

КОМП'ЮТЕРНІ ЗАСОБИ, МЕРЕЖІ ТА СИСТЕМИ

V. Chernetsky

ELECTROMAGNETIC METHOD OF TEMPORAL DEVELOPING TRANSFORMATION OF PHYSICAL QUANTITIES

A method of digital measuring transformation of physical quantities on temporal developing transformation of magnetic resistance and quantum of time domain is analyzed.

Key words: physical quantities, development measurement, quantization of interval of time.

Проаналізовано метод цифрового измерительного преобразования физических величин, основанный на временном развертывающем преобразовании магнитного сопротивления и квантовании интервала времени.

Ключевые слова: физическая величина, развертывающие преобразование, квантование интервала времени.

Проанализированный метод цифрового измерительного преобразования физических величин, основанный на часовом разгортывающем преобразовании магнитного сопротивления и квантовании интервала времени.

Ключевые слова: физическая величина, разгортывающее преобразование, квантование интервала времени.

© В.В. Чернецький, 2015

УДК 681.335

В.В. ЧЕРНЕЦЬКИЙ

ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ МЕТОД ЧАСОВОГО РОЗГОРТУЮЧОГО ВИМІРЮВАННЯ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН

Вступ. Ознакою електромагнітних способів вимірювання фізичних величин є процес їх перетворення в зміну опору електричного ланцюга (електричного, магнітного, ємнісного). В основному використовується метод магнітної модуляції, який полягає у перетворенні зміни фізичної величини в модуляцію магнітного опору магнітопроводу, на якому розміщується замкнений провідник, що збуджує у магнітопроводі магнітний потік струмом зовнішнього джерела е.р.с., і провідник, в якому індукується амплітудно-модульований сигнал, величина амплітудної модуляції якого вимірюється детектуванням і аналого-цифровим перетворенням напруги [1].

Суттєвою ознакою аналого-цифрових способів вимірювання фізичних величин є перетворення вимірювальної фізичної величини в аналоговий сигнал у вигляді напруги або струму з наступним квантуванням його амплітуди. Невисока чутливість аналогових способів вимірювання є наслідком того, що в природі відсутні стабільні величини напруги, струму, сили, які можуть служити мірою для квантування аналогового сигналу.

Обмеження аналогових способів не стосується оборотних процесів, до яких відносяться електромагнітні і електромеханічні коливання в атомах, молекулах, кристалах. Тому квантування інтервалу часу, заданого фазами електричного гармонічного сигналу, може використовуватись найбільш точно і надійно з допомогою, наприклад, кварцового резонатора. Суттєвою ознакою техніки вимірюван-

ня інтервалів часу є використання двійкових вирішуючих елементів – компараторів напруги і двійкових лічильників. Тому способи перетворення фізичних величин, які не пов'язані з вимірюванням амплітуди аналогових сигналів і використанням аналого-цифрових перетворювачів, є найбільш точні, а спосіб вимірювання називають прямим цифровим вимірюванням фізичних величин [2].

Основна частина. Отримання цифрової інформації про фізичні процеси, які протікають в усіх середовищах, стає можливим при умові опанування єдиним методом вимірювання всієї множини фізичних величин. Найбільш ефективний шлях досягнення високої чутливості полягає у виконанні вимірювального перетворення, яке не потребує амплітудних детектування і квантування і не пов'язане з високоомними шумовими процесами. Пряме цифрове вимірювання фізичних величин засноване на явищі перетворення полів і поточних значень фізичних величин спочатку в різницю фаз гармонічних сигналів, а потім в їх кодове представлення, яке отримане як результат вимірювання часового інтервалу, заданого різницею фаз двох гармонічних сигналів [3]. Таке перетворення гарантує високі чутливість і точність вимірювання. Крім того фазове представлення поточних значень фізичних величин надає інформаційним сигналам виключно важливу властивість, яка полягає у відсутності втрати інформації фазорізницевого сигналу при його передачі по провідникам на значну відстань. Ця властивість використовується для створення ефективних телеметричних систем збору і обробки інформації про фізичні процеси, розподілені в просторі [4].

До цього часу перетворювачі фізичних величин будуються на основі напівпровідникових транзисторів. Як вимірювальний перетворювач транзистор є не дуже надійним приладом, бо йому властиве явище деградації параметрів, яке описується шумовою характеристикою в області нижніх частот. Найбільш ефективний шлях виконання цифрового вимірювального перетворення полягає у використанні методу, заснованому на часовому розгортуючому перетворенні магнітного опору і квантуванні інтервалу часу.

Абстрагуючись від технічних можливостей, можна стверджувати, що ідеальний по функціональним можливостям вимірювальний перетворювач має забезпечувати перетворення всіх фізичних величин у електричний сигнал з часовим інформаційним параметром при мінімальному числі проміжних перетворень. Досягнення високої ефективності способу вимірювання фізичних величин з магнітною індукцією досягається завдяки тому, що модуляція магнітного опору і перетворення його в фазовий зсув струму відносно фази е.р.с. спрямовані на реалізацію перетворення енергії електричного поля зовнішнього джерела гармонічної е.р.с. в енергію магнітного поля провідника, а останньої у тепло. Якщо виконується умова рівності потужності процесів резонансного перетворення енергії, то в провіднику зі струмом на резонансній частоті відсутній фазовий зсув між струмом і е.р.с. В такому режимі відбувається повне перетворення електромагнітної енергії у теплоту на низькій частоті і досягається максимальна цифрова чутливість, наприклад, вимірювання переміщення мембрани мікрофона, яка обумовлена тим, що невелика модуляція магнітного по-

току переміщенням мембрани викликає значну фазову модуляцію струму в провіднику.

У зв'язку з використанням фазового способу вимірювання фізичних величин знайшов застосування електромагнітний метод перетворення опору в різницю фаз струму і е.р.с. в електромагнітній системі магнетик-провідник, яка являє собою оптимальний трансформатор, в якому магнітні силові лінії замкнені магнітопроводом по найкоротшому шляху по всій довжині замкненого провідника і по всій довжині замкненого магнітопроводу. Теоретично і практично доведено, що така електромагнітна система здійснює перетворення модуляції магнітного опору в різницю фаз між е.р.с. збудження і струмом у замкненому провіднику [5].

Якщо для розгортуючого перетворення магнітного опору використовувати процеси електромагнітної індукції в електромагнітній системі магнетик-провідник, то частота зовнішньої е.р.с. має дорівнювати частоті електричного резонансу. Розгортуюче вимірювальне перетворення, наслідком якого є перетворення в цифровий потік гармонічних сигналів з фазорізницевою модуляцією, виконується електромагнітною системою магнетик-провідник з низьким шумовим опором. Електронний блок накопичення і вимірювання фізичних величин з'єднується з джерелом інформації простою двохпровідною лінією, а між лінією і первинним перетворювачем фізичної величини включений телеметричний вимірювальний перетворювач у вигляді передатчика сигналів з фазовою модуляцією. Для вимірювання фізичної величини від електронного блока в двохпровідну лінію посилається струмовий сигнал збудження, який перетворюється в модульований сигнал. Модулюючим сигналом є вихідний сигнал первинного вимірювального перетворювача. Часова модуляція дозволяє отримати в цифровому блоці точні числові значення фізичних величин незалежно від амплітудного затухання в лінії передачі. Генерація і вимірювання часових параметрів сигналу-переносчика відбувається за рахунок енергії сигналу збудження двохпровідної лінії, що виключає потребу в джерелах живлення поблизу джерела інформації.

Для перетворення фізичної величини в інтервал часу використовується процес накопичення енергії магнітного поля в магнетик і процес її перетворення в тепло в провіднику, що індуктивно зв'язаний з магнетиком. Енергія магнітного поля утворюється у магнетик в результаті перетворення активної електричної енергії джерела е.р.с. в реактивну енергію магнітного поля в електромагнітній системі магнетик-провідник.

Для всіх гармонічних процесів справедливе співвідношення між різницевою фазою $\Delta\varphi$ двох сигналів однакової кутової частоти $\omega = 2\pi/t$ і часовим інтервалом Δt – затримки одного гармонічного сигналу щодо іншого

$$\Delta\varphi = \omega\Delta t. \quad (1)$$

Наприклад, фізичний процес перетворення переміщення мембрани мікрофона Δh у зсув фаз $\Delta\varphi$ збуджуючого сигналу характеризується крутизною перетворення

$$S\omega h = \frac{\Delta\varphi}{\Delta h}. \quad (2)$$

Враховуючи (1) і (2), цифрова чутливість вимірювання переміщення мембрани мікрофона способом розгортуючого перетворення дорівнює:

$$\Delta h = \frac{\omega \Delta t}{S \omega h}. \quad (3)$$

Тобто чутливість вимірювання переміщення мембрани мікрофона тим вища, чим більша крутизна фазового перетворення $S\varphi h$ і чим менший шаг квантування часового інтервалу Δt .

Досягнення високої чутливості і широкого динамічного діапазону вимірювання фізичних величин досягається внаслідок формування затримки струму щодо е.р.с. в електромагнітній системі магнетик-провідник за рахунок використання явища резонансного поглинання енергії та явища резонансної компенсації магнітного поля магнетика. На резонансній частоті в такій системі магнітне поле у магнетику, створене струмом провідності в провіднику, компенсується магнітним полем, створеним струмом зміщення цього провідника, внаслідок чого незначна зміна вимірювальної фізичної величини призводить до значної зміни кута фазового зсуву між струмом і напругою у електромагнітній системі. Сутність явищ резонансного поглинання енергії і резонансної компенсації вихрового поля полягає у тому, що вихрові квазістатичні поля формуються власними вихровими електричними і магнітними полями зв'язаних електронів іншої речовини.

Відповідно до положень квантової механіки індукція магнітного поля $B_m = M_a H_m$ в магнетику і потік магнітного поля $\Phi_m = B_m H_m$ формуються в результаті механічного руху електронів поблизу ядер атомів. Відповідно до існуючих уявлень єдиним джерелом електромагнітного поля є рухомий заряд, який ототожнюється з електроном. Тому всі електромагнітні явища, які спостерігаються у природі і штучно створених об'єктах, перш за все в електричних ланцюгах, пояснюються діями потенціального електричного поля на власне потенціальне електричне поле електрона.

Властивості власного поля електрона проявляються у формі нових фізичних явищ, до яких відносяться явища резонансного поглинання енергії магнітного поля і резонансної компенсації квазістатичного магнітного поля магнетика в електромагнітній системі магнетик-провідник. Явище резонансної компенсації квазістатичного магнітного поля аналогічне явищу відсутності напруги між будь-якими точками провідника, що перебуває у стані надпровідності. Зовнішньо явище резонансної компенсації проявляється у відсутності е.р.с. самоіндукції у будь-яких точках провідника, що індуктивно зв'язаний з магнетиком. Власні електричне і магнітне поля електрона є гармонічними і мають соленоїдальну форму з ортогональним розташуванням осей електричного і магнітного соленоїдів.

Явища електромагнітних полів електрона використовуються для створення способу прямого цифрового перетворення фізичних величин. Сутність цих явищ розкривається як послідовність дій квазістатичних полів, сформованих у магнетик і провіднику під дією зовнішньої е.р.с. на власне соленоїдальне поле електронів. Множина таких дій достатня для вирішення задачі досягнення високої чутливості прямого цифрового перетворення фізичних величин як процесу формування затримки струму в електромагнітній системі магнетик-провідник щодо зовнішньої е.р.с.

Технічна задача підвищення цифрової чутливості фазового способу вимірювання фізичної величини вирішується внаслідок використання послідовності дій сил вихрових полів магнетика і провідника, яка створює в електромагнітній системі послідовність перетворення форм енергії. Послідовність перетворення форм електромагнітної енергії в електромагнітній системі магнетик-провідник досягається внаслідок формування квазістатичних полів і їх дії на електрони магнетика і провідника, які зв'язані силовою взаємодією з протонами атомів магнетика і провідника, яка обумовлена силовою взаємодією власних соленоїдальних полів електронів і протонів.

Якісно більш досконалу техніку цифрового перетворення фізичних величин дала електромагнітна теорія речовини і поля [6]. Успіх цієї роботи був забезпечений винаходом електромагнітних підсилювачів підшумових сигналів [7], які мають чуттєвість до вхідного сигналу на кілька порядків вищу, ніж у звичайних напівпровідникових підсилювачах, а також отриманням польових функціональних перетворювачів аналогових гармонічних сигналів у цифрову форму через перетворення їх амплітуди в інтервал часу. Підсилювачі і перетворювачі працюють на єдиному принципі керування магнітним полем формою електричного струму в провідниках. Виконання цифрового вимірювального перетворення яке не потребує амплітудного детектування і квантування, а засноване на часовому розгортуючому перетворенні магнітного опору і квантуванні інтервалу часу, найбільш ефективний шлях досягнення максимальної чутливості перетворення фізичних величин.

Для перетворення вимірювальних фізичних величин в інтервал часу, який задається різницею фаз низькочастотних гармонічних сигналів, використовується процес накопичення енергії магнітного поля у магнетик і процес перетворення її у тепло в провіднику, індуктивно зв'язаному з магнетиком. Енергія магнітного поля створюється в магнетик внаслідок перетворення активної енергії джерела е.р.с. у реактивну енергію магнітного поля в електромагнітній системі магнетик-провідник.

У зв'язку з використанням фазорізницевого способу вимірювання фізичних величин знайшов застосування процес перетворення магнітного опору в різницю фаз струму і е.р.с. в електромагнітній системі магнетик-провідник у режимі електричного резонансу [8]. Теоретично і практично доведено, що така система здійснює перетворення модуляції магнітного опору в різницю фаз між е.р.с. збудження і струмом у замкненому провіднику [9].

Якщо для розгортуючого перетворення магнітного опору використовувати процеси електромагнітної індукції в електромагнітній системі магнетик-провідник, то частота зовнішньої е.р.с. має дорівнювати частоті електричного резонансу

$$\dot{\omega}_0 = \sqrt{R_m R_e} \text{ ,}$$

де R_m – магнітний опір потоку магнітного поля в магнітопроводі;

R_e – електричний опір потоку електричного поля в замкненому провіднику.

Для підвищення цифрової чутливості необхідно зменшувати R_m і R_e . На зменшення цих параметрів електромагнітної резонансної системи вказують також перше і друге рівняння Максвелла. Взаємні перетворення потоків електричного і магнітного полів симетричні. Щоб максимально збільшити зв'язок при взаємному перетворенні полів, треба магнітні силові лінії замкнути магнітопроводом по найкоротшому шляху по всій довжині замкнутого провідника та по всій довжині замкненого магнітопроводу. Розгортуюче вимірювальне перетворення, наслідком якого є перетворення в цифровий потік гармонічних сигналів з фазовою модуляцією, яку перетворюють у часову, виконується електромагнітною системою, яка характеризується малим шумовим опором.

Уточнене співвідношення отримується завдяки використанню практично ідеальних трансформаторів для виконання аналогових операцій над гармонічними сигналами методом додавання і віднімання магнітних полів. Для аналізу інформаційного сигналу використовується електромагнітний польовий сигнальний процесор, який розкладає вимірювальний гармонічний сигнал на косинусну і синусну складові (коефіцієнти Фур'є). Значення коефіцієнтів польовий сигнальний процесор перетворює у різницю фаз гармонічних сигналів, яка вимірюється з великою точністю у кожному періоді зондуючого магнітного поля.

Висновок. Виконання цифрового вимірювального перетворення, яке не потребує амплітудних детектування і квантування, а засноване на часовому розгортуючому перетворенні магнітного опору і квантуванні інтервалу часу, причому такому перетворенні, що не пов'язане з високоомними процесами, є найбільш ефективним шляхом досягнення найвищої чутливості вимірювання фізичних величин.

1. Спектор С.А. Електричні вимірювання фізичних величин: Методи вимірювань. – Л.: Энергоатомвидав. – 1978. – 320 с.
2. Бех О.Д., Чернецький В.В. Пряме цифрове перетворення фізичних величин // УСiМ. – 1994. – № 1/2. – С. 3–10.
3. Бех О.Д., Чернецький В.В. Техніка цифрового перетворення фізичних величин // Там само. – 1995. – № 1/2. – С. 15–17.
4. Бех О.Д., Чернецький В.В. Автоматичні мережі збору і передачі технологічної інформації // Там само. – 1995. – № 4/5. – С. 33–36.
5. Бех О.Д., Чернецький В.В. Концепція основ фізичної інформатики // Там само. – 2001. – № 1. – С. 3–5.

6. *Бех А.Д.* Об управлении сигналами взаимодействия в веществе как основе создания новых технологий // Там же. – 2003. – № 4. – С. 73–80.
7. *Патент 87027, Україна.* Електромагнітний підсилювач напруги / *Бех О.Д., Чернецький В.В.* – Опубл. 10.06.2009. – Бюл. № 11.
8. *Бех О.Д., Чернецький В.В., Єлианський В.В.* Автоматичний контроль фізичних параметрів монет // Комп'ютерні засоби, мережі та системи. – 2004. – № 3. – С. 24–34.
9. *Бех О.Д., Чернецький В.В., Єлианський В.В.* Високочутливе вимірювання амплітуди антенного сигналу // Там само. – 2003. – № 2. – С. 63–71.

Одержано 02.10.2015