніше невидимих оком. Перші мікроскопи досягали збільшення в сотні разів, даючи змогу побачити структуру деревини, металів, будову живої тканини. Пізніше з'явилися більш

складні і досконалі пристрої, але принцип роботи з часів Левенгука практично не змінився до сьогоднішніх днів, адже кожен мікроскоп використовує світлові промені і складається з трьох основних елементів: об'єктиву, окуляра і конденсора. Конденсор концентрує світловий потік, який покликаний яскраво освітлювати об'єкт дослідження. Перше збільшене зображення створюється об'єктивом, а друге — окуляром. Повне збільшення оптичного мікроскопа дорівнює добутку збільшень об'єктива і окуляра і досягає 3 тис. разів. В такій пристрій можна побачити частинку розміром біля 0,4 мікрметра (0,0004 мм). Ця межа носить назву роздільної спроможності, об'єкти менші за довжину світлової хвилі “не розрізняються”.

Нова сторінка в історії вивчення структури речовини розпочалася зі створення в 1930 р. електронного мікроскопа. Тоді вперше для прямого вивчення невидимих оком об'єктів була використана не світлова хвиля. Оскільки світло має хвилеву природу, а довжина цієї хвилі обмежує роздільну спроможність мікроскопів, то аналогом сучасного мікроскопа став пристрій, створений німецьким вченим М. Кнолем і Е. Руском. Пристрій складався з джерела пучка електронів (розпеченого електричним струмом катода), двох магнітних лінз, що фокусували цей пучок та екрану в фокусі другої лінзи. Першим було отримано зображення самого катода, який випускав електрони.

Сьогодні існує декілька різновидностей електронних мікроскопів; усі вони дають змогу отримати зображення об'єктів порядку тисячних і мільйонних міліметра (рис. 8).

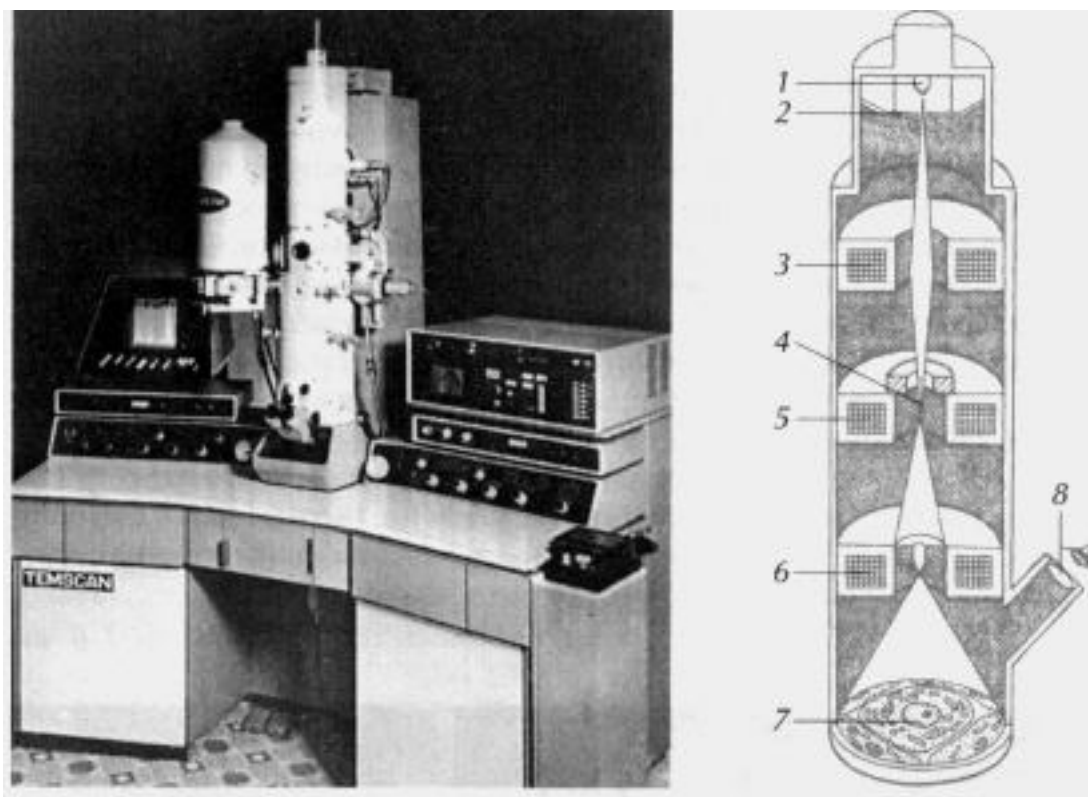


Рис. 8. Електронний мікроскоп (1 — катод; 2 — анод; 3 — конденсор; 4 — об'єкт, 5 — об'єктив; 6 — проектор; 7 — флуоресцентний екран; 8 — окуляр.)

Ці неймовірно малі величини вимірюються в мікронах. Широкого застосування набули просвічуючі електронні мікроскопи, растрові та автоемісійні, але, як визнають самі фахівці, найбільш молоде і перспективне покоління представляють скануючі зондові мікроскопи. Останні з них мають рекордну роздільну спроможність — менше 0,1 нм. За допомогою цього технічного засобу, що вимірює взаємодією між поверхнею і скануючим її мікроскопічним пристроєм — зондом, виводиться на екрані комп'ютера тривимірне зображення зондованого об'єкту. Методи зондової мікроскопії дають змогу не лише бачити атоми і молекули, а й діяти на них. При цьому, що особливо важливо, для вивчення об'єктів не обов'язково потрібен вакуум (що характерно для електронних мікроскопів).

В 1895 р. німецьким фізиком К. Рентгеном було запатентовано використання X-променів, які вільно проходили крізь шкіру, тканини, м'язи тіла, завдяки чому можна було одержувати зображення внутрішніх органів (конструкції ламп-джерел таких променів розробляв І. Пуллой і використовував їх для одержання фотографій кісток живих організмів та ін. ще до Рентгена). Відкриттям швидко скористалися медики, і по сьогоднішній день без рентгенівського апарату не може повноцінно існувати жодна клініка. Однак, рентгенівське проміння має шкідливий вплив на живий організм, тому часто користуватися ним було протипоказано. До того ж на знімку можна було одержати лише площинне зображення, “тінь” органу, та саме зображення залишало бажати кращого.

Комп'ютери дали змогу вдосконалити метод рентгенівської діагностики. На їх основі був створений новий прилад — томограф, вигляд якого наведено на рис. 9 (з грецького — **τομω** — шар і **ΥΡΦ** — пишу).



(а)



(б)

Рис. 9. X-променевий томограф (а — пульт керування, б — вигляд активної частини опромінювача томографа)

Об'єкт просвічують по чергову в багатьох (порядку 1 000 000) напрямках, одержані дані вводять в спеціальний обчислювач, який виробляє об'ємне зображення січення тіла чи окремого органу людини (рис. 10).

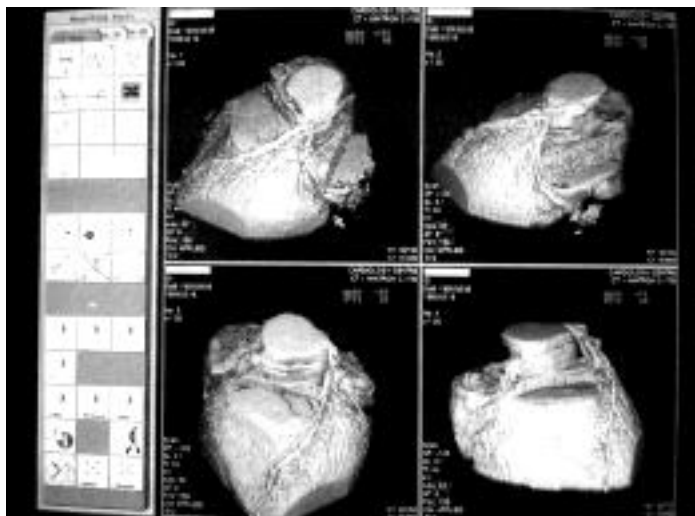


Рис. 10. Тривимірна реконструкція серця і коронарних судин

Обчислювальна техніка зберігає в своїй пам'яті томограми, які були одержані в різний час, вона може їх порівнювати між собою — при цьому комп'ютер може виділяти лише фрагменти, що зазнали змін, наприклад, новоутворення (пухлину, тріщину). Сучасні методи рентгенівської обчислювальної томографії характерні тим, що дають змогу в сотні разів зменшити інтенсивність просвічування. Однак, шкідливий вплив на організм X - променів все ж залишається. Тому у лікарській практиці застосовуються інші джерела енергії, наприклад, як у методі ультразвукової томографії.

Дослідження органів і тканин за допомогою ультразвуку досить безпечно і інформативне. З середини XX ст. цей метод широко застосовується у всьому світі. Існує величезна кількість різноманітних апаратів для ультразвукової діагностики (УЗД). Найдосконаліші з них — стаціонарні. Здебільшого це великі апарати з комплектом додаткового устаткування — відеокамери, принтери і т. ін. Існують і портативні, легко переносні апарати, що використовуються у віддалених куточках.

Ультразвук — пружні коливання середовища з високою частотою (понад 20 000 Гц). В УЗД застосовують частоти від 2 000 000 Гц (2 МГц) до 20 МГц, а для дослідження поверхневих і дрібних структур — від 7,5 до 20 МГц. Випромінювач складається з одного або кількох п'єзоелектричних елементів, які перетворюють акустичні і механічні коливання в електричні і навпаки. Його прикладають до поверхні шкіри, на яку попередньо наносять шар гелю, забезпечуючи тим самим акустичний контакт. Електричний сигнал, що подається на випромінювач, перетворюється ним в механічні коливання, які поширюються вглибину тканин. На межі тканин хвилі заломлюються чи відбиваються, створюючи сигнал, який повертається назад до давача. Там він знову перетворюється в електричний і після його обробки формується зображення внутрішніх органів пацієнта на екрані монітора. Ультразвуковий апарат,

відповідно з'єднаний з монітором — це вже ультразвуковий томограф. У багатьох випадках він успішно може замінити X-променеви́й томограф, але на відміну від останнього, не має шкідливого впливу на організм.

3. БІОМЕДИЧНІ СИГНАЛИ ТА ЇХ МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ

В основі роботи більшості БМТ лежить застосування біомедичних сигналів — зміни у просторі і часі фізичних величин (див. табл. 2.1), властивих біооб'єктові, якщо ці зміни є інформативними (містять дані, за якими можна скласти уяву про об'єкт або його стан).

Кожна фізична величина має свою назву. Назва фізичної величини утворюється за характерними їй ознаками (наприклад, струм — направлений рух електронів, одержав назву за аналогією зі струменем води, струмком.).

Окрім назви фізична величина має певне значення, яке виражається числом, і яке залежить від часу і простору (просторові координати). Власне, зміни значення можуть бути інформативними, якщо їм ми вміємо зіставити (порівнювати) значення відповідних їм інших фізичних величин.

Як правило, сигнали є складними — сумами, добутками чи іншими сумішами однорідних величин. Фізичні величини мають різну природу, можуть змінюватися в часі неперервно або дискретно, тому розглядають неперервні сигнали, дискретні, а часом ще й розрізняють їх за природою фізичної величини чи її походженням.

У застосуваннях часто необхідно здійснювати перетворення сигналу з одного виду в інший, з одної природи фізичної величини в іншу. Дуже часто використовують моделі сигналів: у вигляді величини цієї ж природи, але з іншими масштабами її зміни (фізичні моделі); у вигляді величини іншої природи, але з подібними змінами (аналогові моделі); у вигляді формули, яка описує зміни фізичної величини в часі і просторі чи у вигляді рівняння, з якого таку формулу отримаємо (математичні моделі). Останні моделі особливо корисні у дослідженнях, проектуванні і розрахунку біомедичної апаратури, проведенні машинних чи комп'ютерних експериментів, які забезпечують дослідження екстремальних ситуацій чи таких, що небезпечні для життя та здоров'я людини.

Сигнали, які описуються формулами називаються детермінованими. Іноді змінні у просторі і часі фізичні величини називають полем. Фізичні величини, властиві живому об'єкту, називають інколи біополем. Розглядають також не лише безпосередні зміни фізичної величини, а деякі характеристики чи перетворення цих змін в цілому.

Біомедична радіоелектронна апаратура має велику ефективність при її інформаційному застосуванні: для відбору, передачі, збереження, перетворення інформації. Функціонування біооб'єкту (живого об'єкту) супроводжується змінами різних фізичних величин нормального стану біооб'єкту, якому властиві певні діапазони цих змін і їх характер. Під час патологічних процесів (захворюваннях) характер цих змін та їх діапазон набувають іншого характеру. Це свідчить про те, що виявлення таких відмінностей дає змогу розпізнавати хвороби, тобто, ставити діагноз. Якщо подіяти певною тривалістю якоїсь природи

фізичної величини на хворий об'єкт, то можна спричинити появу зміни хвороботворних процесів або навіть припинити їх.

Таким чином, поняття сигналу та його моделей є основним при розробці радіоелектронної біомедичної апаратури. Сигнал є засобом переносу інформації, має матеріальну основу. Інформація відображена у сигналі відповідними значеннями його параметрів. При взаємодії фізичного поля і досліджуваного об'єкту, параметри поля змінюються відповідно до властивостей чи структури об'єкту. Після взаємодії з об'єктом фізичне поле стає сигналом, в якому відображені відомості про властивості об'єкта.

Коливання як абстракція ритміки біомедичних явищ [4]. В науковій літературі під коливанням розуміють зміну параметрів стану системи довільної природи, які мають більш або менш виражений регулярний характер. Коливання спостерігаються скрізь: і в природі, і у всіх областях техніки. Вони розрізняються за характером і ступенем повторюваності, швидкості зміни стану, механізму виникнення. Одним з видів коливань є хвилі, під якими розуміють зміни стану середовища (збурення), що несуть з собою енергію і поширюються в даному середовищі.

Наукове дослідження коливального руху почалося з часу встановлення Галілео Галілеєм ізохронності коливань маятника. В подальшому поглиблене вивчення закономірностей коливання фізичного маятника призвело до формулювання поняття математичного маятника як ідеалізованого представлення фізичного. Ще одним стимулом до вивчення коливань було конструювання маятникових, а згодом і пружинних годинників, основи якого були закладені Х. Гюйгенсом і Р. Гуком.

Починаючи з Жана-Батиста-Жозефа Фур'є, коливання описують періодичними функціями, що відповідають умові $f(t+T)=f(t)$ при всіх значеннях аргументу $t \in \mathfrak{R} \equiv (-\infty, \infty)$, і їх розкладам на гармонічні складові

$$f(t) = \sum_{k \in N_0} [a_k \cos(k\Omega t) + b_k \sin(k\Omega t)] \quad (5.1)$$

тобто представленнями у вигляді суперпозиції (накладення) різноманітних гармонійних складових з кратними основній частоті частотами коливань $\omega_k = k\Omega$, $k \in N_0$, $N_0 = \{0, 1, 2, \dots\}$, котра пов'язана з періодом T функції $f(t)$ виразом $\Omega = 2\pi / T$.

Найпростішим коливанням є гармонічне, що описується як зміни по закону синуса чи косинуса. Звичайне гармонічне коливання (від грецького **ὑάρμον** — узгодженість, стрункість) описують співвідношенням $x = a \sin(\omega t + \varphi)$, де x — миттєве значення змінної, a — амплітуда (від латинського **amplitudo** — обшир, просторість) як найбільше відхилення змінної, ω — циклічна частота, а φ — початкова фаза.

Наближено гармонічні коливання виконує маятник. Його ідеалізацією служить модель, яку історично називають математичним маятником. На матеріальну точку (модель реального важкого тіла з урахуванням його маси і без врахування інших властивостей), підвішену на невагомій нерозтяжній нитці і відхиленій від положення рівноваги на малий кут, діє спричинена гравітацією

сила f , пропорційна відхиленню x і спрямована до положення рівноваги: $f = -kx$. Тоді на підставі другого закону механіки Ньютона одержуємо рівняння

$$\dot{x} = -\frac{k}{m}x \equiv -\omega^2 x \quad (5.2)$$

рішення котрого має вигляд

$$x = A \cos(\omega t) + B(\omega t), \quad t \in \mathfrak{R}$$

Якщо тепер прийняти $A = D \sin \varphi$ і $B = D \cos \varphi$, де введені нові величини D і φ , визначені формулами

$$D \equiv \sqrt{A^2 + B^2};$$

$$\varphi \equiv \arctg(A/B) \quad (5.3)$$

то спільне рішення рівняння (2) з врахуванням того, що

$$A \cos(\omega t) + B \sin(\omega t) = D \sin \varphi \cos(\omega t) + D \cos \varphi \sin(\omega t) = D \sin(\omega t + \varphi),$$

матиме вигляд

$$x = D \sin(\omega t + \varphi) \quad (5.4)$$

Вираз (5.4), що описує коливання математичного маятника навколо його положення рівноваги, є найпростішою математичною інтерпретацією гармонічного коливання. Від фізичного маятника як механічної системи до теоретичного вивчення інших за своєю фізичною природою коливань, що лежать в основі вивчення звукових, електромагнітних, світлових та інших сигналів, вчені прийшли через спільне поняття осцилятора — джерела гармонічних коливань. Осцилятор був визначений як об'єкт, що породжує коливання безвідносно до їх фізичної природи. Абстрактна складна система, зміна характеристичних параметрів котрої в часі здійснюється в деякому визначеному нею фазовому просторі за законом (5.4), тобто під дією узагальненої гармонічної сили, називається осцилятором або точніше гармонічним осцилятором (від латинського **oscillo** — коливаюсь).

Якщо використати тригонометричну форму комплексного числа і її зв'язок з показовою $z = \rho \exp(i\varphi) = \rho(\cos \varphi + i \sin \varphi)$ і ввести комплексне число $C = (A - iB)/2$, $\operatorname{Re} C = A/2$ і $\operatorname{Im} C = -B/2$, то гармонічне коливання можна зобразити в так званій показовій (експоненціальній) або в комплексній формі

$$x = C \exp(i\omega t) + \bar{C} \exp(-i\omega t) \quad (5.5)$$

Риска зверху означає перехід до комплексно-спряженого числа Тому вираз (5.1) набуває вигляду:

$$x(t) = \sum_{k \in Z} c_k \exp(ik\Omega t), \quad t \in \mathfrak{R}, \quad \Omega = \frac{2\pi}{T} \quad (5.6)$$

Зауважимо, що в даній формулі сумування відбуватиметься по всім цілим числам Z , причому в загальному випадку $c_k = (A_k + i \operatorname{sgn} k B_k) / 2, k \in Z$.

Співвідношення (5.5) показує, що одне гармонічне коливання вигляду (5.4) еквівалентно сумі двох експонент. Геометричний смисл такого опису полягає в тому, що експоненти $\exp(i\omega t)$ зіставляють вектор комплексної площини. При зміні параметра $t \in \mathfrak{R}$ це буде «вектор, що обертається», а $\cos(\omega t)$ і $\sin(\omega t)$ — його проєкції на дійсну і уявну осі. Відповідно, рівномірно обертальний рух можна розкласти на взаємно перпендикулярні гармонічні коливання. Експонента описує обертання з постійним радіусом-вектором, а ряд Фур'є — розклад обертання зі змінним радіусом-вектором на суму взаємо-ортогональних гармонік з різними амплітудами і фазами.

Експоненціальна форма запису (5.6) зручна, зокрема, тим, що лінійні перетворення типу диференціювання, інтегрування і зсувів гармонічних коливань, а також їх лінійних комбінацій (з постійними числовими коефіцієнтами) змінюють лише амплітуди і фази, але не змінюють гармонічних коливань. Слід відзначити, що

$$(\exp(iax))^{(n)} \equiv \frac{d^n}{dx^n} \exp(iax) = (ia)^n \exp(iax);$$

$$\int \exp(iax) dx = \frac{1}{a} \exp(iax) + c;$$

$$\exp(ia[x+h]) = \exp(iax) \exp(iah).$$

Формально зсуви пов'язані з диференціюванням. З представлення функції рядом Тейлора

$$f(x+h) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{h^k}{k!} f^{(k)}(x)$$

випливає, що

$$S^h f(x) = \sum_{k \in N_0} \frac{h^k}{k!} \left(\frac{d}{dx} \right)^k f(x),$$

де S^h — означає зсув на h по осі x . Наведені факти прикрашають теорію коливань, а «краса теорії, стрункість невідворотно сприяють її популярності серед вчених».

Ідея осцилятора згодом розвинулася в двох напрямках. Один з них ґрунтується на побудові математичних моделей, що відображають самі загальні риси коливань. Спираючись на праці Жана-Батиста-Жосефа Фур'є,

припускається, що складне коливання можна представити у вигляді лінійної комбінації простих (гармонічних) коливань. Цей напрямок призвів до виникнення і поширення гармонічних розкладів і методів аналізу в самих різноманітних сферах науки і техніки.

Другий напрямок мав на меті дослідження механізмів породження коливань в складних системах. Які характеризуються суттєвою нелінійністю, синхронізацією функціонування окремих підсистем. Грунтуючись на працях Віто Вольтерри, воно призвело до формування особливої сфери досліджень — синергетики. Ці обидва напрямки тісно переплітаються в додатках до аналізу конкретних явищ.

Детальне вивчення причин виникнення коливань в складних системах (хімічних, біологічних, економічних) і вивчення закономірностей біогеліофізичних ритмів, що проявляються в більш або менш регулярній повторюваності їх властивостей у просторі і (або) часі, зумовили необхідність обліку випадковості параметрів коливань.

А. Шустером був запропонований метод періодограм-аналізу часових рядів, в котрих є одна або декілька періодично повторюваних складових і прихована випадковість типу флюктуацій. Цей метод не був строго обґрунтований, однак набув досить широкого поширення під час виявлення «прихованих періодичностей». На його основі в подальшому була розроблена адитивна модель стохастичної повторюваності — періодичний сигнал на фоні шуму.

Наступний крок в розвитку методів аналізу складних коливальних процесів був зроблений Н. Вінером, який строго довів, що спектр потужності (розклад потужності по гармоніках) процесу може бути одержаний через перетворення Фур'є кореляційної функції.

Цей метод одержав назву узагальненого гармонічного аналізу.

Виникнення і розвиток теорії випадкових процесів як математичної дисципліни поставило на строгу логічну основу дослідження складних коливань, в протіканні яких суттєву роль грає випадковість.

Ймовірнісний підхід до трактування гармонічного аналізу остаточно утвердився після появи праць А. Н. Колмогорова, в яких обґрунтовувалися необхідність і ефективність застосування спектральної теорії стаціонарних випадкових процесів для описання незатухаючих коливань з неперервним спектром. Для цього звичайні методи розкладів в ряди Фур'є періодичних і майже періодичних функцій і перетворення Фур'є, які традиційно використовуються для аналізу коливань, є принципово недостатніми. Вони дають опис коливань з дискретним спектром (з рівномірно віддаленими частотами гармонік або з довільно зростаючою послідовністю частот гармонік), а також незатухаючих сигналів типу окремих імпульсів з неперервним спектром і скінченною енергією.

Важливу роль в розумінні ритміки відіграли роботи Є. Є. Слуцького, який показав можливість породження коливання, близького до чистої гармоніки шляхом достатнього числа згладжувнь скільки завгодно нерегулярного коливання. З цих робіт випливає, що за допомогою операцій фільтрації навіть з білого шуму можна виділити вузькосмугове майже періодичне коливання, звичайно, з випадковою амплітудою і фазою, при цьому дисперсія цієї амплітуди

визначається інтенсивністю початкового білого шуму. Таким чином, близькі до регулярних коливання можуть бути наслідком взаємодії зовсім випадкових причин і реакції на них резонаторів і фільтрів з постійними параметрами. Підкреслимо, що в характеристиках стаціонарного випадкового процесу в силу їх однорідності не міститься нічого «коливального», тому вони можуть описувати лише коливання типу флюктуацій в системах, що знаходяться в усталеному режимі, і, відповідно, не можуть описувати суттєво коливальних процесів, а моделлю таких коливань повинні бути в загальному випадку нестационарні випадкові процеси, для яких важливо мати представлення через гармонічні складові. Саме з цієї точки зору важливою є ідея М. Лоева про введення поняття гармонізованості (тобто здатності розкладатися на гармоніки) нестационарного випадкового процесу.

Отже, будь-які зміни значень природних процесів можна розглядати як коливання.

Для вивчення закономірностей коливань доцільно використовувати розклади вихідних часових рядів на найпростіші гармонічні складові. Математичним апаратом, що використовують для цієї мети є гармонічний чи спектральний аналіз. В залежності від структури коливань для проведення аналізу необхідно вибрати відповідну математичну модель процесу у вигляді періодичної чи майже періодичної функції, стаціонарного чи нестационарного процесу.

В термінах цієї математичної моделі конкретизується метод аналізу натуральних даних і інтерпретуються результати аналізу.

4. ВІДБІР СИГНАЛІВ ТА ЇХ ОБРОБКА

Елементарним засобом електронної техніки є резистор — радіоелектронний елемент, основною характеристикою якого є електрична величина, що має назву опір (електричний опір). Значення опору резистора залежить від матеріалу, з якого він виготовлений, форми, у яку цей матеріал втілено. Так, опір дротини круглого перерізу рівний $R = \rho \frac{l}{S}$, де ρ — питомий опір, l — довжина дротини, S — площа її перерізу. Разом з тим, встановлено, що при протіканні струму через опір на ньому падає напруга $U = RI$ (закон Ома). Аналогічні співвідношення встановлюються для конденсатора — радіоелектронного елементу, основною характеристикою якого є ємність. Наприклад, для двох паралельних плоских пластинок ємність $C = \epsilon \epsilon_0 \frac{S}{d}$, де ϵ — діелектрична проникність середовища між пластинками провідника, S — площа пластинок, d — віддаль між пластинками, а напруга на конденсаторі $U_C(t) = \frac{1}{C} \int I(t) dt$, якщо струм змінюється у часі.

З'єднавши резистор і конденсатор, як зображено на рис. 11, одержимо елементарну електричну схему — RC -ланку.

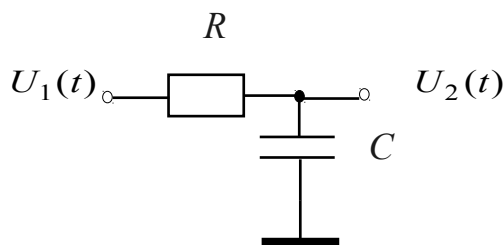


Рис. 11. Інтегратор напруги з пасивних радіоелементів

Якщо $U_1(t)$ змінна у часі напруга на виході давача-перетворювача, який відбирає фізичну величину (сигнал) від біооб'єкту, наприклад, температуру, то $U_2(t)$ буде опрацьованим сигналом. Знайдемо вигляд цієї обробки сигналу, описавши її рівнянням, яке зв'язує ці напруги, використавши закони Ома, Кірхгофа та формулу, яка зв'язує струм через конденсатор та напругу на ньому:

$$U_1(t) = RI(t) + \frac{1}{C} \int I(t) dt.$$

Спочатку

$$U_C(t) = U_2(t) = \frac{1}{C} \int \frac{U_1(t)}{R} dt = \frac{1}{RC} \int U_1(t) dt,$$

що означає пропорційність вихідної (обробленої) напруги інтегралу вхідної напруги. За означенням інтеграл є сумою (границею, до якої наближається сума у даному випадку значень напруг $U_1(nT_d)$, $n=1, 2, 3, \dots, T_d$ — інтервал часу, через який беруться відліки напруги). Тому його можна подати наступним чином

$$\hat{U}_2 = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N U_1(nT_d).$$

Звідси видно, що елементарна RC -ланка виконує обробку сигналу — операцію усереднення, згладжування, а також, що цю операцію можна виконувати обчисленнями, у дискретному вигляді, маючи окремі значення вхідної величини. Напевно при виконанні таким чином згладжування (обробки) виникає (інструментальна) похибка, що видно з наведених співвідношень. Методи визначення похибок, у тому числі й інструментальних, вивчаються метрологією — наукою про забезпечення точності та єдності результатів вимірювань, обробки (сигналів).

5. ПОНЯТТЯ ПРО ІНФОРМАЦІЮ

Сигнал є носієм інформації. Що таке інформація? Важко дати чітку відповідь на це питання через його повсякденну заангажованість. В повсякденному житті під цим словом ми розуміємо деяке повідомлення чи звістку про якусь подію чи факти, яких ми раніше не знали. Звістка про те, що людина хвора не несе ніякої інформації для людини, якщо вона вже хвора; людина не дізналася нічого нового для себе, отже, не одержала інформації. Дані ж про те, що, наприклад, завтра вона захворіє, набагато цінніші для людини, оскільки вона про це раніше не знала; тобто, можна сказати, що людина одержала певну

інформацію. Отже, очевидно, що інформація може бути доставлена лише «несподіваним» (не відомим нам раніше) повідомленням, адже, якби ми були попереджені про зміст повідомлення заздалегідь, то не одержали б з ним ніякої нової для нас інформації. При цьому цінність інформації в основному якраз і визначається «ступенем несподіваності». Інформація про те, що людина здорова тим цікавіша для нас, чим гірший стан здоров'я її був.

Ці приклади дають можливість зрозуміти, що поняття інформації тісно пов'язане з поняттям ймовірності (шансу) того чи іншого результату досліду, який можна представити як частоту появи якраз цього результату в довгій серії однотипних випробувань, а також з уявлення про такі поняття, як цінність, практичність, корисність інформації. Відомі означення інформації, які давали різні вчені.

Одним з перших дав формальне означення поняттю інформації Клод Шенон, чим поклав початок її теорії. Перша його стаття на цю тему вийшла в 1947-1948 роках. Вона містила основні для нової теорії поняття такі як ентропія та інформація і стосувалася проблем комунікації (зв'язку). Шенонівське означення кількості інформації справедливе лише для дослідів, в яких можна говорити про ймовірність того чи іншого результату, коли відомі всі їх можливі варіанти. Розглянемо такий приклад: деякий дослід α проводиться багато раз, у якого окремі результати мають відому стійкість, тобто при багаторазовому повторенні α повторюються приблизно з однаковою частотою. Частота результату A досліду α і називається ймовірністю цього результату і позначається $p(A)$ або просто p . Якщо результати A_1, A_2, \dots, A_k досліду α мають ймовірності p_1, p_2, \dots, p_k , то досліду α відповідає таблиця ймовірностей:

Таблиця 7.1

результати досліду	A_1	A_2	...	A_k
ймовірності	p_1	p_2	...	p_k

Очевидно, що

$$p_1 + p_2 + \dots + p_k = 1 \quad (7.1)$$

Якщо з великого числа N проведень досліду α при n_1 випадках мав місце результат A_1 ; при n_2 випадках — результат A_2 і т. д., то ймовірність результату A_2 — $\frac{n_2}{N}$ і т. д. Тоді для суми (7.1) одержимо:

$$\frac{n_1}{N} + \frac{n_2}{N} + \dots + \frac{n_k}{N} = \frac{n_1 + n_2 + \dots + n_k}{N} = 1$$

«Ступінь несподіваності» випадкової події визначається її ймовірністю: чим менша ймовірність, тим подія несподіваніша, а із вище наведених міркувань — цінніша, то очевидно, що інформація $I(A)$, одержана від випадкової події A є

функцією від p (ймовірності). При цьому із зменшенням p інформація зростає, при $p=1$ інформація рівна нулю (тобто, відомо точно, що дана подія відбудеться, що не містить в собі ніякої інформації). Якщо $p=0$, то подія не відбудеться.

Клод Шенон запропонував вимірювати інформацію $I(A)$, що містить випадкова подія A (результат дослід α) логарифмом величини $\frac{1}{p}$:

$$I(A) = \log \frac{1}{p} = -\log p$$

Але зрозуміло, що величина $I(A)$ сама по собі має мало цікавого. Дійсно, $I(A)$ — це кількість інформації, яку нам дає з'ясування того, що дослід α мав результат A . Але заздалегідь ми не знаємо, який саме результат буде мати дослід α (тому що якби ми це знали, то не одержали б вже ніякої інформації); з того моменту, як ми з'ясували, що дослід α мав результат A , то він перестає бути випадковим і більше вже не пов'язується з новою інформацією.

Важливими для характеристики дослід α слід рахувати неінформації $i(A_1)$, $i(A_2)$, ... $i(A_k)$. Тоді середня кількість інформації, пов'язана з реалізацією дослід α , буде рівна:

$$\begin{aligned} H(\alpha) &= \frac{n_1 \cdot i(A_1) + n_2 \cdot i(A_2) + \dots + n_k \cdot i(A_k)}{N} = \\ &= \frac{-n_1 \cdot \log p_1 - n_2 \cdot \log p_2 - \dots - n_k \cdot \log p_k}{N} \end{aligned} \quad (7.2)$$

де $\frac{n_1}{N}$, $\frac{n_2}{N}$, ... $\frac{n_k}{N}$ — це ймовірність відповідних результатів дослід α . Рівність (7.2) можна записати:

$$H(\alpha) = -p_1 \cdot \log p_1 - p_2 \cdot \log p_2 - \dots - p_k \cdot \log p_k$$

тобто:

$$H(\alpha) = -\sum_{i=1}^k p_i \log p_i$$

Середня інформація $H(\alpha)$ пов'язана з реалізацією дослід α виражає «ступінь невизначеності» α . (Адже чим «невизначеніший» результат дослід α , тим важче його передбачити заздалегідь, тим більшу інформацію ми одержимо, коли визначимо цей результат). Величину $H(\alpha)$ Клод Шенон назвав ентропією дослід α , яка є мірою невизначеності цього дослід. Цей термін Шенон запозичив з термодинаміки, де ентропія молекулярної системи характеризує ступінь безпорядку, хаотичності. Ентропія системи відображає рівень її організованості. Згідно II закону термодинаміки, система, що не має зв'язку з зовнішнім середовищем (замкнута система) протягом часу набуває стану найбільшого безпорядку, тобто ентропія стає максимальною. Аналогічні процеси

відбуваються і в інших системах, що не мають цілеспрямованої дії. Ентропія в них поступово зростає.

Таким чином, ентропію можна розглядати як міру неодержаної інформації про стан системи. (Іноді інформацію називають ще негентропією, тобто, від'ємною ентропією.)

$$-H = H(\alpha) = I = -\sum_{i=1}^k p_i \log p_i \quad (7.3)$$

Інформація — це дані, що усувають невизначеність (зменшує ентропію).

Неважно впевнитись, що ентропія $H(\alpha)$ досліду α завжди невід'ємна і рівна нулеві в тому і тільки в тому випадку, коли один із результатів α має ймовірність 1, а всі решта ймовірність 0 (тобто, коли результат відомий заздалегідь). Ентропія буде максимальною, якщо всі результати досліду α рівноймовірні (мають ймовірність $\frac{1}{n}$, де n — кількість результатів)

$$H(\alpha_0) = -\frac{1}{n} \cdot \log \frac{1}{n} - \frac{1}{n} \cdot \log \frac{1}{n} \dots - \frac{1}{n} \cdot \log \frac{1}{n} = n \cdot \left(\frac{1}{n} \cdot \log n\right) = \log n \quad (7.4)$$

Ентропія складного досліду $H(\alpha, \beta)$, в якому досліди α і β незалежні, рівна сумі ентропій окремих дослідів:

$$H(\alpha, \beta) = H(\alpha) + H(\beta)$$

Кількість інформації або інформаційний зміст (I) прийнятого повідомлення, одержують як різницю між невизначеністю до прийняття цього повідомлення (H) і невизначеністю після його прийняття — (H_1)

$$I = H - H_1$$

Для визначення проценту прийнятої інформації можна використати показник:

$$I_{np} = \frac{H_{\max} - H_1}{H_{\max}} \cdot 100\%$$

де H_{\max} — максимальна ентропія при $p_i = \frac{1}{n}$. (Див. (7.4)).

Вибір системи логарифмів у формулі (7.3) пов'язаний з вибором одиниці вимірювання ентропії і інформації. Дійсно, оскільки перехід від логарифмів з основою a до логарифмів з основою b відбувається помноженням всіх логарифмів на величину $\log_b a$ (модуль переходу):

$$\log_b p = \log_b a \cdot \log_a p$$

то зміна системи логарифмів рівносильна помноженню величини ентропії всіх дослідів на один і той же множник, тобто змінні одиниці вимірювання.

Шенон запропонував взяти за основу двійкові логарифми (при основі 2). При цьому одиничну інформацію ми одержимо, з'ясувавши результат досліду ∞ з двома рівноймовірними результатами (дослід з підкиданням монети і з'ясуванням, на яку сторону вона впала). Ця одиниця вимірювання кількості інформації називається двійковою одиницею або бітом (bit), скорочено з англійської «двійковий розряд» (binary digit). В більшості випадків в науковій літературі за одиницю інформації обирається біт. Але якщо використовувати більш звичні нам десяткові логарифми, то одиничну інформацію ми одержимо, з'ясувавши результат досліду з 10 рівноймовірними результатами (наприклад, витягнувши навмання одну кульку з ящика, що містить 10 пронумерованих кульок); така одиниця інформації називається десятковою одиницею, або dit.

Окрім Клода Шенона виміряти інформацію пробували й інші науковці. Зокрема, Л. Хартлі запропонував вимірювати інформацію величиною:

$$H = \log N$$

де N — число станів системи. Виміряна величина H — це максимальна різноманітність системи, тобто її максимальна інформаційна ємність. Очевидно, що формула, введена Хартлі, майже співпадає з шенонівською:

$$H = - \sum_{i=1}^N p_i \log p_i = \log N$$

при $p_i = p = \frac{1}{N}$: див. формулу (7.4).

Зовсім інший підхід запропонував видатний вчений А. Н. Колмогоров. Згідно його теорії, «інформація» є не число, а величина іншого роду, так що про дві «інформації» іноді можна сказати, яка з них більша, а іноді цього зробити не можна, оскільки інформацію про дві зовсім різні події досить неприродньо порівнювати між собою. Наприклад, згідно шенонівському твердженню, інформація про народження близнят з однаковими почерками (випадок, який ніколи не був зареєстрований!) більша (більш цінна), ніж інформація про знаходження в певному місці великих покладів нафти. Дійсно, дуже важко порівняти такі інформації.

Теорія інформації продовжує розвиватись та доповнюватись ще і сьогодні. В II половині 20-го століття інформація та інформаційні ресурси відіграли провідну роль в розвитку суспільства. За останні 20 років значно зросла швидкість передачі інформації, що прискорило науково-технічний прогрес, особливо у медичних застосуваннях. Теорія інформації знайшла своє використання в багатьох галузях науки: психології, лінгвістиці, генетиці та ін. Подальший розвиток людства тісно пов'язаний з покращанням та вдосконаленням методів та систем обміну інформацією.

6. БАЗОВІ ПОЛОЖЕННЯ РОЗРОБКИ БМТ. ПРИНЦИП НАСА

При розробці електронної БМТ та систем, які застосовуються у медицині, інженери повинні керуватися певними принципами, які повно, несуперечливо забезпечують потрібні її властивості та функції, тобто творять певний концептуальний базис. В його основу покладемо присутність чотирьох компонент: неінвазивності, антропологічності, системності, адаптивності (НАСА).

Слід зауважити, що кожна з цих чотирьох компонент принципу НАСА поєднує в собі дві сторони, перша з яких пов'язана з фізичним аспектом техніки, або фізичною моделлю, в той час як інша — з гуманітарним, юридичним аспектом. Розглянемо кожен компонент окремо.

Неінвазивність («інвазія» — втручання) означає, що при розробці та виборі приладів потрібно враховувати, що ми втручаємось в організм людини і це втручання не повинно погіршити стан здоров'я пацієнта або якимось іншим чином зашкодити людині, порушити жодних фізичних процеси у її організмі.

Юридичний, гуманітарний аспект пов'язаний з правами людини, охороною довкілля, проблемами екології тощо, які технічні рішення та їх застосування повинні враховувати.

Антропологічність (означає біологічну сутність людини). Основна ідея властивості антропологічності БМТ полягає в тому, що кожен технічний засіб, прилад повинен бути орієнтованим на людину, її ергономічні та фізіологічні можливості, причому як лікаря, так і пацієнта.

Юридичний та гуманітарний аспект антропологічності тут також пов'язаний з дотриманням прав людини та екологією.

Системність (з грецької — ціле, те, що складається з частин, пов'язаних між собою). Принцип системності полягає у врахуванні взаємодії між БМТ та біооб'єктом на етапах її розробки та експлуатації. Крім того, він враховує властивості організму людини як складної системи, у якій всі органи в взаємодіють між собою, тому вплив БМТ під час лікування, діагностики і т.п. одного органу може змінити стан іншого.

Юридичний та гуманітарний аспект системності полягає у відповідній трактовці цих фактів.

Адаптивність (означає пристосованість). БМТ повинна пристосовувати, міняти свої характеристики у процесі застосування як до одного біооб'єкту, так і до різних.

Як підсумок, зауважимо, що при розробці радіоелектронної медичної апаратури повинні бути покладені в основу чотири компоненти принципу НАСА водночас. При цьому завжди потрібно пам'ятати, що даними приладами користуватиметься людина, тому вони повинні відповідати вимогам ергономіки та бути дешевими.

7. ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ БМТ

Для РЕА будь якого призначення властивий період часу (цикл), протягом якого вона створюється, проектується, виробляється, використовується — життєвий цикл. Розглянемо характерні його етапи (Таблиця 9.1).

Розробка РЕА. Як і для будь-якої техніки, для РЕА шлях від задуму до її створення і використання традиційний. Перш за все для створення чогось нового потрібна потреба у ньому та ідея як його досягнути. Ідея, як правило, виникає у відповідь на сформовану у суспільстві проблему (соціальний запит). Наприклад, потреба в ефективному (доступному, дешевому) енергетичному забезпеченні сприяла розвитку вугледобувної, нафтопереробної промисловості, а пізніше — атомної. стала Коли виникла необхідність у двигунах, з'явилися парові машини, бензинові мотори, електромотори. Спочатку людина використовувала доступні матеріали, а пізніше почала створювати нові. Іноді людина випереджає свій час і ідея ще не має вираженої потреби. Трапляється, що лише згодом, через роки і десятиліття, а часом і століття задум буде втілено і він користуватиметься масовим попитом. Трапляється, що про першовідкривача навіть забувають і той чи інший технічний пристрій відкривають заново. Наприклад, ідею підводного човна запропонував Леонардо да Вінчі, а з'явився такий човен лише в першій половині ХІХ ст. Ідея тепловізора, який би відображав теплову картину організму людини була відома ще вавілонським цілителям, які обмазували тіло людини глиною і по мірі її висихання визначали здорові і хворі ділянки та органи. Сам же електронний тепловізор був створений аж ХХ столітті, а масово став використовуватися лише наприкінці його.

Загалом же, на нинішній день, послідовність створення технічних пристроїв така. Науковий заклад (як правило, університет, але може навіть приватна фірма з відповідним рівнем підготовки) при наявній проблемі у певній області життя (наприклад, при охороні здоров'я людини — лікуванні, діагностиці захворювання і т.п.), потребі у певному технічному пристрої для її розв'язання (коли фізичних, розумових чи інших сил людині для цього не вистачає), за запитом замовника чи за власною ініціативою, формує **технічні вимоги (ТВ)**. Це документ певного стандартного вигляду, у якому викладено повно та несуперечливо відповідну проблему. Це виконується за планами перспективних робіт, в рамках державних бюджетних програм, на конкурсній основі чи з приватної ініціативи. Потім складається **технічне завдання (ТЗ)**. У цьому документі викладено виявлену проблему та ТВ мовою техніки, засоби якої сприятимуть розв'язанню проблеми. Складається ТЗ інженером-дослідником. Якщо цими засобами вибрано РЕА, то готується **технічна пропозиція (ТП)**, документ, у якому подається **блок-схема (БлСх)** апаратури чи функціональна схема (СхФ) — подібно, як на рис. 12.

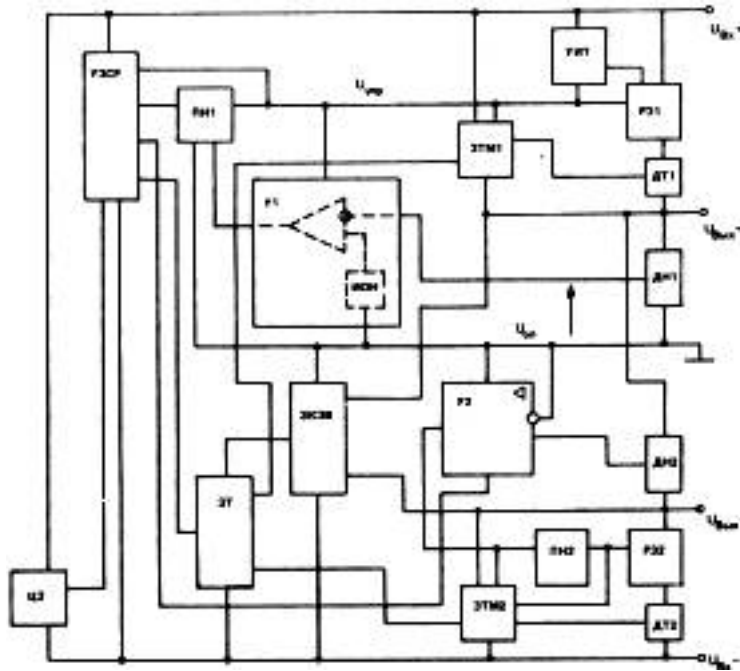
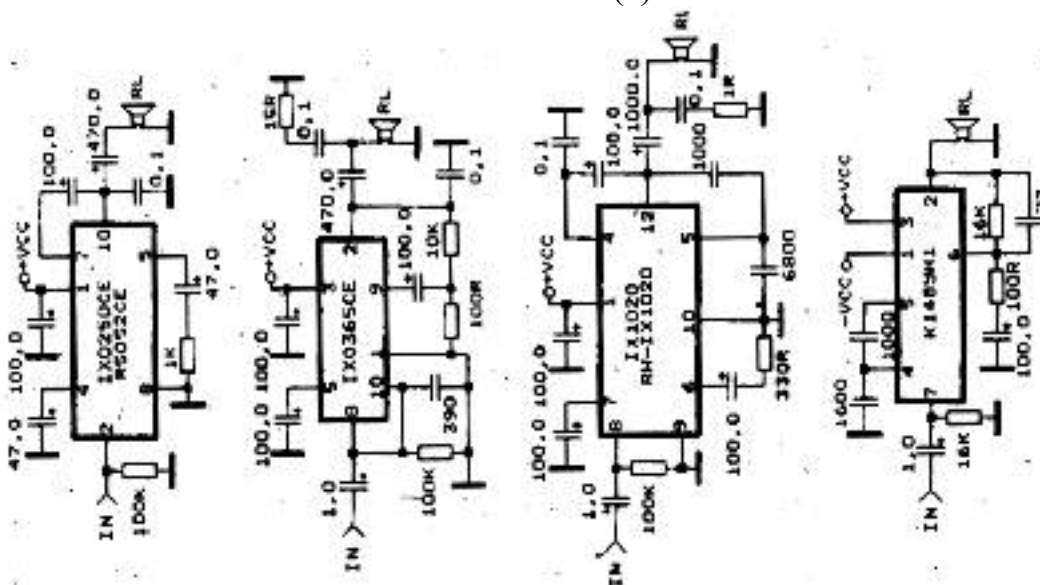


Рис. 12. Функціональна схема інтегрального стабілізатора напруги

Далі виконується математичне моделювання проблеми, в рамках вибраної моделі ставляться потрібні задачі, зокрема пошуку функції апаратури, побудови (синтезу) її детальнішої структури (схеми принципової електричної, СхЕ рис. 13), розрахунку параметрів елементів СхЕ.

Оформлюється зроблене у вигляді документів — **технічного опису (ТО), пояснювальної записки (ПЗ)**. Проводиться також розрахунок точності, стабільності роботи РЕА. Під час цих робіт широко використовують засоби комп'ютерних систем автоматизованого проектування (САПР), натурне макетування. Всі випробування супроводжуються складанням відповідних методик та програм і затверджуються протоколами випробувань різних рівнів — лабораторних, галузевих, державних, міждержавних.

(а)



(б)

Рис. 13. Схеми електричні принципові блоку задання статичного режиму (у двополярному інтегральному стабілізаторі напруги - блок УЗСР, що на рис. 12) - (а) та вихідного каскаду підсилювача низької частоти (з використанням інтегральних схем) - (б)

Конструювання РЕА. Як правило, напрацьовані на етапі розробки документи пропонуються **конструкторським бюро (КБ)**. Там їх ретельно вивчають, аналізують і складають відповідь — технічну пропозицію, де описується ціла низка варіантів конструкторського вирішення технічної задачі, економічне і технічне обґрунтування кожного варіанту, порівняльна оцінка запропонованих до розробки і уже існуючих РЕА — як вітчизняного, так і зарубіжного виробництва. В процесі цієї діяльності ТВ та ТЗ нерідко уточнюються.

Замовник, розглядає усі технічні пропозиції і зупиняє вибір на одному з них. Наступною стадією є **ескізний проект (Е)**, з якого можна дізнатися про принцип роботи і загальну будову пристрою. Від неї переходять до **технічного проектування (Т)**: перевірки наявних патентів, інженерних розрахунків, випробування макетів, оцінки основних технічних характеристик: (потужності, ефективності, економічності, коефіцієнту корисної дії). Вибираються радіоелементи та вузли стандартні, розробляються нові, провадиться їх компоновка та монтаж, теплові розрахунки, та ін. (див табл.) Всі рішення оформлюються документально у вигляді пакету **конструкторської документації (КД)**. До його складу входять креслення деталей та вузлів РЕА, складальні креслення, монтажні схеми, зовнішній вигляд РЕА (художній у т. ч.). Готуються також інші документи — **технічний опис (ТО)** та **інструкції з експлуатації (ІЕ)** для РЕА, а також різні **специфікації (СП)** — таблиці радіоелементів та вузлів.

Технологія виробництва РЕА. Технологія — це організація та керування процесами штучного створення об'єктів. Вони провадиться за технологічними картами, де описано ці відповідні процеси. Технологічна карта — це слова, за змістом подібні на слово алгоритм — скінченну, результативну послідовність дій.

Особлива увага відводиться **технологічній підготовці**. Виробництво на момент одержання креслень повинно мати наявними укомплектований парк станків, інструментів, тестувальної апаратури. Коли технічний проект приймається замовником, настає заключна стадія конструкторських робіт — **підготовка робочої документації, креслень**. В експериментальному цеху створюється **макет** пристрою в натуральну величину, а в останні роки особливого поширення набули математичні моделі поверхонь і деталей, виконані на комп'ютері. Спеціальні **коп'ютерні програми** дозволяють у лічені хвилини одержати січення будь-якого компоненту, оглянути вузли й деталі у різних проєкціях і обчислити параметри усіх елементів радіоапаратури.

Першими при випуску пристрою є **дослідна партія взірців**. В цей період відбувається перевірка роботи виробництва і конструкторів. Пристрій проходить **випробування за попередньо розробленою і узгодженою з замовником програмою**. Лише після успішних всебічних випробувань пристрій запускається у **серійне виробництво**. З цього моменту фірма вже не вносить змін до даного

виробництва, а накопичує інформацію для подальшого вдосконалення. Сам пристрій в подальшому підлягає експлуатації, сервісному обслуговуванню і утилізації. Схематично ця діяльність зображена у таблиці 9.1.

Ще донедавна технологія розглядалася як простий набір рецептур і вважалася другорядною по відношенню до науки і культури. Сьогодні ж стає очевидним, що вдосконалення технології лежить в основі розвитку цивілізації, а радикально нові форми сучасної культури завжди тісно пов'язані з народженням принципово нових технологій.

В ХХ столітті нові технології народжувалися цілим ансамблем: біотехнологія молекулярно-генетичного рівня, технологія органічного синтезу штучних речовин з заданими властивостями (зокрема, лікарських препаратів), технологія штучних конструкторських матеріалів (пластмаси, синтетичні волокна, композити і т. ін.), мембранна технологія штучних кристалів і надчистої речовини, лазерна, ядерна, космічна технології, технологія підтримки екологічної рівноваги і створення нових екологічних систем і, нарешті, інформаційна технологія, матеріальне ядро якої твориться мікроелектронікою.

Мікроелектроніка формує елементарну базу всіх сучасних засобів приймання, передачі і обробки інформації, систем управління й зв'язку. Якщо говорити узагальнено, то вона складає «мозок», «нервову систему» і «органи відчуттів» інформатики, кібернетики, робототехніки. Вона є технологічним лідером сучасності, оскільки випускає найбільш складну, досконалу і масову продукцію.

Науки приносять реальну користь суспільству, матеріалізуючись через технологію, для багатьох наук мікроелектроніка виступає первинним джерелом. Тому рівень розвитку технології нарівні з розвитком духовних цінностей є мірилом розвитку людської культури, складає основний капітал суспільства і нації.

Одна з найграндіозніших науково-технологічних революцій пов'язана не з гігантськими спорудами, а з мікроскопічними кристалами, самий великий з яких могла б взяти в свій політ бджола. А після появи перших транзисторів стало зрозумілим, що в одному єдиному кристалічному пристрої можна сформуванати всі основні елементи електронних схем. Технологія, що народилася внаслідок цього відкриття була названа інтегральногрупповою. А її продукція — інтегральною схемою.

Технологічна система спирається на сукупність аксіомних, очевидних положень. Кожне з них — невід'ємна частина фундаменту всієї системи. Якщо його усунути, вся система зруйнується, якщо його замінити — одержимо якісно нову систему.

Експлуатація, ремонт, утилізація радіоелектронної апаратури (РЕА). Придбана для використання РЕА вимагає певного догляду, особливо у таких випадках, коли нею користуються спеціалісти не технічної галузі (медики). Для побутової РЕА це не є характерним, бо функції побутової РЕА (телелеприймач, магнітофон і т.п.) всім зрозумілі, її несправність легко розпізнається, а використання поганої РЕА у побуті шкодить не критичним чином. У випадку медичних застосувань лікар має

бути впевненим у її справності. Тому при кожному включенні РЕА повинен тестуватися, калібруватися, а при його використанні мають контролюватися його параметри. Протягом часу користування проводяться регламентовані маніпуляції з апаратурою (метрологічні випробування, контроль її параметрів, заміна вузлів, чистка тощо). Вигляд, черговість, періодичність цих процедур визначає інженер-експлуатаційник. Він також провадить їх документальний супровід (зادля забезпечення переємності процесу експлуатації, передачі у ремонт, на звірку, утилізацію), обґрунтовує потребу у матеріалах, інструментах та інших засобах, заповнює (“веде”) формуляри на РЕА (експлуатаційні документи). Для складної техніки (томографи, штучні органи тощо) посада інженера – експлуатаційника є обов’язковою. Для простішої РЕА вона організується для поліклініки, лікарні, чи регіону (міста, області, країни).

Кожному РЕА чи системі необхідно поставити у відповідність особу інженера. Тільки тоді сповна забезпечиться її ефективне, ї, головне, нешкідливе використання.

Важливим під час експлуатації РЕА є її ремонт — дрібний (поточний), капітальний. Він провадиться за регламентом чи у зв’язку з непрогнозованим виходом з ладу. Передача РЕА у ремонт та її введення в експлуатацію після ремонту має провадитися грамотно, свідомо, документально затверджено.

РЕА виготовляються з використанням дуже широкого спектру матеріалів, речовин, у тому числі дорогих. Як правило, повні технології їх отримання (з корисних копалин, природних джерел), виробництва шкідливі для навколишнього середовища. Тому все більше запроваджуються спеціальні технології подвійного, потрійного використання таких речовин та матеріалів, які є екологічно сприятливіші. (Їх часто називають ресайклингом, зациклюванням). А процес виводу з експлуатації РЕА став дуже важливим, як і роль інженера у ньому.

Таблиця 9.1.

РОЛЬ ІНЖЕНЕРА В ЖИТТЄВОМУ ЦИКЛІ БМТ

№	Кваліфікація інженера	Назва етапу життєвого циклу				
		Розробка	Конструювання	Технологія, виробництво	Збут	Експлуатація, ремонт
1	Дослідник	1. Аналіз проблеми, моделювання, складання ТЗ на розробку. 2. Синтез функцій. 3. Синтез структур. 4. Структурний синтез. 5. Створення СхЕ, ТО, ТЗ на ДКР.	Консультації конструктора з відповідних питань, погодження змін до СхЕ, ТО, ТЗ.	Консультація технолога та конструктора, погодження замін в документацію (СхЕ, ТО).		Збір даних про результати експлуатації, розробка методик ремонту.
2	Конструктор		1. Аналіз ТЗ на ДКР. 2. Вибір елементів вузлів.	Консультація технолога та погодження замін в		Збір даних, рекламаций. Розв’язування

			3. Компоновка, монтаж. 4. Розрахунок теплових режимів надійності, механічної міцності, електромагнітної сумісності. 5. Випробовування діючих макетів. 6. Створення КД, ТО, ІЕ.	КД, ТО, ІЕ.		конструкторських питань під час ремонту.
3	Технолог			1. Уніфікація конструкторських рішень. 2. Опис технологічних процесів: виробництво нестандартних вузлів, монтажу, складання, регулювання, випробовування. 3. Вибір типових ТП. 4. Вимоги до упаковки, зберігання, транспортування.		Збір даних про рекламациї, розробка технології ремонту.
4	Експлуатаційник					1. Безпека праці. 2. Регламентні роботи. 3. Дрібний ремонт. 4. Звірка, ремонт. 5. Утилізація.

8. МІКРОЕЛЕКТРОНІКА

Позірно, основною ознакою добробуту є рівень застосування електронної техніки в житті людини, тобто результатів діяльності тієї галузі науки, техніки та виробництва, яка пов'язана з дослідженням та розробкою електронних приладів. Проте, важче зауважити зворотнє — використання електронної техніки є причиною високого добробуту. При цьому, автоматизація процесів у сфері виробництва, наукових досліджень, експлуатації обладнання з використанням засобів обчислювальної техніки є основним напрямком інтенсифікації фізичної та інтелектуальної праці людини, підвищення її продуктивності.

У своєму історичному розвитку електроніка переживала кілька періодів. Початком першого періоду можна вважати винайдення першого активного електронного приладу — електронної лампи, здатної підсилювати і перетворювати електричні сигнали.

В середині нинішнього століття після винайдення транзистора — напівпровідникового приладу, що може виконувати всі функції електронної

лампи, — настав другий період розвитку електроніки — період дискретних напівпровідникових приладів. Проте, внаслідок ускладнення електронної апаратури та виконуваних нею функцій, набагато зросла кількість електрорадіоелементів, і особливо, кількість міжз'єднань. Створення такої апаратури на звичайних дискретних компонентах не забезпечувало необхідної надійності, та й самі системи ставали надто дорогими та габаритними. Після розв'язання проблеми міжз'єднань були створені інтегральні мікросхеми (ІМС). Вони являють собою мініатюрні функціональні вузли електронної апаратури, в яких активні і пасивні елементи виготовляються в єдиному технологічному циклі на поверхні або в об'ємі підкладки і мають загальну герметизацію й захист від механічних впливів.

В електроніці настав третій період її розвитку — період інтегральних мікросхем. З'явилися реальні передумови здійснення комплексної мінікомп'ютеризації електронних систем. Почався бурхливий розвиток найважливішого напрямку сучасної електроніки — мікроелектроніки, або точніше однієї з її складових частин — інтегральної мікроелектроніки.

Мікроелектроніка — це новий напрямок розвитку електронної техніки, що ґрунтується на використанні сучасних конструкторських, технологічних, схемотехнічних методів для проектування й виготовлення складних і надійних електронних систем з високим ступенем мініатюризації за рахунок виключення дискретних радіоелементів. Мікроелектроніка як якісно новий рівень мікрокомп'ютеризації має справу не з дискретними радіоелементами, а з інтегральними мікросхемами. Як наслідок, зменшилися габарити радіоелектронних приладів, їх маса, металоємкість, вартість, енергоспоживання, зріс обсяг виконуваних функцій, підвищилася надійність.

Інтегральні мікросхеми, залежно від методу їх створення, поділяються на два принципово різні типи — плівкові та напівпровідникові. У плівковій інтегральній мікросхемі виконано у вигляді плівок, нанесених на поверхню діелектричної підкладки напиленням у вакуумі або іншими способами (рис. 14).

Залежно від товщини нанесених плівок розрізняють тонкоплівкові і товстоплівкові ІМС. У тонкоплівкових ІМС товщина стінок плівок становить близько 1 мкм, а у товстоплівкових — 10 мкм. Елементи напівпровідникової ІМС виконано в приповерхневому шарі напівпровідникової підкладки. У зв'язку з тим, що не вдається виготовити достатньо плівкових елементів типу транзисторів та діодів, плівкові ІМС мають лише пасивні елементи — резистори, конденсатори, тощо, тобто функції плівкових ІМС дуже

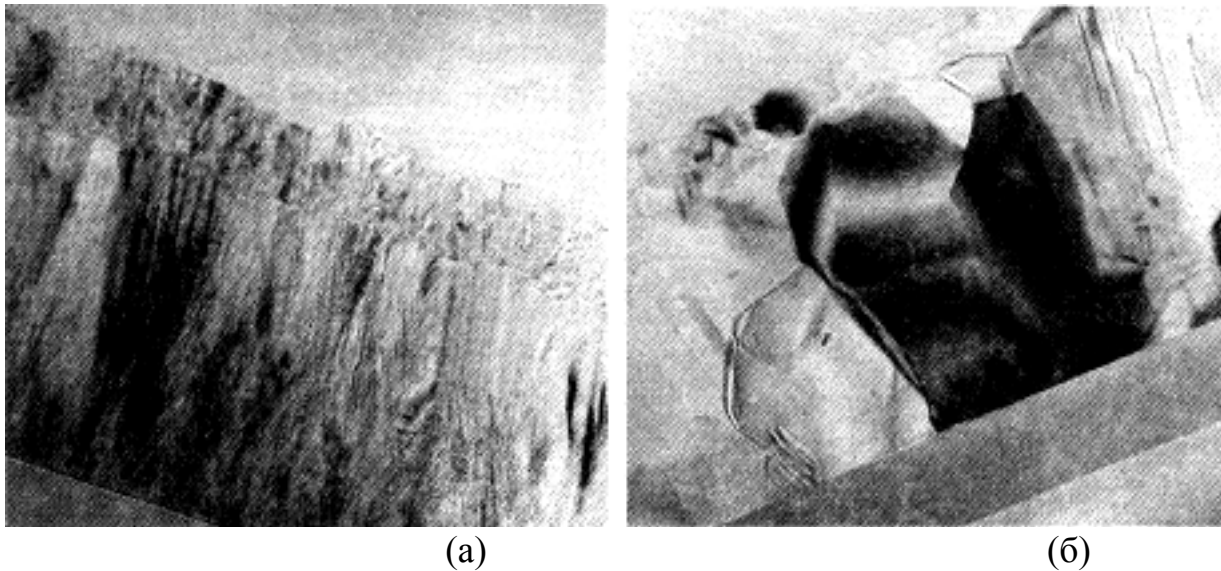


Рис. 14. Вертикальне січення плівки полікристалічного кремнію осаженого шляхом багатостадійного процесу (а) та легованого дифузією фосфору (б), отримані за допомогою електронного мікроскопу “на просвіт” при збільшенні у 200 000 раз

обмежені. Якщо до плівкової ІМС додати навісні дискретні активні компоненти, то одержимо інтегральну мікросхему, яка називається гібридною. Існує ще один вид ІМС, так звана суміщена ІМС, у якої активні компоненти винесено, як у напівпровідникової ІМС, а пасивні нанесені у вигляді плівок на діелектричний шар, яким попередньо ізольована поверхня напівпровідникової підкладки.

Основу сучасної мікроелектроніки становлять напівпровідникові інтегральні мікросхеми, які поділяються на два класи — біполярні ІМС, головним елементом яких є *n-p-n* транзистор та метал-діелектрик-напівпровідник (МДН); або метал-оксид-напівпровідник (МОН) ІМС, основним елементом яких є польовий транзистор з ізольованим каналом. Функціональну складність ІМС прийнято характеризувати ступенем інтеграції, тобто кількістю елементів (зазвичай транзисторів) на кристалі (тобто монокристалі). Схеми малого ступеня інтеграції — це ІМС, що містять порядку 10 елементів на кристалі; схеми середнього ступеня інтеграції містять порядку 100 елементів на кристалі. У великих інтегральних схемах (ВІС) на кристалі розташовано понад 1 000 елементів. У надвеликих інтегральних схем (НВІС) їх налічується десятки тисяч.

Інтегральна мікроелектроніка з елементною базою у вигляді різних ІМС у найближчі роки буде домінуючою. Проте, вже зараз досягнуто такого високого рівня інтеграції, що подальше його підвищення наштовхується на цілий ряд фізичних та психологічних обмежень. Ці обмеження принципів, оскільки в інтегральній мікроелектроніці при створенні складних електронних схем використовуються традиційні методи схемної радіотехніки та дискретні компоненти на основі переходів (статичних неоднорідностей), що формуються у напівпровідниковій підкладці. Обмеженість функціональних можливостей цих компонентів — основна причина різкого збільшення їх кількості при ускладненні функцій, які реалізуються радіоелектронною апаратурою. Основні обмежуючі фактори у розвитку напівпровідникової традиційної інтегральної мікроелектроніки зводяться до наступних проблем:

- 1) міжз'єднань — міжз'єднання займають все більше площі кристала, тому далі підвищувати рівень інтеграції недоцільно;
- 2) пробою — при зменшенні розмірів елементів у них збільшуються електричні поля, оскільки заряди концентруються на менших ділянках. Виникає велика імовірність пробою як переходів МОН-транзистора у напівпровіднику, так і затворного оксиду. Очевидно, що далі при створенні НІВС необхідно переходити до іншої напруги.
- 3) швидкодії та відведення розсіюваної потужності, тобто із зменшенням розмірів елементів ІС зростає опір міжз'єднань, ємність переходів, і як наслідок, збільшується розсіювана потужність та знижується швидкодія.
- 4) конструкції — з'єднання великого числа елементів потребує багат шарового монтажу, який зменшує надійність створюваних напівпровідникових структур і процент виходу придатних ІМС.

Усі ці причини зумовлюють певну межу мініатюризації елементів ІМС. За останніми оцінками експертів, такою розумною межею зменшення розмірів елементів є величина 0,2 мкм. Підвищення ступеня інтеграції за рахунок зменшення розмірів напівпровідникового кристала і збільшення при цьому технологічних елементів неперспективне, оскільки із збільшенням площі кристала через наявність дефектів у матеріалі та їх неминуче виникнення в процесі технологічних операцій експоненціально зменшується процент придатних напівпровідникових структур.

Таким чином, найважливішою особливістю сучасної інтегральної мікроелектроніки є використання інтегральної технології створення радіоелектронної апаратури. Складні електронні системи, включаючи активні й пасивні компоненти, а також міжз'єднання виготовляються в єдиному технологічному циклі (рис. 15).

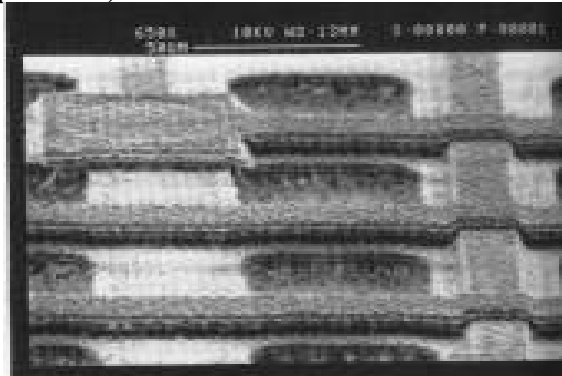


Рис. 15. Напівпровідникові структури та міжз'єднання у інтегральній схемі. Збільшено в 650 раз

Для мікротехнології і елементної бази сучасної інформатики основні аксіоми зводяться до наступного:

для мікроелектроніки і мікротехнології найважливішим початковим поняттям є тверде тіло;

структура твердого тіла придатна для умовного розподілу паралельними площинами на достатньо тонкі шари, щоб кожен з них на певній ділянці мав практично однорідний розподіл атомів за товщиною;

кожен шар можна одержати, локалізуючи фізико-хімічні процеси формування твердого тіла на окремих ділянках його поверхні у відповідності з проектуючою геометрією пристрою;

повторюючи процес пошарового синтезу і послідовно суміщаючи їх геометрію, можна створювати пристрої з будь-якою геометрією.

Починається мікротехнологія перш за все з чистоти — чистоти виробництва і чистоти всіх речовин, що використовуються для цього. В основі всіх її виробничих процесів лежить надчиста речовина. Стандартний кремній має не більше одного атома домішок на мільярд атомів кремнію. Мікротехнологія базується на монокристалах (рис. 16).

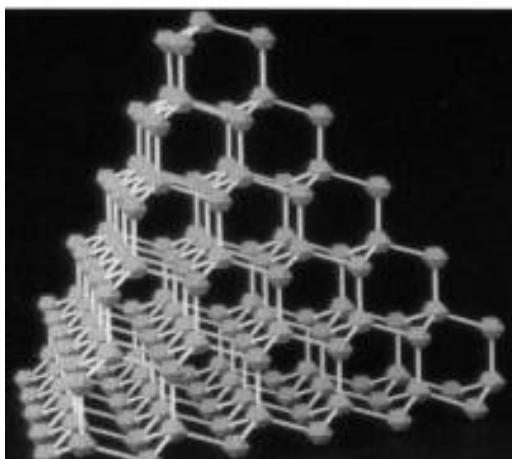


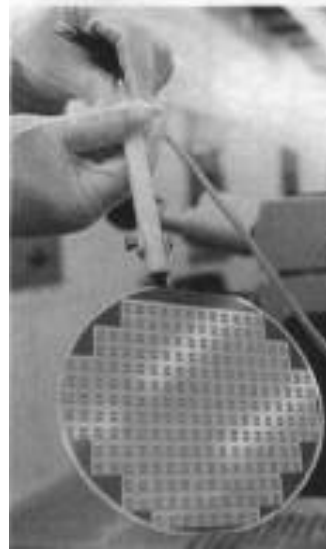
Рис. 16. Структура кристалу двоокису кремнію (точки — кремній, лінії — кисень)

Монокристал — це образно кажучи «впорядкований вакуум»: строгий порядок атомів в кристалі забезпечує вільний політ електронів у ньому, хоч і на малі, але цілком достатні відстані для продуктивної реалізації цілого ряду фізичних явищ. В мікротехнології використовуються майже виключно штучно вирощені кристали: тільки таким чином вдається досягти необхідної структурної досконалості, чистоти і наявності тільки потрібних малих домішок в кристалах. (З кристалів, що використовуються в галузі мікроелектроніки просто не існує в природі).

Синтез штучних кристалів — одна з найцікавіших багатопланових сфер сучасної технології. Атоми в решітці кристала складаються зі строгих площин. Кристал огранюється площинами спайності, які паралельні його внутрішнім (кристалографічним) площинам. Для цього кристал розрізають алмазними пилами у відповідності з потрібним розміром і в певному напрямку. Так одержують підкладку — плоскопаралельну пластину завтовшки 200-500 мкм, на поверхні якої розгортаються складні процеси формування структури пристрою (рис. 17).



(а)



(б)

Рис. 17. Тестування структур, розташованих на кремнієвій пластині (а), та вигляд пластини (б)

Створення транзистора, виникнення мікроелектроніки, всіх найновіших сфер електронного приладобудування стало можливим тільки на базі певного рівня знань про поверхні і методи її обробки. На початку століття Ірвінг Ленгмюр ввів поняття про молекулярні сили, що визначають незвичайні властивості поверхні. Це відкриття прирівнювалося до теорії простору-часу Айнштейна. Ленгмюр помітив таємничий «двовимірний світ» поверхневих явищ.

Плівка — це матеріалізована поверхня твердого тіла. Нанесена на поверхню твердого тіла, вона може докорінно змінити його властивості і проявляти свої власні, корисні для практичного застосування. Плівки наносять найрізноманітнішими методами: з розчинів, емульсій, сплавів, газової фази, потоків молекул, що здатні вільно летіти у вакуумному просторі, атомів, іонів, з активною фізико-хімічною участю підкладки або лише при наявності слабких (вандерваальсових) сил взаємодії з нею осаджуваних речовин. Плівка може бути металічною, напівпровідниковою чи діелектричною, вона може бути навіть рідкою або рідкокристалічною. Товщина плівок в залежності від призначення може бути в межах від одиниць нанометрів до десятків мікрометрів. Наносити тонкі плівки на поверхні різноманітних виробів навчилися ще творці древніх цивілізацій. На Близькому Сході вже в 5-му тисячолітті до нашої ери була розроблена складна технологія послідовного нанесення тонких плівок. Однак в процесі синтезу твердотільних структур на плоских підкладках роль такого елемента як тонка плівка надзвичайно унікальна. Якщо підкладка має монокристалічну структуру, то плівка тим чи іншим чином майже завжди наслідує її. Таке явище називається епітаксією. В плівках на межі сполучення відбувається перетворення сигналів. Для того щоб плівка могла використовуватися в структурі інтегральних схем, в ній, як правило, необхідно сформувані певний малюнок. Найпростіший шлях до вирішення цієї проблеми є маскування.

Маска — пластинка чи фольга, в якій по заданому малюнку витравлені «вікна». Якщо таку маску накласти на підкладку, то на наступних технологічних

етапах речовина надходитиме до підкладки тільки через вікна, і ми одержимо на її поверхні відповідний малюнок. Можна в якості маски використовувати нанесену на підкладку тонку плівку, формуючи в останній необхідний малюнок за допомогою травлення. Самим першим засобом формування плівкової маски стала фотолітографія.

Фотолітографія, точніше — мікрофотолітографія була винайдена в 50-х роках з метою тиражування творів мистецтва та живопису. Основний принцип фотолітографії полягає в тому, що на підкладку наносять шар фоточутливого матеріалу — фоторезисту, а потім перетворюють його в плівкову маску. З цією метою його опромінюють ультрафіолетовим промінням за заданим рисунком. Він попередньо формується на спеціальних фотопластинах високої роздільності (фотошаблонів), з яких переноситься в шар фоторезистора за допомогою контактних чи проєкційних систем лазерним променем. Після експозиції фоторезист піддають спеціальній обробці — проявленню та задублюванню. Фоторезист повністю усувається при проявленні в окремих ділянках (експонованих чи неекспонованих ультрафіолетом, в залежності від того, позитивний він чи негативний). Таким чином в шарі фоторезистора утворюються вікна, які перетворюють його в маску.

Травлення — це фізико-хімічний розбір кристалічної решітки твердого тіла на окремі атоми. Здійснюється воно рідкими хімічними травниками або за допомогою хімічно активної газової фази, «хімічної» плазми, іонних променів певних енергій, навіть пучками швидких нейтральних атомів. Травлення протікає вибірково на відкритих, незахищених маскою ділянках поверхні. Таким чином одержується гравірована поверхня за заданим рисунком, а травлення за рисунком нерідко називають мікрогравіюванням.

Для створення більш досконалих приборів та структур необхідно було оволодіти методами проникнення в решітку раніше сформованого твердого тіла. Найпростіший шлях до цього — легіювання, а серед методів останнього — дифузія.

Дифузія, дифузійне легіювання — проникнення речовини в речовину внаслідок випадкових блукань окремих атомів.

Але все вище розглянуте — лише основний арсенал засобів планарної технології. Вона гнучко приймає будь-які фізико-хімічні процеси формування структури і форм твердого тіла. Мікролітографія виконує функцію координатного приводу, травлення — механічного інструменту, легіювання і інші способи впливу на раніше сформовану структуру зберігають в принципі свої традиційні функції, а послідовне нанесення різноманітних плівок — функцію монтажу виробу.

Поєднання — перетворення набору плоских малюнків в об'ємну структуру виробу. Воно досягається поетапним з'єднанням кожного наступного малюнка з раніше сформованою структурою.

Лін Конвей і Майкл Мід розробили принципово новий підхід до проектування інтегральних мікросхем — структурне проектування, яке полягало в побудові не знизу догори, а навпаки — від пристрою до елементів.

Спираючись на базу даних системи автоматизованого проектування (САПР), спеціаліст з електроніки розробляє повний проект необхідної інтегральної схеми, включаючи і повний опис технологічного процесу її виробництва, практично не знаючи технології. Автоматизоване технологічне виробництво сприймає завдання розробника у вигляді комплексу машинних програм на машинному носії і випускає продукцію, функцію якої технологи можуть також не знати. Необхідні тести для перевірки готової продукції входять в комплект документації замовника.

Виникла концепція «кремнієвої майстерні»: технологічного підприємства, яке наче відливає готові кремнієві пристрої за заданою «формою» у найкоротший термін. Так вперше за всю історію технології вдалося поєднати, здавалося б, непоєднуване: масове дешеве виробництво і індивідуальне задоволення попиту.

Вперше в 50-х роках молодим нобелівським лауреатом Р. Фейнманом була висловлена думка про створення мікромашин, в яких кожне попереднє покоління творить собі подібних, але менших розмірів. Фейнман продовжив чудову традицію, закладену в середині 40-х років іншим нобелівським лауреатом з фізики — Е. Шредингером, котрий ще до народження молекулярної генетики і сучасної біофізики ясно сформулював їх основні задачі у видавництві «Что такое жизнь? С точки зрения физика». Наприкінці 70-х років К. Ерік Дресклер разом з невеликим гуртом ентузіастів почав дослідження з нанотехнології в Станфордському університеті (США). Він йшов до заповітної мети, сформульованої в свій час Фейнманом. Але він надає їй ще більшої сміливості: мільярди машин розміром з мітохондрію просуваються по судинній системі організму людини, виліковуючи її від хвороб. Дресклер черпає свої ідеї з «нанотворчості» природи, перш за все з біологічного джерела і, зокрема, з імунології. Він мінімально апелює до електроніки і трактує навіть біохімічні процеси з точки зору біомеханіки. Р. Фейнман доводить можливість створення логічного елемента, збудованого з кількох атомів, у якому одиничний квант енергії може виступати носієм біта при обробці інформації.

Поява мікропроцесорів означає перш за все, що елементарною неподільною одиницею масового виробництва став мініатюрний логічний автомат. Мікропроцесор несе в собі початкові елементи розумної реакції на сигнали зовнішнього світу. Електронні засоби обробки інформації бідніші від нейронних внутрішніми зв'язками і кількістю елементів, а виконувані ними функції регламентуються лише жорсткими алгоритмами. Суттєво ж що еволюція електронної технології забезпечує ріст внутрішньої складності і функціональних можливостей одиниці продукції практично без зміни її ціни. Мікропроцесорна технологія має багато призначень: створення персональних електронних партнерів, інтелектуалізація всієї техносфери, посилення і захист функцій організму за допомогою персональних медико-кібернетичних пристроїв, включно і ті, що вживляються в організм.... В історії людства окремі іновачії були такими радикальними. Поява вогню, кам'яних знарядь, мови писемності, електрики, передача повідомлень без переносу маси і т.д. давали потужний імпульс розвиткові цивілізації, але не торкалися безпосередньо ні природних можливостей інтелекту, ні генетичних основ життя, ані ареалу її поширення.

Якщо сучасна мікроелектроніка — породження мікротехнології, яка вміє формувати в складних структурах деталі мікронних розмірів, то нанотехнологія — це ще один крок в завтрашній день. “Нанос” з грецької — карлик, а сама технологія нового покоління так названа тому, що передбачає оперування “деталлями” розміри яких вимірюються нанометрами, тобто порядку однієї мільйонної частини міліметра ($1 \text{ нм} = 10^{-6} \text{ мм} = 10^{-9} \text{ м}$). В той час, коли деталі мікротехнології — становлять масиви з мільярдів атомів, нанотехнологія синтезує речовини, деталі або пристрої шляхом впорядкованого добору “деталей” з окремих атомів.

Теоретично вважається, що нанотехнологія дасть змогу створювати практично будь-які вироби — від обчислювальної техніки надвисокої продуктивності праці до штучних органів людини, від рідкісних матеріалів з недоступними сьогодні властивостями до високоякісних продуктів харчування та одягу. Сучасна біотехнологія розглядається як перший етап становлення і розвитку нанотехнології. Поки що їй доступні лише синтез відомих біологічних речовин і досить обмежена кількість їх варіацій. Цей синтез здійснюється з відносно великих молекулярних блоків, а основним інструментом нанотехнології повинен стати молекулярний монтажник, який здійснюватиме монтаж у формовану структуру окремі атоми за заданою програмою. Монтажник першого покоління буде створений з білка, його розробка ведеться аналогічно до структури рибосоми живої клітини. В другому поколінні планується створити небілкового молекулярного робота, спроможного маніпулювати атомами будь-яких елементів періодичної системи Менделєєва.

Першими центрами кристалізації нових технологій повинні стати безвартні виробництва. Вимога екологічності стає причиною, яка послідовно переводить в техносферу принципі максимальної інтеграції процесів синтезу, розпаду і циркуляції, сформований протягом мільярдів років існування живої природи. В ракурсі екологічних критеріїв надзвичайно агресивними виглядають промислові гіганти ХХ століття, які споживають невиправдано велику кількість сировини та енергії, залишаючи навколо себе таку ж кількість неперероблених відходів. В самій природі гігантські фізико-хімічні об’єкти — вулкани — несуть в собі руйнівне начало, яке ніколи не компенсується властивістю здобрення вулканічним попелом. Поряд з обмеженням викиду шкідливих відходів існує абсолютне обмеження щільності енергії, що виділяється техносферою: на достатньо великих територіях випромінювана потужність повинна бути суттєво нижчою від притоку сонячної енергії. При недотриманні цієї умови порушується спочатку локальна екологічна рівновага і мікроклімат, а потім і загальна теплова рівновага поверхні планети з очевидними і багаточисельними несприятливими екологічними наслідками. Враховуючи плани створення позаземних технологічних об’єктів переходять у стадію інженерного проектування, слід відзначити, що на Місяці таких енергетичних обмежень не існує.

Створення розвинутої мережі електронних засобів обробки інформації — єдиний шлях до підвищення ефективності всіх існуючих технологічних виробництв і їх енергозабезпечення. Коефіцієнт корисної дії багатьох технологічних пристроїв складає в кращому випадку одиниці процентів. З

врахуванням особливостей організації праці, транспорту, зв'язку, енергоспоживання цей коефіцієнт може виявитися значно нижчим. Тому для того, щоб одержати “багато”, людина бере у природи, витрачає і викидає “надзвичайно багато”. Найважливішим значенням інформаційної технології є саме те, що вона відкриває шлях науково-технічного прогресу, знижуючи при цьому питоме споживання маси та енергії.

Хоча обробка кожної одиниці інформації потребує енергії, а зберігання інформації вимагає матеріального носія і простору, ці затрати неперівнянно менші, аніж затрати енергії, маси і простору, а дуже часто і самого часу, ніж відображені цими інформаційними ресурсами реальні події реального світу. При цьому навіть мікро-ЕОМ, яка контролює роботу автомобільного двигуна, збільшує його ефективність на десятки процентів. А коли заходить мова про найбільш потужні моделі ЕОМ останнього покоління, то слід відзначити, що вони зможуть зберігати у своїй пам'яті всю науково-технічну інформацію, накопичену людством, а їх продуктивність буде достатньою для щоденної обробки інформації формально еквівалентного об'єму даних.

9. ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА

Перші обчислювальні пристрої були механічними. На рис. 18. наведено один з прототипів сучасного арифметикологічного пристрою.

Електронні обчислювальні машини (ЕОМ) з'явилися у 50-х роках ХХ століття завдяки досягненням електроніки і відкрили нову сторінку в історії людських знань та досягнень. З появою інтегральної технології інтегральні мікросхеми стали базою для обчислювальних машин, використання їх сприяло покращанню якості ЕОМ, зменшенню їх габаритних розмірів і енергії, що вони споживали. Поява персональних комп'ютерів зумовлена

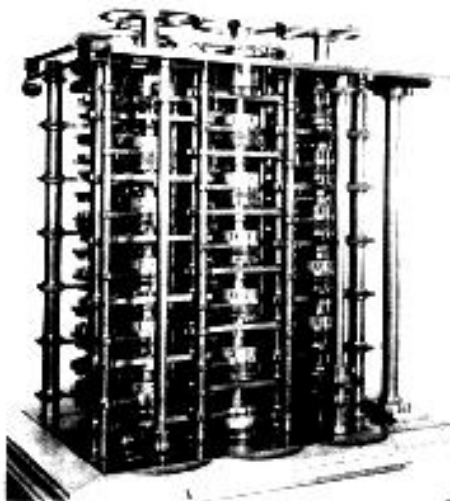


Рис. 18. Різницева машина Бебіджа (1821-1833) рр., Англія

переходом до застосування у виробництві ЕОМ великих і надвеликих інтегральних мікросхем. Персональні комп'ютери почали серійно випускатися промисловістю в середині 70-років і набули надзвичайно великого поширення. У

більшості випадків термін ЕОМ ідентифікують з поняттям «персональний комп'ютер».

Світ персональних комп'ютерів пройшов великий шлях у своєму розвитку. Вже з моменту появи першого персонального комп'ютера (PC — Personal Computer) фірми IBM (International Business Machine) восени 1981р. було зрозуміло, що цей комп'ютер відіграватиме важливу роль. Пізніше, коли об'єм продажу цих комп'ютерів перевищив усі сподівання IBM PC став визнаватися в якості стандарту (рис. 19, 20) для настільних комп'ютерів.

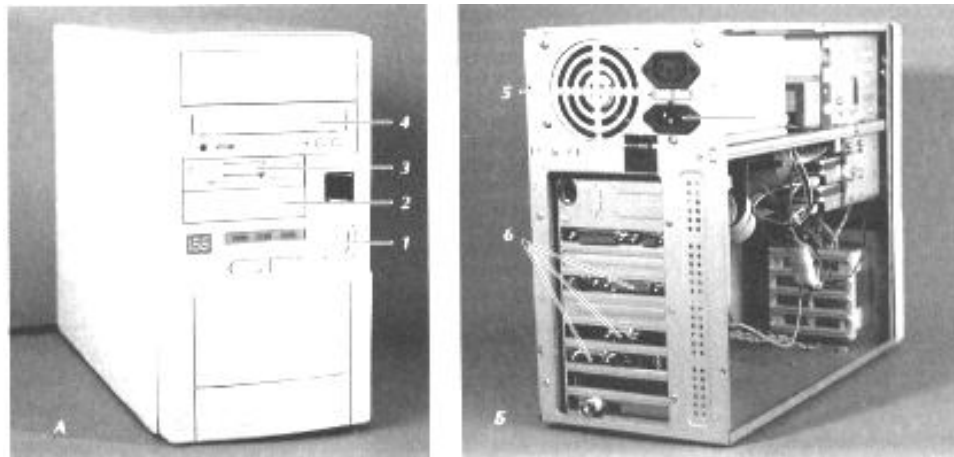


Рис. 19. Системний блок персонального комп'ютера. Вигляд спереду (А) та ззаду (Б). (1 — кнопка включення живлення; 2 — жорсткий диск; 3 — дисковод гнучких дисків; 4 — дисковод компакт-дисків; 5 — отвір для вентилятора; 6 — гнізда під'єднань зовнішніх пристроїв; 7 — гніздо для під'єднання кабеля електромережі)

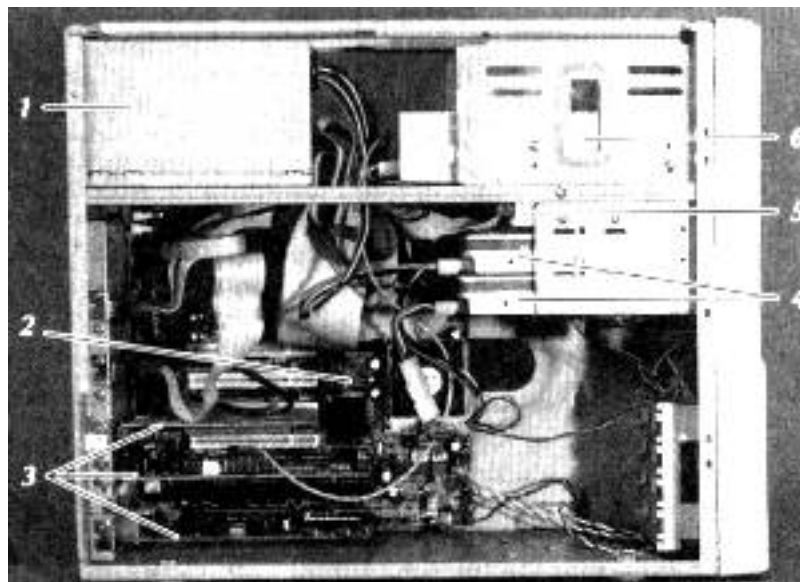


Рис. 20. Системний блок персонального комп'ютера зі знятою кришкою (1 — блок електроживлення; 2 — материнська плата; 3 — плати розширення; 4 — жорсткі диски; 5 — дисковод гнучких дисків; 6 — дисковод компакт-дисків)

З найпростішої точки зору всі члени родини PC складаються з мікросхеми процесора, мікросхем пам'яті і декількох швидкодіючих чи програмованих інших електронних мікросхем. Всі основні електронні компоненти, завдяки яким працює комп'ютер, розташовані на системній платі; інші важливі елементи знаходяться на платах розширення, які можуть бути вставлені в системну плату.

Системна плата (рис. 21) складається з процесора, що зв'язаний принаймні з 64 KB (кілобайт) пам'яті: ROM (Read Only Memory) — пам'ять тільки для читання з деякими вмонтованими програмами (наприклад, ROM BIOS — Base Input Output System) і декілька дуже важливих мікросхем підтримки. Деякі з цих мікросхем керують зовнішніми пристроями, інші ж "допомагають" мікропроцесору виконувати його задачі.

Для прикладу розглянемо потужну і перспективну материнську плату фірми Intel з набором мікросхем Triton. Triton — це перший комплект, що підтримує обробку сигналів (NSP (Nature Signal Processing) — стандарт, введений фірмою Intel). Підтримка NSP дозволяє виконувати програми, що потребують великих ресурсів для обробки сигналів найбільш економічним способом. Функції одночасної обробки мови і даних, телефону-автовідповідача, MIDI-інтерфейсу і розпізнавання мови потребують дуже велику обчислювальну потужність і вимагають обробки в режимі реального часу. Ця материнська плата здатна підтримувати обмін між локальною шиною комп'ютера PCI і динамічною пам'яттю (DRAM — Direct Random Access Memory) із швидкістю більш, ніж 100 Гбайт/с.

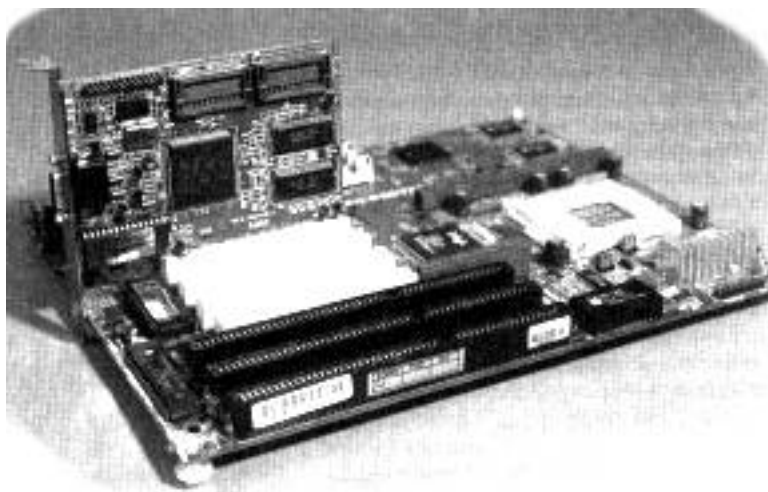


Рис. 20. Системна плата з під'єднаною до неї платою графічного контролера

Мікропроцесор (CPU — Central Processing Unit) — це мікросхема, яка забезпечує виконання програм. Мікропроцесор, чи центральний пристрій обробки виконує багато різноманітних операцій: над числами, логічними змінними, зокрема, умовні та безумовні переходи від операції до операції, у тому числі за результатами виконання програм, що знаходяться в пам'яті. Мікропроцесор керує роботою комп'ютера, одержуючи та посилюючи керуючі сигнали, адреси пам'яті і дані від одних компонентів комп'ютера до інших, використовуючи для цього групи з'єднуючих провідників, що називаються шиною. До шини під'єднано порти вводу/виводу, які з'єднують мікросхеми

пам'яті і мікросхеми підтримки шини — інтерфейси. Дані рухаються до CPU чи від нього, а також до інших компонентів комп'ютера, проходять через порти вводу/виводу назовні.

Мікропроцесор не може сам керувати всім комп'ютером. Певні функції керування виконують інші мікросхеми. CPU звільняється для власної роботи. Мікросхеми підтримки можуть нести відповідальність за такі процеси як керування потоком інформації, що проходить через внутрішні шини, від чи до конкретного пристрою, що під'єднаний до комп'ютера. Це так звані контролери пристроїв, що часто монтуються на окремій платі, яка вставляється в один з додаткових з'єднувачів материнської (системної) плати. Багато мікросхем підтримки є програмованими, тобто ними можна керувати, щоб забезпечити виконання спеціалізованих задач.

Однією з найважливіших задач CPU є реагування на переривання. Апаратне переривання — це сигнал, що генерований компонентом комп'ютера, який вказує на те, що даному компоненту необхідна увага CPU. Наприклад, контролери клавіатури чи дисководу генерують апаратні переривання в різні моменти часу. CPU відповідає на кожне переривання, виконуючи відповідні для даного апаратного контролера дії, наприклад, обробку натиснутої клавіші.

Кожен PC має програмний контролер переривань (PIC — Program Interrupt Controller), який контролює запрограмовані переривання та передає їх по черзі до CPU. CPU відповідає на ці переривання, виконуючи спеціальну програму, що називається обробником переривань.

У кінцевому рахунку прогрес в галузі неперсональних комп'ютерів виявляється в зміні їх поколінь, які пов'язуються передусім з типом процесора, що використовується (спочатку i8088, потім i80286, i80386, і нарешті i80486). Слід відзначити, що перехід від покоління до покоління здійснюється достатньо плавно, що обумовлюється по-перше практично монопольним становищем фірми Intel на ринку процесорів, і по-друге, відносно однорідністю програмного забезпечення, що пропонувалося, основою якого слугувала операційна система MS-DOS фірми Microsoft.

Являючи собою базовий елемент комп'ютера, процесор практично повністю визначає межі його максимальної продуктивності. Зараз він став однією із самих мобільних частин комп'ютера і замінити його частини легше, ніж інші складові.

Процесори фірми Intel:

1) процесори типу 486 (SX, DX, DX2) — процесори цього сімейства є основою як для випуску нових комп'ютерів, так і для модернізації вже існуючих. Всі вони мають повністю 32-розрядну архітектуру, побудовану на базі CISC-архітектури, єдину для команд та даних внутрішню кеш-пам'ять об'ємом 8 Кбайт. Моделі SX2 і DX2 використовують механізм внутрішнього подвоєння частоти. Наприклад, процесор 486 DX2-66 встановлюється на 33-Мгц системну плату. Моделі SX відрізняються від DX тільки відсутністю вбудованого (co-) процесора. Процесори сімейства DX4 мають кеш-пам'ять 16 Кбайт і призначені для встановлення на 25- і 33-Мгц плати.

2) процесор Pentium — один із самих потужних процесорів. Він належить до процесорів з певним набором команд, хоча його ядро має RISC-архітектуру. Це

64-розрядний суперскалярний процесор (тобто він виконує більше однієї команди за цикл), має 16 Кбайт внутрішньої кеш-пам'яті (по 8 Кбайт окремо для даних і команд) і вмонтований сопроцесор. В наш час ситуація на ринку процесорів істотно змінилася під впливом двох факторів. Один з них пов'язаний зі становищем на ринку процесорів і програм, інший — з бурхливим втіленням технології мультимедіа. Основна зміна на ринку процесорів — це поява у фірми Intel потужних конкурентів як в особі альянсу IBM—Motorola—Apple, що випустили новий RISC-процесор, так і в особі декількох фірм, що пропонують свої варіанти процесорів сімейств 486 і Pentium (фірми AMD, Cyrix). Серед процесорів, що можуть зрівнятися за продуктивністю з Pentium слід особливо виділити процесор NX586 виробництва фірми NexGen. Він має декілька переваг над своїм конкурентом. По-перше, він має повністю RISC-архітектуру, що дає вищу продуктивність за порівнянням зі звичайною архітектурою X86. По-друге, кеші команд і даних на кристалі по 16 Кбайт і є вмонтований контролер кеш-пам'яті другого рівня L2, який в Pentium відсутній. Процесор NX586 зберігає принцип теоретично більш продуктивнішої RISC-архітектури, в якій прості команди виконуються швидше складних інструкцій системи X86. Дешифратор-планувальник є центральним пристроєм оригінальної архітектури RISC86. Пристрій здійснює трансляцію команд X86 в набір інструкцій RISC86, розподіляє їх в інші блоки процесора, обробляє виключні ситуації і переривання, і відновлює нормальний порядок повернення виконаних команд. Дешифратор-планувальник має логіку передбачення адреси приходу і здійснює випереджуваче виконання і відслідковування багаточисельних потоків команд. Традиційний набір регістрів X86 обмежений 8 регістрами загального призначення і цим він становить «вузьке місце» цієї архітектури. В архітектурі RISC86 використовується метод «перейменування регістрів», при якій мікроархітектура має більше фізичних регістрів, ніж доступно в програмній моделі X86. Декодер-планувальник управляє цим великим регістровим файлом, динамічно назначаючи і відслідковуючи відображення регістрів RISC86 в регістри X86. Завдяки динамічному перейменуванню регістрів гарантується робота без тактів очікування, пов'язаних з браком вільних регістрів, а також те, що кожна інструкція отримає конкретні дані від попередніх інструкцій. Процесор NX586 працює на частоті 93 МГц.

Інші компоненти комп'ютера. До таких належать ті, що здатні передавати і виймати дані з пам'яті обминаючи CPU. Така операція носить назву прямого звернення до пам'яті (DMA — Direct Memory Access) і здійснюється мікросхемою, яка називається DMA-контролером. Основне призначення DMA-контролера полягає в тому, щоб забезпечити для дисководів читання і запис даних, не застосовуючи при цьому мікропроцесор. Так як швидкість вводу/виводу істотно менша, ніж швидкість роботи CPU, DMA забезпечує помітне збільшення загальної продуктивності комп'ютера.

Важливим є тактовий генератор, що служить джерелом багатофазних синхронізуючих сигналів, які забезпечують координацію роботи мікропроцесора і периферійних пристроїв. Інші мікросхеми, які потребують періодичного, тактового впливу отримують його із системного тактового генератора,

розділяючи при цьому базову частоту на деяку константу, щоб одержати сигнал саме тієї частоти, яка необхідна для виконання їх власних задач.

Багато систем, які доступні на РС, являють собою ряд програмованих інтерфейсів управління відеозасобами. Всі відеосистеми мають мікросхему контролера для електронно-променевої трубки, призначення якої полягає в тому, щоб координувати подачу тактових сигналів, що керують відеодисплеєм (рис. 21).

РС мають кілька систем вводу/виводу, кожній з яких відповідає мікросхема управління, що забезпечує інтерфейс між CPU і відповідним пристроєм вводу/виводу. Наприклад, клавіатура має мікросхему спеціалізованого пристрою, який перетворює сигнали, що генеруються під час натискування клавіш. Усі дисководи мають власну мікросхему контролера, яка безпосередньо керує роботою дисковода. CPU здійснює зв'язок з контролером за допомогою послідовного інтерфейсу. Послідовні та паралельні порти мають свої спеціалізовані контролери вводу/виводу.

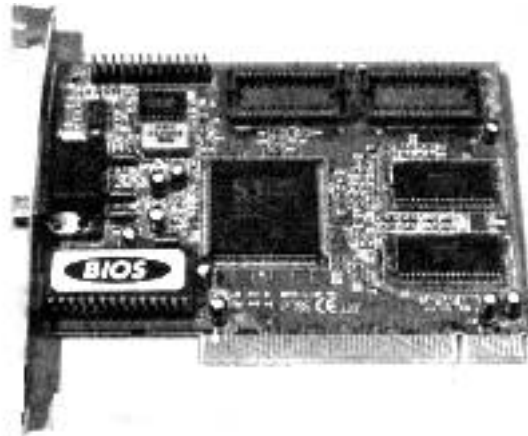


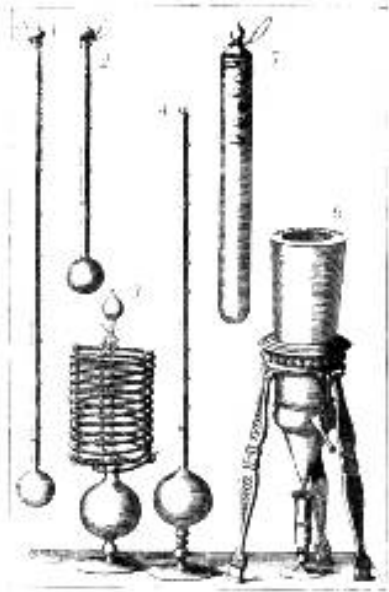
Рис. 21. Графічний контролер персонального комп'ютера

По шині здійснюється передача не лише даних: вона передає живлення і керуючу інформацію, таку як тактові сигнали (від системного генератора тактових сигналів) і сигнали переривання, а також адреси тисяч чи мільйонів комірок пам'яті і багатьох пристроїв, що під'єднані до неї. Для виконання цих функцій шина поділяється на чотири частини: лінії подачі електроживлення, керування, адрес і даних. Кількість, а також ємність мікросхем пам'яті, які знаходяться всередині комп'ютера, визначають ємністю пам'яті, яку ми можемо використовувати для зберігання програм і даних. Ємність обох видів пам'яті (ROM і RAM) можуть бути збільшені за рахунок встановлення додаткових мікросхем пам'яті у вільні гнізда материнської плати, а також встановлення адаптера пам'яті в один із додаткових системних з'єднувачів (слотів — Slots).

Застосування персонального комп'ютера у медицині. Комп'ютери поступово стають засобом першої необхідності у повсякденному застосуванні, насамперед завдяки виконанню функцій обробки даних. Поширене їх застосування і у такій галузі як медицина — під час діагностики, лікування. Тут набули вагомого значення спеціалізовані програмно-апаратні діагностичні комплекси на базі персональних комп'ютерів. Наприклад,

для оперативного визначення типу метеорологічних умов при аналізі стану пацієнта (рис. 23).

Однією з розробок у цьому напрямку можна відзначити програмне забезпечення під символічною назвою «Noah», розробленою в Данії. Воно призначене для підбору лікарем слухових апаратів. Ця програма побудована таким чином, що повністю підходить для запису всіх необхідних аудіологічних даних при слухопротезуванні. Програма проста і зручна в користуванні. З нею можуть працювати всі лікарі клініки, створюючи свою картину і вносячи туди свою інформацію про пацієнтів, їх хвороби, про виробників слухових апаратів, аудіограми. Побудова самої системи дуже нагадує звичайну паперову карточку, в якій за необхідністю можна створювати потрібну кількість каталогів. Вона дозволяє аналізувати всю



(a)



(б)

Рис. 23. Наукові прилади, XVII ст (1-5 — термометри; 6 — гігрометр) — (а) і вигляд сучасного вимірювального комплексу для визначення температури повітря, швидкості вітру та його напрямку, тиску, вологості — (б)

поступаючу медичну інформацію, знаходити користувачів конкретної моделі слухових апаратів, порівнювати їх технічні характеристики. Інформацію із спеціальних приладів, що обстежують пацієнта, можна спроектувати прямо на комп'ютер. При обстеженні пацієнта і підборі для нього слухового апарату програма фіксує і аналізує всі наявні відомості. Графічні зображення, діаграми підказують лікарю все, що потрібно хворому для слухопротезування, даючи характеристику оптимальної моделі апарату.

Слід також відзначити програмно-апаратний комплекс «Speech Viwer». Він складається з двох частин. Перша частина — прикладні програми (модулі) взаємозв'язані між собою та об'єднані в блоки. Друга частина комплексу — апаратна; її основою є персональний комп'ютер типу IBM, модуль 30-286H31, яка містить спеціальну плату (SV adaptor), яка дозволяє розпізнавати і аналізувати поступаючу через мікрофон звукову інформацію, а також додаткове периферійне обладнання — мікрофон і гучномовець. Програмно-апаратний комплекс «Speech

Viwer» допомагає дефектологу відпрацювати всі параметри ритміко-інтонаційної структури мови (інтонацію, темп мовлення, злитість, словесні та логічні наголоси) а також оцінити стан усної мови дитини чи дорослого.

Програмно-діагностичний комплекс «Адаптація-Оліго» призначений для вирішення цілого ряду задач відбору і диференціальної діагностики дітей з порушенням розумового чи фізичного розвитку. Як інструмент психолога-практика, ця програма дає можливість кваліфікувати характер розвитку дефекту, його механізм та степінь вираженості. Вона допомагає встановити потенціальні можливості компенсації дефекту і визначити оптимальні напрямки та орієнтовні строки корекції порушень. Цей комплекс розроблений спільно з ВО «Електронмаш».

10. ЕЛЕМЕНТНА БАЗА РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ АПАРАТУРИ

Матеріали, компоненти, пристрої. Для виготовлення елементів РЕА використовують різноманітні матеріали, як хімічно чисті, так і на основі хімічних сполук. Широкого застосування набули композиційні матеріали, різноманітні пластичні маси. Дія РЕА ґрунтується на використанні електричних явищ, тобто на керуванні струмами, напругами, зарядами, статичними полями, полями випромінювання. Тому основними є матеріали з протилежними електричними властивостями: матеріали і діелектрики, які значно відрізняються питомою провідністю. *Метали* (платина, срібло, мідь, золото, алюміній та ін.) мають високу провідність, тобто малий питомий опір: $10^{-8} \dots 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$. *Діелектрики* (скло, пластмаси, кераміка, кварц, діоксид кремнію, оксиди деяких металів, лакові ізоляційні покриття та ін.) мають малу провідність, тобто високий питомий опір: $10^{16} \dots 10^{22} \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

З винайденням транзистора і відкриттям практичних можливостей його застосування в РЕА великого значення набули *напівпровідники* (германій, кремній, арсенід галію та ін.). По питомому опору (порядку $10^{-5} \dots 10^8 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ вони займають проміжне положення між металами та діелектриками. Особливістю їх використання є вимога хімічної чистоти і строго контролювана для одержання необхідних властивостей кількість легіюючих домішок.

Важливу групу радіоматеріалів складають матеріали з яскраво вираженими магнітними властивостями — *ферромагнетиками*.

Деякі з матеріалів, які застосовуються під час виготовлення РЕА (кварц, рубін, германій і навіть деякі рідини) мають властивості *кристалів*. До таких матеріалів ставляться вимоги правильності кристалічної решітки і точності зрізу кристалу.

Електричні властивості матеріалів (питомий опір, діелектрична і магнітна проникність і ін.) повинні бути стабільними і стійкими до несприятливих зовнішніх впливів (температури, вологості, тиску і т. ін.). В окремих випадках матеріали, що є хімічними сполуками чи композиціями (наприклад, пластмаси), внаслідок неконтрольованих внутрішніх фізико-хімічних процесів можуть змінювати свої початкові властивості. Кажуть, що такі матеріали «старіють». Старіння матеріалу — це невідворотне явище. Воно призводить до зміни

електричних і інших властивостей матеріалів і, як наслідок, до порушення працездатності РЕА. Конструктор нового виробу повинен враховувати ці явища.

Радіоелектронній пристрій є сукупністю елементів, організованих відповідним чином у відповідності з призначенням та принципом дії. Ефективність систем, параметри РЕА значною мірою визначаються *елементною базою* тобто характеристиками використовуваних в них інтегральних схем, електровакуумних і напівпровідникових пристроїв, резисторів, конденсаторів, котушок індуктивності, контактних пристроїв і т. ін.

Компоненти (електрорадіоелементи) радіопристроїв — це «будівельні напівфабрикати» в радіоелектроніці. Їх грамотним вибором радіоінженер впливає на якість пристрою, аналогічного тому, як архітектор впливає на функції і тип споруди, чи сукупності пристроїв, що утворюють радіосистему.

Радіоінженер, починаючи розробку принципової схеми, вирішує, які стандартизовані елементи, що випускаються промисловістю, доцільно використати. В окремих випадках він може ставити задачу розробки нових (позаноменклатурних) елементів з поліпшеними або принципово новими властивостями.

Класифікація електрорадіоелементів. Розробку і промислове виробництво електрорадіоелементів здійснюють переважно підприємства електронної промисловості. Часто вибір компонентів неоднозначний, тому проектування є процесом творчим. Що ж допомагає радіоінженеру вирішити це непросте завдання, коли в його розпорядженні елементи досить обширної номенклатури, різноманітних характеристик і принципів дії? В своїй практиці він постійно звертається до довідників та каталогів. Однак велике значення мають ерудиція, досвід, інтуїція розробника. Все це допомагає спеціалісту вирішити, яким повинен бути потрібний компонент, а довідковий матеріал допомагає знайти його опис та характеристики, необхідні для проведення розрахунків. Все більшу роль в практичній діяльності радіоінженера відіграють системи автоматизованого проектування (САПР) на базі ЕВМ. До складу САПР можуть входити банки різноманітних даних, включно і елементна база. Пошук необхідних елементів в такому разі зводиться до автоматизованого звертання до банків. Роль банку даних виконують пристрої зовнішньої пам'яті ЕВМ на магнітних плівках і дисках. Потрібну інформацію виводять на дисплей і зчитують з нього або роздруковують.

Всі промислові радіоелементи можна розділити на класи, групи за найважливішими ознаками — фізичними, функціональними, технологічними та ін.

Компоненти РЕА можуть бути розподілені на два принципово відмінних класи: активні і пасивні. *Активні елементи* — це різноманітні електронні прибори, які відрізняються принципами дії і призначенням. Активними їх називають тому, що їх функціонування пов'язано зі споживанням енергії від зовнішніх джерел живлення. Як правило, в радіоелектронних пристроях це є електрична енергія. Напруга таких джерел може бути постійною і змінною. Постійною напругою забезпечується живлення анодних і сіткових кіл електровакуумних пристроїв, емітерних і інших кіл транзисторів. Цим

створюється заданий режим роботи активних пристроїв та кіл, до яких вони належать. Джерела постійної (високої) напруги використовують для живлення електронних приборів надвисоких частот, телевізійних і осцилографічних трубок. Джерела змінної напруги використовуються для підігріву катодів електровакуумних приборів.

Таблиця 3.

Класифікація електрорадіоелементів

Активні елементи					Пасивні елементи							
Дискретні			Інтегральні		Постійні				Змінні			
ЕВП	ГРП	НПП	Лінійні	Цифрові	R	C	L	Інші	R	C	L	Інші

Активні компоненти мають низку особливих, тільки їм притаманних властивостей, завдяки яким стає можливим створення генераторів коливань, підсилювачів, модуляторів, пристроїв обробки сигналів і ін. Серед цих властивостей слід відзначити властивості *невзаємності* і *нелінійності*.

Щоб зрозуміти властивість невідповідності, уявімо, що активний елемент грає роль керованого клапана, який дозує надходження в вихідну ланку електричний струм, але не від вхідного керуючого джерела, а від зовнішнього джерела постійної напруги. При цьому витрата енергії на управління суттєво менша, ніж від джерела постійної напруги.

Властивість нелінійності пов'язують з непропорційністю вихідного ефекту вхідному впливові — кілька окремих одночасних впливів викликають ефект, який нееквівалентний сумі окремих ефектів. Властивість нелінійності використовується при створенні пристроїв, що перетворюють форму коливань (наприклад, детекторів, перетворювачів частоти, модуляторів).

Всі активні елементи поділяються на *дискретні* пристрої та *інтегральні* схеми (ІС).

Серед дискретних елементів РЕА виділяють: електровакуумні пристрої (ЕВП) з високим розрідженням повітря в балоні (залишковий тиск біля 10^{-6} Па); газорозрядні пристрої (ГРП) (частіше всього балон заповнений інертним газом під низьким тиском — від долі до тисяч паскалів, залежно від призначення пристроїв); напівпровідникові прибори (НПП).

Великим класом активних пристроїв є *інтегральні схеми* (ІС) — мікроелектронні вироби, що виконують певну функцію перетворення і обробки сигналів. Вони мають високу щільність упаковки електрично з'єднаних елементів. Схемне і конструктивне об'єднання великої кількості елементів в одному кристалі, тобто їх «інтеграція», призвело до появи терміну «інтегральні схеми (точніше і логічніше було б назвати їх «інтегрованими колами»)). В одній ІС можуть бути поєднані сотні і тисячі елементів. За конструктивно-технологічними ознаками ІС поділяються на напівпровідникові і гібридні.

Напівпровідникові ІС зазвичай є кристалом кремнію, в поверхневому шарі котрого в єдиному технологічному циклі сформовано області, еквівалентні елементам електричної схеми (транзистори, діоди, резистори, конденсатори і ін.), а також з'єднання між ними. Технологічні процеси виготовлення напівпровідникових мікросхем носять груповий характер, тобто одночасно виготовляється велика кількість ІС.

Інтегральні схеми виготовляються також шляхом пошарового нанесення *тонких плівок* різноманітних матеріалів на спільну основу (ізоляційну підкладку) і формування на них пасивних елементів і з'єднань. *Гібридні мікросхеми* з'явилися як наслідок комбінування плівкових та напівпровідникових мікросхем і дискретних напівпровідникових активних елементів (транзисторів та діодів).

За допомогою печатного монтажу поєднують дуже малі за розмірами елементи ІС: конденсатори, індуктивні елементи, напівпровідникові пристрої (діоди, транзистори). Резистори формуються як з'єднувальні лінії необхідного січення та довжини, виконані з матеріалу з потрібним питомим опором.

Пасивні елементи функціонують без зовнішніх джерел живлення. Вхідні впливи проходять на їх вихід, відтворюючи закон вхідного впливу без будь-якого підсилення. Властивості цих елементів не залежать від полярності поданої напруги чи спрямування електричного струму. Номенклатура пасивних елементів досить широка (хоча, можливо, і не така широка, як активних елементів). До них належать резистори (умовне позначення на схемах — R , назва одиниці виміру — ом, назва величини — опір), конденсатори (умовне позначення на схемах — C , назва одиниці виміру — фарада, назва величини — ємність), котушки індуктивності (умовне позначення на схемах — L , назва одиниці виміру — генрі, назва величини — індуктивність), та інші елементи.

Пасивні елементи можна класифікувати по ряду ознак: призначенню, діапазону частот, допустимій потужності розсіювання, матеріалам та технології виготовлення, точності відтворення номінальних значень параметрів. Вони можуть мати постійні і змінні (регульовані) параметри. З даною ознакою пов'язані принципові відмінності в їх конструкціях. Елементи зі змінними параметрами, як правило, значно дорожчі, відзначаються більшими габаритами і масою.

Електровакуумні прилади. На даний час багато функцій електровакуумних пристроїв (ЕВП) успішно виконують напівпровідникові прилади, і виконують їх більш надійно за умов меншої витрати електроенергії. Однак, не дивлячись на це, в радіоелектроніці продовжують залишатися інженерні задачі, рішення яких без ЕВП поки що є нереальним. Тому «стара добра» частина активних ЕВП продовжує розвиватися і вдосконалюватися. Електронновакуумні прилади можуть бути розподілені на три основні групи, відмінні своїм функціональним призначенням.

1) ЕВП, які використовуються для формування і перетворення електричних коливань. Однак, можливості даної групи приладів значною мірою вичерпані внаслідок появи напівпровідникових діодів і транзисторів. Мабуть, лише високовольтні діоди, а також деякі типи тріодів і тетродів (тобто трьох- і чотирьохелектродних ламп) поки що незамінні. Високовольтні діоди

продовжують використовуватися в ролі перетворювачів змінного струму в постійний, джерел електроживлення телевізійних та осцилографічних трубок, а також інших (часто досить потужних) ЕВП, що вимагають постійних високих напруг (сотень і тисяч вольт). Тріоди і тетроди застосовують в ролі підсилювальних чи генераторних ламп потужних каскадів радіопередавачів, аж до дециметрового діапазону хвиль.

2) ЕВП, що виконують функцію *перетворювачів носіїв інформації*. Носіями інформації, яку сприймає людина є світло (найбільш інформаційно насичене джерело), звук та інші фізичні процеси, на які реагують органи чуття, а не електричні коливання (що є основними носіями інформації в трактах передачі та обробки інформації). З цієї очевидної причини в каналі передачі інформації від її джерела (наприклад, театральна сцена) до споживача (телеглядача) повинні бути передбачені перетворювачі: світлових та звукових коливань у електричні і електричних у світлові та звукові.

Перетворення звукових коливань в електричні і навпаки відбувається відповідно за допомогою мікрофона і гучномовця (динаміка). Їх принцип дії не пов'язаний з електричними процесами у вакуумі. Такі пристрої не прийнято відносити, до елементів РЕА, тому вони нами не розглядаються.

Перетворювачі типу світло-електричний струм і електричний струм-світло — це ЕВП досить складної конструкції. Їх часто називають передавальними і приймальними телевізійними трубками, хоча вони й мають спеціальні назви (наприклад, відикон, кінескоп). Слід відзначити, що деякі з них, наприклад, кінескопи, — сучасні телевізійні приймальні трубки, навіть віддалено не подібні до трубки. Це, швидше, товстостінні колби великих розмірів з непропорційно широким, майже сплюснутим дном. До приладів такого типу пред'являють надзвичайно високі вимоги. Вони повинні бути чутливими до світлового потоку, мати добу передачу кольору, дрібнозернисте зображення, низький рівень внутрішнього «шуму». При цьому вони повинні бути надійними, забезпечувати потрібний (часто досить великий) формат зображення. Вартість таких ЕВП досить висока. З ними успішно конкурують твердотільні електронні прилади (в дійсності вже зовсім не трубки). Вартість і надійність, геометричні форми і розміри перспективних приладів даного типу сприяють створенню якісно нової телевізійної апаратури.

Промисловістю випускаються спеціальні ЕВП (також «трубки»), які використовують в осцилографах і використовуються для візуального дослідження електричних процесів в електронних ланках. Вони також незамінні при проведенні експериментальних досліджень, накладці і контролі РЕА та в умовах підвищеної радіації. Спеціальні трубки застосовують як закінчені пристрої радіолокаційних станцій, дисплеїв ЕОМ.

3) Фотоелектронні помножувачі (ФЕП) призначені для індикації слабких світлових потоків шляхом їх перетворення в керований потік електронів. Дія таких пристроїв ґрунтується на використанні явища фотоелектронної емісії. Під дією світла чутливий шар фотокатода випускає електрони, які, розганяючись в електричному полі, набувають необхідної кінетичної енергії. При попаданні на електрод (називається діодом), електрони «вибивають» з нього вторинні

електрони. Таке явище називається вторинною електронною емісією. Потік вторинних електронів може в кілька разів перевищувати потік первинних (в залежності від набутої енергії та матеріалу діода). Таким чином виникає явище примноження числа електронів в потоці, тобто ефект підсилення первинного потоку. Підсилення може бути повторено декілька разів. Багатократно підсилений потік електронів вловлюється колектором (анодом) і спрямовується у зовнішню ланку, де реєструється чи піддається подальшій обробці. Вся конструкція (катод, діоди, анод) розташована у скляному балоні, з якого випомпане повітря.

Чутливість таких приладів може бути досить високою. Однак існують фактори, які її обмежують. Один з них — це власні шуми ФЕП.

Особливий клас ЕВП складають прилади, дія яких ґрунтується на використанні *інерції електронів*. Застосування звичайних радіоламп в діапазоні надвисоких частот (НВЧ) виявляється практично неможливим. Причина полягає в тому, що на НВЧ значною мірою впливають міжелектродні ємності ламп, індуктивності сполучення ламп з коливальними ланцюгами, кінцевий час прольоту електронами міжелектродного простору лампи. Внаслідок вказаних факторів різко знижується ефективність роботи звичайних ЕВП. Крім того, через збільшення втрат і зменшення потрібних ємностей і індуктивних кіл на НВЧ різко погіршуються резонансні властивості. Тому на НВЧ звичайні конструкції коливальних контурів виявляються непридатними.

Науковий і винахідницький пошук привів до появи ЕВП, в яких активна частина, тобто власне лампа, і пасивна, тобто коливальний контур, що є повним резонатором з розмірами, співрозмірними з довжиною хвилі (дециметри, сантиметри, міліметри) конструктивно об'єднані. В таких пристроях використовується ефект взаємодії електронів з полем електромагнітної хвилі. Рух та гальмування електронів, їх групування в просторі пристрою і коливальний процес в резонаторах фазуються таким чином, що кінетична енергія електронів внаслідок гальмування в полі резонатора поповнює енергію коливальної системи (у цьому і полягає використання інерції електронів). Такі системи можуть застосовуватися для підсилення коливань НВЧ і їх генерації. Пристрої даного класу можуть відрізнятися особливостями реалізації принципу дії, що завжди ґрунтується на використанні інерції електронів, конструктивними рішеннями, потужністю, робочою частотою. На їх використанні ґрунтується робота переважної кількості сучасних радіосистем (радіолокації, радіоуправління, передачі повідомлень, комплексів космічної радіоелектроніки).

Газорозрядні прилади. Умовно можна сказати, що газорозрядні прилади (ГРП) виконують допоміжну роль в РЕА. Клас газорозрядних утворюють стабілітрони, знакові індикатори, тиратрони та інші прилади.

Принцип роботи *стабілітронів* ґрунтується на використанні явища тліючого розряду. Розряд виникає в просторі між електродами, який заповнений інертним газом при помірному тиску (одиниці, сотні паскалів). В режимі тліючого розряду при зміні струму навантаження напруги на приладі залишається практично незмінним.

Широкого поширення в РЕА набули *знакові індикатори*. Найпростіший з них — це широко відомі неонові лампи, що використовуються для індикації

напруги (увімкненого стану приладу) та виконання інших елементарних індикаторних функцій.

Широкого використання набули також *багатоелектродні знакові індикатори*, що мають анод (іноді два) у вигляді тонкої сітки і катода, що повторюють за фігурацією цифри (0, 1, ..., 9). Можливе створення й інших знаків, суттєвих при відображенні інформації. Подаючи напругу між одним із катодів і анодом можна викликати свічення (індикацію у вигляді заданого знаку).

Такі індикатори знаходять застосування у вимірювальних приладах (частотометрах, вольтметрах, та ін.) з цифровим відліком.

Внаслідок розвитку індикаторної техніки на основі газорозрядних приладів були створені індикаторні панелі, що представляють собою матричну анодно-катодну систему, утворену сукупністю ортогональних «шин». В місцях їх перетину (кількість перетинів може бути значною — десятки, сотні тисяч) створюються локальні мініатюрні газорозрядні елементи. При подачі необхідних керувань напруг на шинах можна викликати свічення в будь-якій точці індикаторної панелі або в довільній сукупності точок.

Такі панелі можуть бути використані для відображення інформації в будь-якій формі — цифровій, графічній, текстовій.

Їх можна використовувати як індикаторні вихідні пристрої радіосистем, наприклад, радіолокаційних станцій виявлення та розпізнавання в якості крупномасштабних дисплеїв ЕВМ.

Тиратрони — це газонаповнені пристрої з сітковим (багатоелектродним) керуванням розрядом. На їх основі можуть бути створені логічні пристрої виконання логічних операцій типу «і» або «чи» та ін.

Напівпровідникові прилади. Даний клас активних елементів надзвичайно обширний. В основу його класифікації можна було б покласти велику кількість ознак: використовуваний матеріал, конструкцію чи технологію виготовлення, потужність, діапазон робочих частот, область застосування та ін. Можна взяти за основу за функціональні ознаки. Всі прилади розподіляють на дві групи, які логічно доповнюють одна одну: прилади, які використовують для формування і перетворення електричних коливань, і прилади, які застосовують при перетворенні носіїв інформації. Аналогічно класифікуються і ЕВП. Відмінність полягає в тому, що серед напівпровідникових відсутні прилади, принцип дії яких ґрунтується на використанні інерції електронів.

До кожної групи приладів, в свою чергу, належить велика кількість типів пристроїв, що відрізняються принципами дії, використовуваними матеріалами, сферами використання, потужностями, частотними характеристиками, видами робочих характеристик, чутливістю та іншими ознаками.

Напівпровідникові діоди є аналогами електровакуумних діодів, мають подібні їм електричні характеристики. До цієї групи належать випрямні, спеціальні імпульсні, змішувальні, детекторні та інші діоди. Вони виготовляються здебільшого на основі германію та кремнію. Вимоги до приладів залежать від їх призначення. Випрямні діоди повинні забезпечувати задані значення випрямленого струму і зворотної напруги, перевищення яких може викликати пробій приладу. Важливою характеристикою є допустима потужність

розсіювання і пов'язана з нею робоча температура. Для випрямних діодів несуттєві такі параметри, як міжелектродна ємність і індуктивність виводів, які проявляють вплив на високих і надвисоких частотах. Випрямні діоди працюють, як правило, або на промисловій частоті (50 Гц), або на помірно високих частотах. Для збільшення струму випрямних діодів збільшують площу їх активної зони (область електронно-діркового переходу). Такі діоди називають площинними.

На відміну від вакуумних характеристики напівпровідникових приладів залежать від температури. Для забезпечення температурного режиму застосовують спеціальні тепловивідні конструкції.

Основною характеристикою імпульсних діодів є швидкодія. Для підвищення її потрібно зменшити міжелектродну ємність і забезпечити потрібні характеристики таких процесів, як дифузія і рекомбінація носіїв (електронів і дірок).

В імпульсному режимі роботи через діод проходять пікові значення струму і напруги, що проводяться в паспорті на прилад. Потужність розсіювання зазвичай не є великою — десятки міліват.

Зміщувальні (перетворюючі) діоди застосовують в радіоприймальних пристроях для перетворення частоти коливань. У діапазоні НВЧ за допомогою зміщуючих діодів здійснюється перетворення робочої частоти сигналу — зменшення її до кількох десятків мегагерц. Зміщуючі діоди — це діоди з точковим контактом. Вони можуть вмикатися безпосередньо в тракт НВЧ (хвилеводний, коаксіальний) приймача, завдяки чому зменшується паразитна ємність і індуктивність їх виводів. Діоди повинні мати хороший коефіцієнт передачі і малий рівень шумів перетворення. Вони чутливі до перевантаження. Виконавши ці вимоги, можна створити приймачі на базі суміщуючих діодів, які відрізнятимуться високою чутливістю. Проходження імпульсного сигналу через діод не повинно викликати у ньому незворотніх явищ. Імпульсна потужність часто обмежується десятками міліват, а середній струм перетвореної частоти — долями міліампер.

Детектування коливань, як правило, відбувається не на НВЧ, а на більш низькій проміжній частоті. Тому до детекторних діодів не пред'являють високих вимог, як і до перетворюючих діодів. Детекторні діоди повинні мати хороший коефіцієнт передачі, що визначається відношенням приросту випрямленого струму до приросту амплітуди коливань проміжної частоти, яка діє на його виході.

До напівпровідникових діодів належать також стабілітрони, варікапи та деякі інші діоди.

Стабілітрони застосовують для стабілізації напруги, принципом їх дії є явище пробою. В даному випадку пробій — явище позитивне, не пов'язане з руйнуванням приладу. Він настає при певному критичному значенні зворотної (від'ємної) напруги на діоді. Це значення складає кілька вольт і залежить від концентрації домішок в напівпровіднику. По суті, стабілізатором є система — джерело живлення з постійною напругою (або струмом), а стабілітрон — давачем опорної напруги.

Варікап — це керований напругою конденсатор. У варікапах використовується ємність зворотньоозміщеного $p-n$ переходу. Варікап еквівалентний змінному конденсатору з електрично керованою ємністю. Застосовують варікапи досить різноманітно, наприклад в помножувачах частоти, у високочутливих НВЧ. Одне із найпоширеніших застосувань — в коливальних колах частотних модуляторів.

Транзисторами називають напівпровідникові пристрої, які використовуються для підсилення і генерування коливань. Розрізняють біполярні та польові транзистори. *Біполярним* транзистором називають напівпровідниковий пристрій, властивості якого зумовлені явищами інжекції і екстракції неосновних носіїв зарядів. Ці транзистори називають біполярними тому, що їх робота ґрунтується на використанні носіїв обох знаків — електронів і дірок. Його основні елементи — електроди: емітер (Е), база (Б), колектор (К). Залежності струмів і напруг в такому колекторі є нелінійними і невзаємними, що зумовлює можливість підсилення коливань чи перетворення їх форми. Транзистори мають три основні схеми ввімкнення в електричну мережу: зі спільною базою, зі спільним еміттером, зі спільним колектором. Слово «спільний» означає «назначення» відповідного електроду, від якого ведеться відлік напруг у колі. Від схеми ввімкнення залежить ряд характеристик кола, таких як вхідний і вихідний опір, коефіцієнт підсилення і т. ін.

Біполярні транзистори відрізняються основним матеріалом (кремній, германій, арсенід галію), типами ($p-n-p$ і $n-p-n$), потужністю, діапазоном робочих частот, особливостями конструкції.

Польові транзистори — це напівпровідникові прилади, в яких керування струмом здійснюється напругою (електричним полем). Їх робота ґрунтується на переміщенні носіїв заряду тільки одного знаку, тому їх називають також уніполярними. Керування струмом відбувається в якомусь певному шарі між його електродами, що зветься витокком (В) і стоком (С). Цей шар грає важливу роль провідного каналу. Керуюча напруга між третім електродом і затвором (З) та витокком формує в каналі поле, яке керує його ефективним січенням. Як наслідок, змінюється опір каналу від витокку до стоку. Принцип керування має аналогію з управлінням струмом в трьохелектродній лампі (тріоді) шляхом зміни потенціалу сітки по відношенню до катода.

Польові транзистори також мають три схеми включення: зі спільним витокком, зі спільним стоком, зі спільним затвором.

Перевагою польових транзисторів є те, що вони мають високий вхідний опір (до 10^{15} Ом), внаслідок чого вони не навантажують попередні ланки, не погіршують їх вибіркових та резонансних властивостей. Їм властивий також низький рівень власних шумів, висока швидкодія, широкий діапазон частот підсилюваних коливань (до сотень мегагерц).

До групи напівпровідникових належать пристрої, які використовуються для *перетворення носія інформації*. Поширеними є прилади, струм через які залежить від попадання на них світлового потоку. Такі пристрої називають *фоторезисторами*. Їх дія ґрунтується на зміні опору напівпровідника при опроміненні світлом. Залежно від матеріалу фоторезистори можуть мати

найбільшу чутливість в різних ділянках оптичного діапазону довжини хвиль. Фоторезистори мають хорошу чутливість, прості та надійні. Їх застосовують в ролі приймачів оптичного випромінювання.

Аналогічну задачу перетворення можна вирішувати, застосовуючи *фотодіоди і фототранзистори*. Керування струмом через такі пристрої відбувається за рахунок впливу світла на область напівпровідникового переходу. Світловий потік викликає в цій зоні генерацію вільних носіїв заряду. Якщо для фоторезистора полярність зовнішнього джерела живлення ролі не грає, то напрямок струму через фотодіод чи фототранзистор визначається типом переходу. Фотодіоди досить чутливі. Чутливість їх зростає, якщо використовується явище лавинного примноження носіїв (зовні подібне тому, яке відбувається в ФЕУ). В фототранзисторі збільшення чутливості відбувається за рахунок ефекту підсилення.

Важливу роль в сучасній радіоелектроніці відіграють світловипромінюючі напівпровідникові пристрої, принцип дії яких ґрунтується на явищі люмінісценції — здатності деяких матеріалів випромінювати світло при проходженні через них електричного струму чи внаслідок дії на них електричного поля. Це явище використовується при створенні напівпровідникових *світлодіодів*, які перетворюють електричну енергію в світлову. В залежності від використовуваних матеріалів можна створювати випромінювання різних кольорів (жовтий, синій, червоний, зелений). Характеристики світлодіодів достатньо стабільні. Використовуючи декілька певним чином розташованих кристалів, на основі світлодіодів можна побудувати візуальні знакові індикатори.

Комбінація фотодіодів (фоторезисторів) і світлодіодів дає змогу одержати прилади, яким притаманна ціла низка нових властивостей. Такі прилади одержали назву *оптронів*. Вони забезпечують гальванічну розв'язку електричних кіл, при цьому мають досить малу прохідну ємність та інші переваги. Сучасна технологія дає змогу виконати такі пристрої в інтегральному виконанні. Очікується, що застосування оптронів в радіоелектроніці в подальшому розширюватиметься. Одне з перспективних його застосувань — побудова телевізійних матриць для приймання та передачі зображення, оптоелектронні процесори.

Лінійні інтегральні схеми. Лінійні інтегральні схеми (ЛІС) одержали свою назву внаслідок того, що їх дія здебільшого пов'язана з лінійним відтворенням електричних процесів — підсиленням, фільтрацією, інтегруванням і т. ін. В окремих випадках ЛІС застосовують в режимах нелінійних перетворень з метою, наприклад, побудови перетворювачів частоти, фазових детекторів. Однак, це не порушує спільності назви, оскільки основні параметри результату нелінійного перетворення, наприклад, амплітуда коливання перетвореної частоти чи продетектоване коливання, повинні і в даному випадку бути пропорційними параметрам вхідного коливання, наприклад його амплітуді, фазі. На основі ЛІС створюють генератори гармонічних коливань і коливань інших форм.

Лінійні інтегральні схеми мають велику кількість напівпровідникових пристроїв і пасивних елементів. Підключення джерел живлення постійної напруги (кілька вольт), а також елементів зовнішнього кола — конденсаторів, резисторів,

катушок індуктивності — дає змогу на основі ЛІС створювати різноманітні пристрої. Вони компактні, надійні, споживають невелику потужність.

Більшість промислових ЛІС — це підсилювачі, що складаються з кількох окремих підсилюючих каскадів на транзисторах. Такі мікросхеми стандартизовані. Їх називають також операційними підсилювачами. Ця назва пов'язана з можливістю їх застосування для рішення багатьох задач перетворення коливань, тобто здійснення операцій над ними. Частота відтворюваних частот таких підсилювачів сягає від нуля до десятків мегагерц. Таким чином, ці підсилювачі належать до класу підсилювачів низьких частот (смуга пропускання обмежена зверху). Оскільки вони відтворюють і повільні коливання з частотами як завгодно близькими до нуля, такі підсилювачі в повсякденній практиці називають (хоча це і не зовсім точно) підсилювачами постійного струму.

Можливості і сфери застосування ЛІС пов'язані з реальними значеннями їх параметрів. Основними є коефіцієнт підсилення, смуга частот, вхідний та вихідний опір. Суттєвими є також температурні коефіцієнти, значення похибок через зміну напруги джерела живлення і температури, споживча потужність і т. ін. Для реалізації деяких функцій потрібен високий коефіцієнт підсилення — сотні тисяч і більше. Великим повинен бути також вхідний опір — сотні кілоом і більше і малий вихідний опір — порядку десятків — сотень ом. Для забезпечення стійкості підсилювачів з вказаними параметрами застосовують спеціальні схеми побудови, в яких заборонені роздільні конденсатори між каскадами (адже необхідно пропускати як завгодно повільні коливання). Це, в свою чергу, призводить до небезпеки впливу зміни напруги джерела живлення, а також температурного дрейфу транзисторів.

До складу ЛІС (в єдиному інтегральному виконанні) можуть входити елементи стабілізації напруги і струму, обмежувачі. Ці елементи виконують на основі напівпровідникових діодів та транзисторів. Для живлення РЕА можна використовувати стабілітрони і підсилювачі в інтегральному виконанні.

Слід зупинитися ще на одному типі ЛІС — *пристроях з зарядовим зв'язком* (ПЗЗ). Особливість цих пристроїв полягає у тому, що вони ґрунтуються на дискретному (але не на цифровому) принципі дії. Їх ще називають також дискретно-аналоговими. Це їх зовнішня особливість. Внутрішня, фізична особливість полягає в способі управління таким пристроєм — переносом локального заряду. Конструктивно це має вигляд матриці чи смуги конденсаторів, виконаних на одному кристалі. Кожен конденсатор можна розглядати як керовану «пастку» заряду типу потенційної ями. Накопичений заряд може зберігатися в комірці, але не як завгодно довго, оскільки мають місце процеси «розсмоктування» заряду. При подачі на електрод напруги відбувається зчитування заряду (перенос його в іншу комірку).

Можливе застосування таких пристроїв досить різноманітне, наприклад в матричних чи лінійних приймачах зображення. Для цього елементи повинні мати світлочутливі електронно-діркові переходи. В поєднанні з ультразвуковими лініями затримки ПЗЗ дають змогу формувати фільтри для обробки сигналів і для формування сигналів з параметрами, недосяжними в «чисто» аналогових фільтрах. На основі ПЗЗ можна створювати оператори, що реалізують поширені в

радіоелектроніці математичні операції згортки, перетворення Фур'є та ін. Вдосконалення ПЗЗ просувається в напрямку підвищення їх роздільної здатності (підвищення щільності «упаковки» елементів) розширення динамічного діапазону (здатності працювати як при дуже слабких сигналах, так і при дуже сильних), збільшення швидкодії, ефективності переносу і зберігання зарядів.

Цифрові інтегральні схеми. Цифрові інтегральні схеми (ЦІС) можуть бути напівпровідниковими і гібридними. Цифрові схеми використовують при створенні ЕОМ.

Радіоінженеру, як правило, доводиться займатися проектуванням універсальних ЕОМ. Це справа інженерів інших спеціальностей. Хоча можна навести і приклад, коли радіоінженери успішно займалися розробкою обчислювальної техніки і досягали при цьому задовільних результатів.

Сьогодні тісно сплелися між собою розробка принципів науково-технічних рішень і їх реалізація на сучасній елементній базі. Друге нероздільно пов'язане з першим. Неоптимальне виконання другої частини задачі порушує закладені принципи і не призводить до бажаних результатів. З іншого боку, основні принципи і очікувані показники, що закладаються в нову схему, повинні бути вже на етапі задуму узгоджені з можливостями реалізації при даному стані елементної бази і технології. Цифрова обробка інформації і цифрове управління в радіосистемах стали їх невід'ємною часткою.

Дуже часто цифрові способи передачі і обробки інформації виявляються єдино можливими. Радіоінженер в такій ситуації виступає як конструктор і цифрових пристроїв — фільтрів, синтезаторів частоти, дискримінаторів, формувачів сигналу і т. ін. По суті, це є ЕОМ, але вмонтовані в РЕА і спеціалізовані на конкретні рішення конкретних «апаратурних» задач. Нерідко в таких ЕОМ допускається можливість перепрограмування, тобто вони повинні бути гнучкими і адаптивними.

Усі ЦІС, які виробляє промисловість різняться структурою, сферою застосування і використання, швидкістю, ступенем інтеграції. Мікросхеми стандартизовані. У більшості випадків радіоінженеру не доводиться вникати в принцип побудови ІС. Достатньо знати лише зовнішні характеристики деталей, що запаєні в герметичний корпус з великою кількістю виводів, їх призначення і можливість забезпечити нормальне функціонування у складі цілого приладу.

Цифрові ІС виконують логічні операції такі як: «І», «АБО», «НЕ». В одному корпусі ІС може знаходитися декілька логічних елементів, тобто ЦІС відрізняються також і за своєю складністю.

В ролі запам'ятовуючого пристрою використовують *тригери* — пристрій з двома стійкими станами, яким умовно приписують значення «0» або «1». Відповідно, тригер є коміркою для зберігання однієї двійкової одиниці інформації — одного *біту*. На основі тригеру можуть бути створені накопичувачі — *лічильники*. В найпростішому випадку, якщо утворювати послідовний ланцюг тригерів, то одержимо накопичувач, розрядність котрого в двійковій системі числення визначатиметься кількістю тригерів. З'єднуючи певним чином такі ланцюги, можна одержати *запам'ятовуючий пристрій* для

зберігання значної кількості інформації. На основі таких накопичувачів створюються так звані оперативні запам'ятовуючі пристрої (ОЗУ).

Різновидністю лічильника є *реєстри зсуву*.

В міру ускладнення функцій, збільшення місткості накопичувачів ступінь інтеграції ЦМС зростає. В даний час виробляються великі інтегральні мікросхеми (ВІС) і надвеликі (НВІС). Своєю появою вони завдячують розвиткові технології, яка допускає високий рівень інтеграції і економічно доцільний рівень бездефектного входу ІС.

Разом з тим висока інтеграція об'єктивно призводить до звуження «спеціалізації» приладів, зменшенню їх універсальності. Вихід з такої суперечливої ситуації був знайдений у створенні перепрограмовних пристроїв чи, як їх ще називають, приладів з гнучкою логікою — мікропроцесорів і мікропроцесорних комплектів ВІС. До мікропроцесорного комплекту ВІС входять власне мікропроцесор, програмована логічна матриця (пам'ять), в яку «зашивають» задані програми роботи, та інші функціональні пристрої (ВІС). Обчислювальні прилади на основі мікропроцесорів часто називають мікроЕОМ. Спеціалізуючи програму обробки, мікропроцесорні пристрої можна вмонтовувати в РЕА, де вони здійснюють операції фільтрації, обробки результатів вимірювання, керування і т.д.

Пасивні електрорадіоелементи. У відповідності з класифікацією (таблиця 3) розрізняють пасивні елементи з постійними і змінними параметрами. Перша група більш обширна. Це пояснюється тим, що такі елементи як перемикачі, вимикачі, різні типи з'єднувачів, елементи сенсорного управління (управління доторком) призначені для поєднання електричних кіл, перемикання режимів роботи пристроїв і не мають керованих параметрів.

Електрорадіоелементи характеризуються номінальними значеннями параметрів. Однак, реальні значення параметрів ніколи не співпадають з номінальними. Вказані відхилення визначаються встановленим допуском. В залежності від вимог до даного пристрою, допуски на радіоелементи можуть коливатися від тисячних долей відсотку (наприклад, для високоточних і стабільних кварцових резонаторів) до кількох десятків відсотків (наприклад, для електролітичних конденсаторів, які виконують в колах РЕА допоміжну функцію).

Для багатьох типів електрорадіоелементів велике значення мають стабільність основних параметрів у часі. Очевидно, що висока точність виготовлення (малі допуски) логічно може бути виправдана, якщо РЕА не буде піддаватися помітному впливові несприятливих (дестабілізуючих) зовнішніх факторів (температури, тиску, вологості і т. ін.), що призводять до незворотних і неконтрольованих змін фізико-хімічних властивостей матеріалів. До найбільш суттєвих характеристик радіоелементів належать: *надійність, економічність, технологічність* (тобто ступінь складності організації технологічного процесу їх виробництва) *вартість, габаритні розміри, маса* та ін.

Одну з основних груп складають *резистори*. Основним параметром резистора є його опір електричному струмові. Одиниця виміру опору є 1 Ом. В радіоелектроніці часто використовують більші одиниці виміру: $1 \text{ кОм} = 10^3 \text{ Ом}$ і $1 \text{ МОм} = 10^6 \text{ Ом}$. Розрізняють резистори постійного опору і резистори змінного

(регульованого) опору. Як одні, так і інші застосовують для формування струмів і напруг в колах у відповідності з режимом і принципом роботи РЕА.

Протікання струму через резистор призводить до його нагрівання і випромінювання тепла. Розсіювана резистором потужність може складати доли ват у вхідних колах приймачів і сотні ват в потужних каскадах РЕА. Зі зміною температури відбувається і деяка зміна опору резистора, що часто небажано, а іноді просто недопустимо.

Вплив температури на опір резистора визначається *температурним коефіцієнтом* опору (ТКО) — відносною зміною опору на один градус зміни температури. Допустиме значення ТКО залежить від конкретного призначення резистора і може складати досить невеликі значення: $10^{-4} \dots 10^{-5}$ 1/К.

Резистори, які застосовуються в РЕА можуть класифікуватися за матеріалом, допустимою потужністю розсіювання, способу захисту від вологості, конструктивному виконанню. Найбільш обширну групу складають недротяні резистори. До них належать вуглецеві, композиційні, металоплівкові і т.д. Такі резистори мають цілу низку переваг у порівнянні з дротяними: мають хороші частотні властивості, малі розміри, невисоку ціну, широку шкалу номінальних значень. Однак, зазвичай вони використовуються при невеликих потужностях розсіювання (долі — одиниці ват). В колах з підвищеними потужностями застосовують дротяні (постійні і змінні резистори), опір яких зазвичай не перевищує кількох десятків кілоом.

З метою стандартизації і економії виробництва за номінальними значеннями промислово випущені резистори згруповані в *ряди номіналів*. За очевидних міркувань не раціонально застосовувати надто щільну послідовність номінальних значень, якщо допуски на реальні значення великі. Чим менший допуск, тим «щільніше» ряд. За цим принципом побудовано ряди номіналів резисторів масового виробництва.

Змінні резистори застосовують в колах з помірно високими частотами (на високих частотах починають проявлятися «паразитні» параметри резистора — ємності і індуктивності його конструктивних елементів) в звукових підсилювачах та підсилювачах відеосигналу, колах регулювання постійних напруг на електродах електронних приладів.

Кожен з нас неодноразово вимірював гучність або тембр звучання магнітофону чи радіоприймача, встановлював яскравість чи контрастність зображення на екрані телевізора. Всі ці операції здійснюють, плавно змінюючи опір резистора. Плавною зміною опору керують також частотою рядків і кадрів, досягаючи стійкого зображення.

Змінні резистори розрізняються за цілою низкою ознак. Однією з головних вважається максимальний опір. Так, промисловістю виготовляються низькоомні резистори (максимальний опір — десятки — сотні ом), резистори з середнім значенням опору (кілооми — десятки кілоом) і високоомні (одиниці мегаом). Низькоомні резистори зазвичай виконуються з тонкого металічного дроту з високим питомим опором (ніхром, вольфрам). Дротяні резистори спроможні розсіювати значну потужність. Змінні резистори відрізняються за такими ознаками як конструктивні особливості, маса, габаритні розміри.

Конденсатори — це елементи, яким властиво накопичувати електричні заряди. Конструктивно вони мають розділені діелектриком струмопровідні прокладки. Головними параметрами конденсаторів є їхня *ємність*. Ємність вимірюється у фарадах (Ф). Практично у радіоелектроніці використовують конденсатори ємністю в долі фарад: пікофаради ($1\text{пФ} = 10^{-12}\text{ Ф}$) і мікрофаради ($1\text{мкФ} = 10^{-6}\text{ Ф}$).

Розрізняють конденсатори *постійної* та *змінної* ємності. Найбільше поширення одержали конденсатори постійної ємності. Їх параметри і конструкції є надзвичайно різноманітними. Вони використовуються при побудові частотно-вибіркових кіл (резонансних контурів радіопередавачів і радіоприймачів), фільтрів, в якості роздільників у колах постійного і змінного струму.

В основу класифікації конденсаторів постійної ємності може бути покладено багато різноманітних ознак, наприклад тип діелектрика, робоча напруга. В радіоелектроніці найбільшого поширення набули конденсатори з твердим діелектриком. В залежності від призначення застосовують конденсатори з неорганічним діелектриком (слюда, кераміка, скло), з органічним діелектриком (папір, спеціальні плівки), з оксидним діелектриком (електролітичні конденсатори — алюмінієві, ніобові). Конденсатори кожного типу характеризуються *діапазоном* номінальних значень ємності, її *стабільністю* — температурним коефіцієнтом ємності (ТКЄ), *опором ізоляції*, *електричною міцністю* — робочою напругою або допустимою реактивною потужністю, габаритами. Так, в колах, де вимагається не надто велика ємність, а *добротність* конденсатора достатньо висока (малі втрати в діелектрику), можуть бути використані слюдяні чи керамічні конденсатори, наприклад в коливальних (вибіркових) контурах радіопередавачів і радіоприймачів.

Електролітичні конденсатори при відносно малому об'ємі мають велику ємність (сотні і тисячі мікрофарад). Однак їх добротність залишає бажати кращого, а розкид ємності (допуск) досить значний — до десятків відсотків від номінальної. Їх особливістю, пов'язаною з властивостями оксидного діелектрика, є різка залежність його опору від полярності прикладеної напруги. Тому такі конденсатори можна застосовувати в колах, де постійна напруга більша від максимального значення змінної складової, тобто сумарна напруга не змінює свого знаку — є уніполярним. Їх успішно застосовують як блокуючі. Такі недоліки як мала добротність чи розкид значень ємності, в цьому випадку значення не мають.

Внаслідок вказаних причин застосування електролітичних конденсаторів в колах точної настройки і високої добротності є неможливим.

Номінальні значення ємностей промислово випущених конденсаторів (як і резисторів) стандартизовані.

Конденсатори змінної ємності застосовують для настройки високочастотних кіл радіоприймачів і деяких типів радіопередавачів. Кожен з нас здійснював настройку обертового радіоприймача на хвилю станції, плавно змінюючи ємність конденсаторів, з яких складається коливальні контури (резонансні кола) радіоприймача.

Конденсатори змінної ємності відрізняються конструктивним виконанням, коефіцієнтом перекриття (відношенням максимального значення ємності до мінімального), використанням діелектриком, законом зміни ємності та ін. До змінних належать так звані підстроечні конденсатори невеликої ємності, де в ролі діелектрика часто використовують спеціальну кераміку. Їх використовують для «підгонки» початкового значення ємності електронного кола. Після такої операції ємність підстроечних конденсаторів залишається незмінною.

Котушки індуктивності — це елементи об'ємної чи плоскої конструкції. Вони використовуються для утворення кіл генераторів гармонічних коливань, резонансних підсилювачів і т.д. Основним параметром котушки є її індуктивність, що виражається в генрі (Г). Індуктивність реальних елементів РЕА подають в мілігенрі ($1 \text{ мГ} = 10^{-3} \text{ Г}$) чи в мікрогенрі ($1 \text{ мкГ} = 10^{-6} \text{ Г}$).

Котушки індуктивності на відміну від резисторів і конденсаторів не належать до продукції масового виробництва і, відповідно, універсального застосування. Зазвичай при проведенні нових розробок створюються і нові зразки індуктивних елементів (якщо попередні з якихось причин не задовольняють розробника) тобто інженеру доводиться не лише вибирати тип котушки, (з необхідними електричними параметрами) але й нерідко самому проектувати її.

Конструкція індуктивного елемента розраховується під потрібне значення номіналу — індуктивності. Однак, в силу технологічних причин реальне значення індуктивності відрізняється від розрахованого і може знадобитися підстройка. Але якою б точною не була підстройка, з часом індуктивність через «старіння» матеріалу і впливу зовнішніх чинників може змінюватися. Природно, що вимоги до точності і стабільності індуктивності елемента диктуються загальними вимогами до розроблюваного пристрою.

Індуктивність — основний, але не єдиний параметр котушки. В ній виникають втрати електричної енергії (в провіднику, каркасові, осерді, екрані, втрати на випромінювання), ступінь прояви яких зростає з частотою. Це небажане явище, бо воно погіршує характеристики кіл, особливо резонансних. Реактивну потужність можна зіставити з потужністю втрат і характеризувати котушку *добротністю*. Реально добротність індуктивних елементів складає десятки, а для дуже добрих конструкцій котушок — сотні одиниць. З ростом частоти добротність котушок зменшується і на дуже високих частотах їх застосування виявляється недоцільним. В цих випадках використовують принципово інші рішення, що ґрунтуються на явищах в так званих колах з розподіленими параметрами.

Як фізичному об'єктові котушці індуктивності властива власна ємність, іменована часом «паразитною». Наявність такої ємності невідворотна і утруднює застосування котушок на дуже високих частотах. Власна ємність повинна враховуватися під час розрахунків. Її значення в залежності від типу котушок може складати одиниці — десятки пікофарад.

Під час роботи РЕА може виникнути необхідність зміни індуктивності котушки, аналогічно зміні ємності конденсатора. Частіше всього це робиться за допомогою введення феромагнітного або латунного осердя. Котушки змінної індуктивності можна характеризувати, як і конденсатори, коефіцієнтом

перекриття або відносним діапазоном регулювання. Ці та інші параметри котушок значною мірою залежать від їх конструкцій та використаних матеріалів. Котушки можуть виконуватися у вигляді просторових конструкцій, застосовуються також спіралевидні (плоскі) конструкції, виконані способами друкованого монтажу.

Просторові конструкції можуть бути багат шаровими і одношаровими (останні мають суцільну або крокову намотку). Застосовуються як каркасні (пластмаса, кераміка), так і безкаркасні конструкції. Котушки спеціальних типів, що використовуються в потужних каскадах передавачів, мають бути розраховані на значні струми та напруги.

Створення індуктивного елемента є складною, багатофакторною інженерною задачею, розв'язання якої значною мірою впливає на якість апаратури.

11. МЕТРОЛОГІЯ

Метрологією називається наука про правильні вимірювання. Радіоінженер повинен повною мірою володіти її методами, уміти грамотно поставити експеримент, вибрати вимірювальні прилади, провести вимірювання і здійснити обробку його результатів. Досить часто доводиться обґрунтовувати і саму методику експерименту. Оскільки метрологія безпосередньо пов'язана з поняттям якості, то можна стверджувати, що кваліфікація інженера, знання ним теорії і практики мірювання самим прямим чином впливають на кінцевий результат під час виробництва радіоелектронних приладів.

Метрологія використовується на всіх етапах життєвого циклу БМП. Основним завданням метрології на етапі експлуатації БМТ є забезпечення звірки її параметрів та характеристик з номінальною.

Під час виробництва БМТ виконуються послідовності виробничих технологічних операцій. Зокрема, контроль і випробування взірців апаратури. Як правило, виявляють ряд факторів, що не були враховані на етапах проектування та конструювання за допомогою метрологічних заходів. Контролюються також технологічні режими.

На етапі конструювання засоби метрології використовуються при дослідженні макетів БМТ. Це допомагає внесенню відповідних змін в проект виробу, в цілий ряд конструкторсько-технологічних рішень.

Радіоінженер-розробник шукає прийнятне рішення, вільне від виявлених дефектів і таке, що не порушує вимог до якості продукції також за допомогою метрологічних заходів (стандартів).

Метрологія має два аспекти — юридичний та технічний. Юридичний аспект пов'язаний з заходами, що направлені на забезпечення правильності вимірювань та єдності трактування їх результатів шляхом виконання стандартів — починаючи від означень (назви) величин і закінчуючи алгоритмами вимірювань. Невиконання стандарту тягне за собою адміністративну та кримінальну відповідальність у відповідності до Закону.

Технічний аспект метрології пов'язаний з математичними моделями відповідної діяльності, на базі яких створюються потрібні її методики та

програми. Основним поняттям при цьому є поняття похибки. Наприклад, похибкою вимірювання називається різниця між дійсним та вимірним значенням фізичної величини. Розрізняють похибки абсолютні та відносні, інструментальні, методичні та інші. До інструментальних похибок належать основні похибки, привнесенні, динамічні та ін. Джерелом основної інструментальної похибки є неточність самого інструменту вимірювання, що визначається насамперед технологічними можливостями його виготовлення (в тому числі це стосується і до БМТ). Джерелом привнесеної інструментальної похибки є вплив вимірюваної величини на інструмент. Динамічна інструментальна похибка залежить від швидкості роботи інструменту.

Методична похибка залежить від автоматичної моделі вимірюваної величини та способу її вимірювання.

Важливим поняттям при означенні похибки є поняття ймовірності. Якщо похибку неможливо прогнозувати, визначати за певною формулою точно, то її називають випадковою (стохастичною). В процесі вимірювань вона набуває щоразу нових значень. Ці значення належать певному інтервалу значень. Поява кожного конкретного значення може траплятися певну кількість разів. Коли вимірювання провадиться фіксоване число разів, то відношення числа появи певного значення до числа всіх вимірювань часто називають ймовірністю появи цього певного значення похибки, особливо, коли при збільшенні числа вимірювань це відношення прямує до конкретної величини (тоді ще кажуть, що похибка є статистично стійкою). Залежність ймовірності появи кожного значення похибки від його величини називають функцією розподілу ймовірностей значень похибки. Досить часто використовується інша функція — похідна від функції розподілу ймовірностей, густина функції розподілу. Добре відомий нормальний закон розподілу ймовірностей (або, як його ще називають — гаусів закон):

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x} e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma_x^2}}$$

де m_x — найбільш ймовірне значення похибки x , її математичне сподівання, σ — її розсіювання, дисперсія навколо найімовірнішого значення. Цю функцію можна побудувати експериментально. Можна її також знайти, розв'язуючи складну математичну задачу. Найкращою (слухною, незміщеною, ефективною) оцінкою найбільш сподіваного значення похибки є середнє її значення.

За дійсне значення вимірювальної величини при визначенні похибки приймається її математичне сподівання.

За допомогою метрологічних засобів вимірюються насамперед характеристики та параметри біомедичних апаратів та систем. У простому випадку, коли параметром є якась величина (число), то до повного переліку його метрологічних характеристик належать його мінімальне значення (поріг), динамічний діапазон його зміни (різниця між максимальним і мінімальним значенням чи відносна одиниця, в тому числі й у логарифмічному масштабі — у децибелах, неперах, нітах), роздільна здатність (різниця між найближчими сусідніми значеннями метрологічної характеристики), швидкість зміни у часові

(або частотний діапазон його спектру). Крім того, до цього переліку потрібно додати точність кожної метрологічної характеристики (сумарну).

Результат праці інженера на кожному з етапів життєвого циклу БМТ (табл. 9.1.) має вигляд документу — графічного чи текстового. Ці документи також виконуються з дотриманням вимог метрології — відповідних стандартів. Цими стандартами регламентовано всі атрибути усіх документів — від умовних позначень на схемах електричних до розмірів листків паперу та параметрів сторінки (полів, розмірів шрифту і т.п.)

12. ОХОРОНА АВТОРСЬКОГО ПРАВА ІНЖЕНЕРА

Патент. Документ, який посвідчує право винахідника на його винахід. Особливою різновидністю інтелектуальної праці є технічна творчість. Результатом технічної творчості, її кінцевим продуктом є інтелектуальна власність. Сюди належать винаходи нових машин, механізмів, матеріалів, способів їх виготовлення і т.д. Власність на нові технічні рішення називається промисловою. Як і кожна інша власність, інтелектуальна власність знаходиться під охороною Закону. Промислову власність можна оформити як винахід, модель, промисловий взірець, товарний знак.

Нове технічне рішення визнається винаходом лише у тому випадку, коли автор пропонує не просто деякі корисні зміни, а рішення, яке суттєво відрізняється від уже відомого. На виробках і технічній документації часто ставляться особливі товарні знаки, за якими можна безпомилково впізнати дану фірму. Ці товарні знаки також можуть бути визнані промисловою власністю заявника. Після їх реєстрації вже ніхто не має права застосовувати аналогічні позначення. Ставити товарні знаки на виробі — це не обов'язок, а право виробника. Ним охоче користуються фірми, продукція яких завоювала або може завоювати велику популярність.

Якщо автор технічної ідеї хоче захистити свою інтелектуальну власність, він повинен подати заявку в патентне відомство. Такі відомства існують у багатьох країнах світу, і кожне з них діє за своїми законами і правилами. В 1973 р. представники ряду країн уклали в Мюнхені Європейську патентну конвенцію. Тепер можна, подаючи одну заявку до Європейської патентної конвенції, одержати патент, який вважатиметься дійсним відразу в кількох країнах-учасницях конвенції.

Дата реєстрації заявки на промислову власність визначає пріоритет (з лат. *prioritat* — «перший», «старший»). В історії техніки існує чимало прикладів, коли дата реєстрації коштувала винахіднику права його авторства. Одним з них є приклад реєстрації винаходу радіозв'язку. До сьогоднішнього дня російські вчені пробують довести, що першість належить А.С. Попову, а не італійському радіотехніку Г. Марконі, адже Попов першим продемонстрував радіопередавач, але Марконі випередив його у реєстрації ідеї, тому в очах усього світу саме Марконі залишається першовідкривачем.

Перш ніж завірити пріоритет і видати патент, експерти перевіряють, чи відповідає заявка вимогам **патентоспроможності**. Таких вимог є три: **новизна**, **винахідницький рівень** і **промислова застосовність**. Експерти визнають

новим лише таке технічне рішення, відомостей про котре немає у жодному джерелі інформації. Це досить жорстка вимога. Винахідницький рівень оцінюють для того, щоб завірити новаторський характер рішення. За цією ознакою розрізняють **удосконалення і винаходи**. Промислова застосовність означає спроможність використати або застосувати винахід в промисловості, сільському господарстві, охороні здоров'я або іншій сфері людської діяльності. Якщо перевірка патентоспроможності заявки пройшла успішно, її авторові видається **патент** (з пізньо лат. *patenes* — “свідоцтво”, “грамота”) — документ, який засвідчує державне визнання технічного рішення винаходом, корисною моделлю, промисловим взірцем і закріплює за особою, якій він виданий, виключні права на використання вказаного об'єкту. Власник патенту має право застосовувати свій винахід. Однак, організація виробництва і збуту вимагають великих капіталовкладень, тому автору іноді значно вигідніше продати свій патент на певний період або назавжди іншій особі чи фірмі.

“Ноу-хау”. Таємниці виробництва існують стільки ж, скільки і саме виробництво. Наприклад у Європі довгі роки не могли розгадати таємницю китайського фарфору, що застосовували майстри ще з IV ст., а вдалося зробити це лише XVIII ст. в Саксонії. А знамените венеціанське рубінове скло довелося винаходити вдруге. У XIX — XX ст. ретельно приховувалася технологія виробництва пороху, оптичного скла, а починаючи з 40-х років XX ст. розвідки багатьох країн світу полювали за таємницею виробництва атомної бомби. Проблема полягала у тому, що для виробництва цієї і іншої продукції недостатньо знати самі складники та їх пропорції, важливо знати ще й сам технологічний процес в усіх його подробицях: точно розраховувати час, матеріали, методи обробки, технологічні режими і т.д. Сучасне ж виробництво вже неможливе без цілої сукупності таких подробиць. Для налагодження власної технології і набуття власного досвіду потрібно затратити багато часу, коштів. Тому промисловці часто купують патент разом з вищезгаданим “корисним досвідом”, для якого існує спеціальний термін “ноу-хау” (з англ. *know how* — “знати як”). Той, хто володіє “ноу-хау” має право тримати його в таємниці або дозволити користуватися ним на певних умовах. Як правило, це грошова винагорода, а дозвіл на право користування називається ліцензією (від лат. *licentia* — “свобода”, “право”). Продаж ліцензій — одна з найвигідніших і найприбутковіших комерційних операцій, адже дохід отримується без будь-яких капіталовкладень, що неможливо в промисловому виробництві.

“Моральне старіння” — це термін, який використовують по відношенню до технічних пристроїв, які зберегли в хорошому стані свої фізичні якості, але втратили репутацію “прогресивних”. Як приклад можна навести використання електронної ваги і ваги з гирями.

ЗАКЛЮЧЕННЯ

Саме пріоритетне ставлення до науки та наукомістких технологій відрізняє високорозвинені країни від усіх інших. Адже часи, коли для поширення свого впливу могутні держави йшли війнами чи посилали місіонерів, вже давно відійшли у далеке минуле. Сьогодні цю роль взяли на себе комп'ютери, модернізована техніка, новітні технології, супутниковий зв'язок. Сучасна конкуренція давно вийшла за межі накопичення матеріальних благ. І якщо раніше економічна потужність держави вимірювалася матеріальними ресурсами, які вона контролювала, то сьогодні внаслідок цілого ряду об'єктивних обставин (зростання кількості населення, пришвидшення темпу життя, забрудненість навколишнього середовища, обмежені запаси енергоресурсів) конкуренція відбувається вже на рівні ідей та технологічних розробок, тобто на рівні інформаційних ресурсів. Оскільки проблеми, пов'язані з інформаційними ресурсами мають подібні, часом спільні математичні моделі, то їх застосовують як універсальний засіб у багатьох різноманітних галузях життєдіяльності людини від оборонної промисловості до енергетики, медицини, транспорту, зв'язку, охорони довкілля, метеорології і т. ін. Впровадження наукових розробок даного напрямку у життєво важливих сферах існування людини у вигляді сучасних методів програмування, обчислення та прогнозування дає високий економічний ефект (порядку 4-5 разів впродовж найближчих років).

Проблема полягає у тому, що якщо наукові відкриття і досягнення, точніше — самі передові ідеї потребують яскравих особистостей, і вони, як правило, творяться окремими вченими, то втілення цих ідей в життя, їх впровадження вимагає високорозвиненої інфраструктури (високого розвитку суспільства, економіки, передових технологій і, звичайно, високого рівня добробуту споживачів). Україна завжди була багата своїм інтелектуальним потенціалом. Варто згадати лише прізвища таких вчених як Пулюй — першовідкривач Х-променів, Смакула — винахідник просвітленої оптики, Сікорський — винахідник першого гелікоптера, Шенгей — винахідник вітроелектростанцій та ін. Однак, винаходи наших геніальних співвітчизників швидше знаходили розуміння і втілення саме за кордоном, наслідки чого ми сьогодні маємо можливість спостерігати як у світовому, так і в побутовому, повсякденному масштабі. Парадокс України в тому, що вона, володіючи потужними теоретичними розробками, великим інтелектуальним потенціалом, вигідним географічним положенням, запасами корисних копалин, маючи сприятливий клімат, родючі ґрунти, кваліфіковані трудові ресурси, знаходиться в залежності від зарубіжних технологій та виробників. Нагальне вирішення проблеми втілення передових наукових досягнень мотивоване вимогами часу. Адже з точки зору глобального погляду на розвиток популяції людини — виживає (і зберігає свої етнічні, культурні особливості) лише той народ, який встигає виконувати вимоги часу, корисний людству. Усі інші — зникають, асимілюють...

Тематика лекцій, їх зміст і об'єм

(за навчальним планом кафедри Біотехнічних систем
Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя)

Таблиця 4

№ п. п.	Назва теми, її зміст	К-ть год, с./з.	Зауваження
1	Вступна лекція: структура університету, навчально-лабораторний процес, контроль знань. Знайомство з паспортом бакалавра "Біотехнічні та медичні апарати і системи" та місце спеціальності у бакалавраті 6.0509 "Радіоелектронні апарати". Паспорт інженера-електронщика за спеціальністю 7.050902 "Біотехнічні та медичні апарати і системи". Дисципліни, які вивчаються в університеті. Структура системи дисциплін за вказаною спеціальністю.	2	ОПП, ОКХ, НП, РП* [17]
2	Проблеми медицини. Біооб'єкти, їх розвиток та співіснування. Середовище існування життя. Ресурси матеріальні, енергетичні, інформаційні, оптимальність їх використання. Адаптація, стабілізація, синхронізація, синергетика, керування. Роль інформації. Інформаційні ресурси у медицині. Діагностика. Лікування. Реабілітація. Принцип НАСА (неінвазивність, адаптивність, системність, антропологізм.). Роль техніки та радіоелектроніки.	2/1	[I-1, II-3, 4, 11]
3	Фізичні величини. Явища. Сигнали. Моделі. Математичні моделі. Задачі. Роль техніки при розв'язуванні прикладних задач. Побудова радіоелектронної апаратури.	2	[I-1, II-5, 7, 8, 9, 10]
4	Радіоелектронні діагностичні, терапевтичні та інші апарати та системи. Екскурсія у лабораторії кафедри	2	[I-1, II-5, 6, 16, 17]
5	Інженерна діяльність та знання. Поняття про документальне оформлення результатів діяльності інженера. Графічні документи. Текстові документи. Стандарти та їх роль. Комп'ютерні та Інтернет технології відбору, передачі, поповнення, зберігання інженерних знань.	2/0.5	[I-1, II-1, 2, 12]
6	Науково-дослідна робота та дослідно-конструкторська робота. Поняття про виробництво та його процеси. Технологія - її роль та значення.	2	[II-1, 2, 12]
7	Комп'ютерний дизайн радіоелектронних біотехнічних та медичних апаратів і систем	2	—

Продовження таблиці 4

8	Радіоелектронні елементи та вузли. Пасивні радіоелементи. Активні радіоелементи. Інтегральні твердотільні елементи. Бази даних радіоелементів.	2/0.5	[I-1]
9	Метрологія, стандартизація та їх роль. Вимірювання.	2/1	[I-1]
10	Творча діяльність інженера. Винахід, відкриття, товарний знак. Предмет винаходу. Пристрій, спосіб та застосування за новим призначенням як предмети винаходу в електронному апаратобудуванні. Захист авторських прав на результати інтелектуальної творчості. Ліцензії, патенти, публікації.	2/1	[I-1, II-1, 2, 12]
11	Відбір інформації. Антени, давачі, перетворювачі. Аналогово-цифрове перетворення.	2	[I-1]
12	Реєстрація, візуалізація, обробка біосигналів	2/0.5	[I-1, II-16]
13	Екскурсія в лабораторії кафедри, знайомство з пристроями відбору, обробки та зображення біомедичних сигналів.	2	—
14	Медична телеметрія. Моніторинг стану біологічних об'єктів.	2/0.5	[I-1, II-16]
15	Комп'ютерна техніка у медицині. Інтернет-технології у життєвому циклі БТМАС. Тенденції розвитку та перспективи радіоелектронної техніки в медичних застосуваннях.	2/0.5	[I-1, II-1, 2, 13, 15, 17]
16	Експлуатація радіоелектронної техніки. Регламентні роботи. Ремонт. Метрологічні випробування та звірка. Експлуатаційна документація Експлуатаційно-функціональні характеристики та параметри радіоелектронної апаратури. Точність та стабільність характеристик, поняття про техніко-економічні характеристики.	2/0.5	[I-1, II-1, 2, 14]

* ОПП — освітньо-професійна програма, ОКХ — освітньо-кваліфікаційна характеристика, НП — навчальний план, РП — робоча програма.

I — основне джерело, II — додаткові джерела.

Перелік типових контрольних питань

1. Роль і місце напряму базової вищої освіти 6.0509 «Радіоелектронні апарати» в житті людини.
2. Технічні характеристики радіоелектронних засобів для медицини.
3. Розробка РЕМА.
4. Загальна характеристика радіоелектронного виробництва.
5. Технологія виробництва радіоелектронної апаратури.
6. Роль і місце спеціальності 7.050902 «Біотехнічні та медичні апарати і системи» в житті.
7. Навчальний план спеціальності 7.050902 «Біотехнічні та медичні апарати і системи».
8. Конструювання РЕМА.
9. Експлуатація та ремонт РЕМА.
10. Біооб'єкт як фізичне явище.
11. Фізичні величини.
12. Поняття про вимірювання. Метрологія.
13. Основні принципи і типова схема біомедичної діяльності.
14. Перелік і характеристика біооб'єктів.
15. Біомедичні сигнали. Поняття про інформацію.
16. Відбір біомедичних сигналів.
17. Принцип НАСА (неінвазивність, антропологічність, системність, адаптивність) в розробці РЕМА.
18. Роль інженерної професії у проектуванні, виробництві та експлуатації РЕА.
19. Поняття про біомедичний образ. Розпізнавання образів.
20. Поняття про обробку сигналів та образів.
21. Поняття про вибір та прийняття рішень.
22. Радіоелектронні елементи та вузли.
23. Енергетичне та інформаційне забезпечення у медицині.
24. Мікроелектроніка та обчислювальна техніка.

Список рекомендованої літератури

I. Основна

1. Яворський Б.І. Введення у спеціальність.-Тернопіль: Тайп, 2000.— 84 с.

II. Додаткова

1. Зиновьев А.Л., Филлипов Л.И. Введение у специальность радиоинженера.-М.: Высшая школа, 1989.-207 с.
2. Поляков В.Т. Посвящение в радиоэлектронику.-М.: Радио и связь, 1988.
3. Амосов Н.М. Природа человека.-Киев: Наук.думка, 1983.- 22 с.
4. Адам Д. Восприятие, сознание, память.-М.: Мир, 1983.-152 с.
5. Беллман Р. Кибернетика и медицинская диагностика.-М.: Знание,1968.-48 с.
6. Троицкий И.Н. Компьютерная томография.-М.:Знание, 1988.-64 с.
7. Богданов К.Ю. Физик в гостях у биолога.-М.:Наука, 1988.
8. Фомин С.В., Берклибит М.Б. Математические проблемы в биологии.-М.:Наука, 1973.
9. Арсеньев А.А., Самарский А.А. Что такое математическая физика.-М.: Знание, 1983.- 64 с.
10. Винер Н. Кибернетика. - М.: Мир, 1982.
11. Шилейко Л., Шилейко Т. Информация или интуиция.
- 12.. Хилл П. Наука и искусство проектирования.-М.:Мир, 1973.
13. Якубайте Э.А. Информация, электроника, сети.-М.:Финансы и статистика, 1985.- 200 с.
14. Сборник эвристических задач по электротехнике/ Касвинов С.Г., Кубель М.В., Суд П.П.-Харьков: Изд-во Харьк. ун-та, 1989.

Типові сторінки в Інтернет (для початку навігації)

15. <http://www.web-ee.com> (про розробку, конструювання, застосування радіоапаратури)
16. <http://www.web-ee.com/primers/Tutorials.htm#Medical> (електроніка для медтехніки)
17. <http://www.tu.edu.te.ua> (сторінка кафедри Біотехнічних систем — ОКХ, ОПП, НП та інші методичні матеріали, зв'язки з іншими Університетами тощо)

Зміст

Вступ.....	
1. Роль техніки у житті людини.....	
2. Техніка у медицині.....	
3. Енергетичний аспект БМТ.....	
4. Інформаційний аспект БМТ.....	
5. Біомедичні сигнали та їх математичні моделі.....	
6. Обробка сигналів.....	
7. Поняття про інформацію.....	
8. Базові положення розробки БМТ. Принцип НАСА.....	
9. Життєвий цикл БМТ.....	
10. Мікроелектроніка.....	
11. Обчислювальна техніка.....	
12. Елементна база радіоелектронної апаратури.....	
13. Метрологія.....	
14. Охорона авторського права інженера.....	
Заключення.....	74
Тематика лекцій.....	75
Перелік контрольних питань.....	77
Список рекомендованої літератури.....	78