

## ПЕРЕДМОВА

Моє знайомство з індукційними сенсорами відбулося у вересні 1960 р., коли я, молодий інженер, після закінчення радіотехнічного факультету Львівського політехнічного інституту прийшов на роботу до одного з підрозділів тодішнього Інституту машинознавства і автоматики (тепер Фізико-механічний інститут Національної академії наук України ім. Г. В. Карпенка).

Почав розробляти індукційні сенсори для геофізичної аеророзвідувальної апаратури за методом нескінченно довгого кабелю. Треба було створити сенсор для приймання магнітного поля на чотирьох низьких частотах, а саме на частотах 244, 488, 976 і 1952 Гц. Це мав бути високочутливий портативний та вібростійкий сенсор, призначений для розміщення в підвішеній до гелікоптера гондолі.

Було прийнято рішення використати для розв'язання цієї задачі звичайну феритову антену (так її тоді називали). Я тепер вважаю, що так її називати було не зовсім правильно, і поясню чому. Правильніше треба було би називати її сенсором або магнітоприймачем, як потім і називали цей чутливий до магнітного поля елемент. Ще пізніше замість терміна “магнітоприймач” застосовували назви “індукційний магнітоприймач”, “індукційна магнітна антена” або просто “вхідний первинний перетворювач напруженості магнітного поля”. По суті, цей сенсор являв собою багатовиткову котушку з феритовим осердям або звичайну одновиткову чи багатовиткову рамку.

Відтоді минуло вже дуже багато часу, але інтерес науковців і інженерів-практиків до цього виду сенсорів не згасає, а навіть зростає з появою нових магнітних матеріалів, нової елементної електронної бази і нових технологій, які можна застосувати для удосконалення сенсорів. І все це завдяки технологічній простоті та низьці важливих переваг, властивих індукційним сенсорам. Утім, слід зазначити, що простота індукційних сенсорів здебільшого уявна: в процесі конкретного розроблення одразу постають питання визначення оптимальних конструктивних параметрів сенсора. Розрахунок цих параметрів, особливо ємності та опору втрат, дуже складний

через вплив багатьох факторів, які залежать від особливостей як конструкції, так і середовища.

Зараз, після понад 60 років роботи в цій галузі сенсорики, хочу лише перерахувати ті сенсори, які мені разом з моїми колегами довелося розробляти: чотиричастотні резонансні сенсори для геоелектророзвідки за методом нескінченно довгого кабелю – комбіновані індукційні сенсори, які склалися з одного низькочастотного резонансного сенсора на опорну частоту 30 Гц і другого, багаточастотного сенсора на резонансні частоти 244, 488, 976 і 1952 Гц; трикомпонентний індукційний сенсор для вимірювання параметрів повного вектора поляризації магнітного поля; широкосмуговий індукційний сенсор завдовжки 1 м для свердловинної геоелектророзвідки за методом перехідних процесів; двокомпонентний індукційний сенсор на основі повітряних рамок без феритового осердя; низькочастотний широкосмуговий рамковий індукційний сенсор площею  $60 \times 60 \text{ м}^2$  з попереднім малошумним підсилювачем для діагностики і моніторингу рівня електромагнітних завад на місцевості; низькочастотні рамкові сенсори ІД-Н і ІД-В на частотний діапазон 0,3–30 кГц для діагностики побічного електромагнітного випромінювання повітряних ліній зв'язку; широкосмугові рамкові індукційні сенсори типу ФІ-1, ФІ-2 і ФС на частотний діапазон 30–300 кГц для діагностики побічного електромагнітного випромінювання підземних ліній зв'язку; ряд феромагнітних і рамкових широкосмугових низькопорогових високочутливих сенсорів для діагностики побічного електромагнітного випромінювання систем зв'язку на основі коаксіального кабелю. Окремо хочу виділити шість варіантів рамкових інфранизькочастотних сенсорів зі стороною рамки від 1 до 10 м на частотний діапазон 0,01–100 Гц з попереднім малошумним підсилювачем типу МДМ для діагностики земного середовища на наявність нафти та газу за методом зондування становленням магнітного поля в ближній зоні. Для агрегатованого комплексу електророзвідувальної техніки створено сенсори ПМПП-НЧ, ПМПП-ВЧ, ПМПП.

Також розроблено спеціальний космічний однокомпонентний індукційний сенсор типу “Каскад” і трикомпонентний сенсор типу

“Екран” для діагностики електромагнітного середовища на борту космічної орбітальної станції “Мир”.

Для діагностики магнітного поля у відкритому космосі створено спеціальний широкосмуговий інфранизькопороговий індукційний сенсор-зонд типу LEMI-120 на частотний діапазон 0,001–1000 Гц.

Цілий ряд індукційних сенсорів було розроблено для діагностики інженерних об’єктів довготривалого користування, таких як підземні нафто-, газо- і продуктопроводи та залізничні рейки.

Всі згадані вище сенсори разом з відповідною апаратурою виконували різні наукові, технічні та прикладні завдання виявлення, вимірювання, реєстрації і контролю інформаційних сигналів від різних об’єктів, систем і середовищ. Видається, що в кожному окремому випадку треба було б зазначати, яке завдання виконує сенсор. Тому вирішили назвати всі ці сенсори сенсорами для діагностики об’єктів, систем і середовищ. Може, це не зовсім коректно, але нам було потрібна одна коротка назва для індукційних сенсорів, проаналізованих у монографії.

Чому саме індукційних? Річ у тім, що всі сенсори, які проаналізовано в монографії, охоплюють частотний діапазон до 10 МГц, тобто довжина хвилі становить понад 30 м. Реальні відстані від джерела сигналу до точки спостереження, навіть на цій частоті, значно менші, ніж довжина хвилі, тобто сенсори працюють у ближній, індукційній зоні полів аналізованих джерел. На нижчих частотах, а особливо у випадку сенсорів, які діагностують середовище на інфранизьких частотах (апаратура наземної і аерогеоелектророзвідки), ми апріорі діагностуємо об’єкти, що знаходяться в ближньому (індукційному) полі. У більшості випадків поле в цій зоні є низькоімпедансним, тобто тут переважає магнітна компонента поля.

Саме тому первинні чутливі елементи до цього поля називають індукційними сенсорами або давачами, а не антенами, як цей магніточутливий елемент іноді називають у літературі. Антена в принципі може виконувати роль сенсора, але сенсор не може бути антеною. Антеною називають пристрій для випромінювання і приймання радіохвиль. Форма, розміри і конструкція антен дуже різноманітні і

залежать від довжини хвилі, що випромінюється або приймається, а також призначення антени.

Сенсором, або давачем варто називати засіб виявлення, вимірювання або реєстрації, який являє собою конструктивно завершений пристрій, розміщений безпосередньо в зоні досліджуваного об'єкта, найчастіше в ближній (індукційній) зоні джерела поля.

Дуже часто в літературі зустрічається термін “точковий магнітний сенсор”. Цим терміном називають засіб виявлення або вимірювання магнітного поля, фізичні розміри якого значно менші від довжини хвилі досліджуваного поля або розмірів об'єкта дослідження і який за розміщення поблизу джерела поля не спотворює його просторової структури.

Часто терміни “сенсор” та “антена” ототожнюють, що призводить до неправильних уявлень (помилки) і непорозуміння та до ускладнення спілкування різних спеціалістів.

Сенсор як засіб вимірювань має нормовані метрологічні характеристики і переважно виготовляється як окремий незалежний пристрій.

Сенсор як засіб виявлення, вимірювання, реєстрації чи контролю може складатися не тільки з чутливого до магнітного поля елемента, але й таких елементів інформаційно-вимірювальної системи, як попередні підсилювачі, пристрої узгодження, функціональні перетворювачі тощо, що під'єднані за власне чутливим елементом.

У цій монографії, з усієї різноманітності сенсорів і пристроїв їх узгодження з вторинними засобами опрацювання сигналів розглянуто, в основному, тільки індукційні магнітні сенсори.

Монографію написано у співавторстві з П. Б. Дубом – моїм творчим побратимом, товаришем, другом і колегою, з яким ми разом пропрацювали понад 35 років у одному науковому відділі над питаннями створення індукційних сенсорів різноманітного призначення.

Ми разом створили основи теорії шумового та енергетичного узгодження індукційних сенсорів з попередніми вхідними підсилювачами сигналу. Фактично опрацьовано всі основні питання теорії, розрахунку і конструювання активного індукційного сенсора або, як прийнято говорити на радіочастотах – активної феромагнітної антени-підсилювача. На основі створеної теорії розроблено

понад 100 індукційних сенсорів для геофізичних, діагностичних і космічних досліджень.

За час роботи над проблемами створення індуктивних сенсорів автори опублікували понад 300 статей, доповідей або тез доповідей, отримали 10 патентів. Серед цих праць, окрім робіт саме про сенсори, є також такі, де проаналізовано електромагнітні поля різної природи в середовищах, зокрема спричинених дефектами; розглянуто питання розробки малошумних підсилювачів; застосування сенсорів на практиці. Спільно автори опублікували понад 75 наукових статей і тез у вітчизняних і закордонних виданнях та виступили з доповідями на 55 конференціях різного рівня з питань індукційної сенсорики.

**В. О. Нічога,**  
січень 2018 р.,  
м. Львів