

Винахід відноситься до області аналізу складу паливномастильних матеріалів (ПММ) по їх електрофізичним властивостям і може бути використаний для оцінки якості рідкого палива чи масел різних марок за їх октановим чи центановим числами.

Якість паливномастильних матеріалів (бензину, дизельного палива, нафтових масел і т.п.) опосередковано пов'язана з їх діелектричною проникністю (див. Белов Е.Н., Луценко В.И., Кабанов В.А. и др. Метода оценки качества неэтилированных бензинов// Материалы науч. техн. конференции КрыМКО-99, Севастопольский гос. техн. университет, 1999, с.406-407). При цьому дослідження показують, що чим вища діелектрична проникність палива (за відсутності води), тим вище його октанове чи центанове число, що визначає якість ПММ. Але діапазон зміни діелектричної проникності в залежності від якості ПММ невеликий. Так, зміна октанового числа в бензині марок від А-70 до А-98 викликає зміну діелектричної проникності тільки в діапазоні від 1,9 до 2,3 одиниць. Тому для аналізу якості ПММ необхідні спеціальні вимірювальні пристрої, які дозволяють вимірювати малі зміни діелектричної проникності на фоні зовнішніх збурень і завод.

Відомий аналізатор якості нафтопродуктів (див. Система для определения типа бензина по его диэлектрической проницаемости. - Патент ФРГ (DE) 421086А1, кл. G01N33/22, 15.04.1999), в якому ємнісний сенсор включений в коливальний контур автогенератора, до виходу якого підключений перетворювач типу „частота-напруга”, а вихідна напруга перетворювача, яка пропорційна діелектричній проникності бензину, поступає на мікропроцесорну систему регулювання двигуна внутрішнього згоряння. В залежності від сорту палива, що використовується, а відповідно, й від значення діелектричної проникності, здійснюється регулювання паливної системи двигуна.

Але неминуча нестабільність початкової частоти автогенератора не дозволяє виявляти і достовірно визначати малі зміни частоти автогенератора, і, відповідно, й вимірювати малі зміни в діелектричній проникності палива. Особливо це стосується експрес-вимірів, коли температурні зміни діелектричної проникності ПММ порівняні з інформаційними змінами від значення октанового числа.

Відомий аналізатор якості нафтопродуктів (див. Ройтман М.С., Жуков В.В., Измерение малых приращений емкостей и индуктивностей методом периодического сравнения// „Измерительная техника”, 1967, №12, с.17-19), який забезпечує вищу достовірність контролю і має в своєму складі один автогенератор, в коливальний контур якого за допомогою автоматичного перемикача періодично вмикається сенсор з досліджуємым матеріалом і зразковий конденсатор, який імітує електрофізичні властивості еталонного матеріалу. До виходу автогенератора підключені послідовно з'єднані частотний детектор, фільтр нижніх частот, підсилювач частоти комутації перемикача, синхронний детектор і вимірювальний прилад. Перемикач і синхронний детектор керуються напругою комутаційного генератора.

Нестабільність частоти автогенератора при періодичному порівнянні діелектричних проникностей досліджуємого й еталонного матеріалів не викликає адитивної похибки вимірювання (похибки „нуля”), що дозволяє виявляти малі розбіжності в досліджуємому матеріалі відносно еталонного. Але нелінійність і нестабільність характеристик частотного детектора, фільтра і підсилювача викликає велику мультиплікативну похибку вимірювання (похибку „чутливості”), що не дозволяє проводити кількісний аналіз, тобто визначати з високою точністю значення октанового чи центанового числа.

Відомий також аналізатор якості нафтопродуктів (див. Високоточні засоби вимірювання фізичних величин із самоналагодженням і автокорекцією похибок: Навч. посібник /П.М.Таланчук, Ю.О.Скрипник, В.О.Дубровний. - К.: УЗМН, 1996, с.216-218), який вміщує робочий і еталонний ємнісні сенсори, перший з яких заповнений досліджуємым паливом, другий - паливом з відомим октановим чи центановим числом, вимірювальний автогенератор з часозадаючим ланцюгом, який складається з резистора і конденсатора, автоматичний перемикач, входи якого під'єднані через ємнісні сенсори до потенціального затискача конденсатора часозадаючого ланцюга, частотний детектор, входом з'єднаний з виходом вимірювального автогенератора, комутаційний генератор, послідовно з'єднані підсилювач частоти комутації, синхронний детектор і вимірювальний прилад, при цьому керуючі входи автоматичного перемикача і синхронного детектора підключені до виходу комутаційного генератора.

Крім того, відомий аналізатор має змішувач, регульований по частоті гетеродин і два фільтри нижніх частот, підключені до виходу частотного детектора, при цьому вихід одного фільтра нижніх частот з'єднаний з входами підсилювача частоти комутації, а вихід другого фільтра нижніх частот з'єднаний з першим входом регульованого гетеродина. Регульований гетеродин своїм виходом підключений до одного входу змішувача, який другим входом підключений до виходу вимірювального автогенератора, а виходом - до входу частотного детектора.

Автоматичне регулювання частоти гетеродина дозволяє аналізатору працювати поблизу перехідної частоти частотного детектора, що виключає захід робочої точки детектора за межі лінійної ділянки характеристики. Але нестабільність крутизни частотного детектора і крутизни перетворення вимірювального автогенератора обумовлює значну мультиплікативну похибку вимірювання, що не дозволяє достовірно контролювати зміни ємності робочого сенсора через відхилення показань октанового чи центанового числа від номінального значення. Крім того, на результат вимірювання впливають неконтрольовані зміни геометричних розмірів сенсорів від зміни температури та інших впливаючих факторів.

В основу винаходу покладена задача створення такого аналізатора якості нафтопродуктів, в жому введення нових елементів та зв'язків дозволило б виключити вплив температурних і часових змін параметрів частотного детектора, вимірювального автогенератора і сенсорів на результат вимірювання малих змін ємності робочого сенсора, що підвищить достовірність контролю октанового чи центанового чисел досліджуємого палива.

Поставлена задача вирішується тим, що в аналізатор якості нафтопродуктів, який вміщує робочий і еталонний ємнісні сенсори, перший з яких заповнений досліджуємым паливом, другий - паливом з відомим октановим чи центановим числом, вимірювальний автогенератор з часозадаючим ланцюгом, який

складається з резистора і конденсатора, автоматичний перемикач, входи якого підключені через ємнісні сенсори до потенціального затискача конденсатора часозадаючого ланцюга, частотний детектор, входом з'єднаний з виходом вимірювального автогенератора, комутаційний генератор, послідовно з'єднані підсилювач частоти комутації, синхронний детектор і вимірювальний прилад, при цьому керуючі входи автоматичного перемикача і синхронного детектора підключені до виходу комутаційного генератора, згідно з винаходом, введені фільтр верхніх частот, регульований широкосмуговий підсилювач, інтегратор, джерело опорної напруги і диференційний підсилювач, один вхід якого з'єднаний з джерелом опорної напруги, другий вхід з'єднаний з виходом регульованого широкосмугового підсилювача, вихід диференційного підсилювача через інтегратор з'єднаний з керуючим входом регульованого широкосмугового підсилювача, входом з'єднаного з виходом частотного детектора, а вихід регульованого широкосмугового підсилювача з'єднаний через фільтр верхніх частот з входом підсилювача частоти комутації.

Доцільно, щоб частотний детектор був виконаний у вигляді послідовно з'єднаних формувача коротких однополярних імпульсів, одновібратора фіксованої довжини імпульсів і фільтра нижніх частот, причому входом частотного детектора є вхід формувача коротких імпульсів, а виходом - вихід фільтра нижніх частот.

Доцільно, щоб в аналізатор якості нафтопродуктів додатково був введений формувач керуючої напруги, який складається з послідовно з'єднаних формувача коротких різнополярних імпульсів, інвертуючого подвоювача однополярних імпульсів, ланцюга затримки, наприклад, одновібратора з регульованою довжиною імпульсів, і тригера, та включений між виходом комутаційного генератора і керуючим входом синхронного детектора.

Доцільно, щоб в аналізатор якості нафтопродуктів додатково був введений підстроєчний конденсатор, підключений до затискачів еталонного ємнісного сенсора.

Введення в схему аналізатора якості нафтопродуктів фільтра верхніх частот, регульованого широкосмугового підсилювача, інтегратора, джерела опорної напруги і диференційного підсилювача, включених певним чином, і виконання частотного детектора, у вигляді послідовно з'єднаних формувача імпульсів, одновібратора і фільтра, дозволяє отримати результат виміру у вигляді відносних змін параметрів сенсора, що виключає вплив нестабільності параметрів частотного детектора, вимірювального автогенератора і сенсорів на результат вимірювання і забезпечує прямий відлік діелектричної проникності досліджуваного палива, завдяки чому підвищується достовірність контролю його октанового чи центанового числа. Введення в схему формувача керуючої напруги дозволяє підвищити чутливість аналізатору завдяки створенню на виході формувача керуючої напруги прямокутної опорної напруги, фаза якої налагоджується під фазу змінної складової напруги на вході синхронного детектора. Введення в схему підстроєчного конденсатора дозволяє зменшити адитивну складову похибки вимірювання завдяки встановленню рівності між ємностями робочого і еталонного ємнісних сенсорів за допомогою регулювання ємності підстроєчного конденсатора при відсутності в сенсорах палива.

На кресленні (Фіг.) зображена функціональна схема аналізатора якості нафтопродуктів.

Аналізатор включає вимірювальний автогенератор 1, робочий 2 і еталонний 3 ємнісні сенсори, резистор 4 і конденсатор 5 часозадаючого ланцюга автогенератора, підстроєчний конденсатор 6, автоматичний перемикач 7, частотний детектор 8, регульований широкосмуговий підсилювач 9, джерело опорної напруги 10, диференційний підсилювач 11, інтегратор 12, фільтр 13 верхніх частот, підсилювач 14 частоти комутації, синхронний детектор 15, вимірювальний прилад 16, формувач керуючої напруги 17 і комутаційний генератор 18.

Частотний детектор 8 складається з послідовно з'єднаних формувача 19 коротких однополярних імпульсів, одновібратора 20 фіксованої довжини імпульсів і фільтра 21 нижніх частот.

Формувач 17 керуючої напруги складається з послідовно з'єднаних формувача 22 коротких різнополярних імпульсів, інвертуючого подвоювача однополярних імпульсів 23, ланцюга затримки 24 у вигляді одновібратора з регульованою довжиною імпульсів і тригера 25.

До вимірювального автогенератора 1 з часозадаючим ланцюгом із резистора 4 і конденсатора 5 через автоматичний перемикач 7 підключається робочий 2 чи еталонний 3 ємнісні сенсори. До виходу автогенератора 1 підключені послідовно з'єднані частотний детектор 8 і регульований широкосмуговий підсилювач 9. Джерело 10 опорної напруги з'єднане з одним входом диференційного підсилювача 11, другий вхід якого з'єднаний з виходом регульованого широкосмугового підсилювача 9, керуючий вхід якого через інтегратор 12 з'єднаний з виходом диференційного підсилювача 11. До виходу регульованого широкосмугового підсилювача 9 підключені послідовно з'єднані фільтр 13 верхніх частот, підсилювач 14 частоти комутації, синхронний детектор 15 і вимірювальний прилад 16.

Керуючий вхід автоматичного перемикача 7 з'єднаний з виходом комутаційного генератора 18, а керуючий вхід синхронного детектора 15 під'єднаний до комутаційного генератора 18 через формувач керуючої напруги 17.

Аналізатор якості нафтопродуктів працює слідує таким чином.

За допомогою автоматичного перемикача 7 ємність  $S_x$  робочого сенсора 2, який заповнений досліджуємым паливом, періодично заміщується ємністю  $S_o$  еталонного сенсора, заповненого паливом з відомим октановим чи центановим числом. Значення ємності  $S_o$  встановлюється рівним ємності  $S_x$  за відсутності в сенсорах палива, дозволяє зменшити адитивну складову похибки вимірювання. Рівність забезпечується за допомогою підстроєчного конденсатора 6 з ємністю  $S_p(S_x = S_o + S_p)$ .

Частота релаксаційних імпульсів, генерованих вимірювальним RC автогенератором 1, визначається опором R резистора 4, ємністю C конденсатора 5 часозадаючого ланцюга, паралельно якій підключається ємність  $S_x$  чи  $S_o$ . Ємнісні сенсори 2 і 3 по чергове поєднуються автоматичним перемикачем 7 до потенціального затискача конденсатора 5. При під'єднанні конденсатора 2 з ємністю  $S_x$  частота слідування імпульсів на виході вимірювального автогенератора 1 складає

$$f_x = S_1 / (R(C_x + C)), \quad (1)$$

де  $S_1$  - крутизна перетворення автогенератора, яка враховує внутрішні параметри мікросхеми автогенератора.

Коли до часозадаючого ланцюга автогенератора підключається сенсор 3 з ємністю  $C_0$ , то рахуючи для простоти, що  $C_p = 0$ , маємо

$$f_0 = S_1 / (R(C_0 + C)) \quad (2)$$

Частота комутації автоматичного перемикача 7 визначається частотою  $F$  коливань комутаційного генератора 18, яка вибирається в 100-500 разів менше частоти  $f_0$  еталонних коливань автогенератора. При вказаному співвідношенні частоти генеруємих коливань і частоти комутації ( $F = (0,01 \dots 0,002)f_0$ ) на виході вимірювального автогенератора 1 формуються пакети послідовностей імпульсів з частотами  $f_x$  і  $f_0$ , і довжиною  $T = 1/(2F)$ .

Релаксаційні коливання з виходу вимірювального автогенератора 1 надходять на частотний детектор 8, де перетворюються в електричну напругу, яка діє на регульований широкосмуговий підсилювач 9. У частотному детекторі 8 з пакету імпульсів з частотою  $f_x$  або  $f_0$  формувачем 19 частотного детектора 8 створюються короткі однополярні імпульси в момент переходу кривої генеруємих коливань через нуль, які слідує з такою ж частотою. Короткі однополярні імпульси в кожному період коливань збуджують одновібратор 20, який на своєму виході формує послідовність широких однополярних імпульсів з постійною амплітудою  $U_1$  і довжиною  $\tau$ . Фільтром 21 нижніх частот з послідовності широких імпульсів з частотою  $f_x$  виділяється постійна складова напруги

$$U_2 = K_1 U_1 \tau f_x = S_2 f_x, \quad (3)$$

де  $K_1$  - коефіцієнт пропорційності, який визначається параметрами фільтра 21,

$S_2 = K_1 U_1 \tau$  - крутизна перетворення частотного детектора 8.

З пакета широких імпульсів, які слідує з частотою  $f_0$ , на виході фільтра 21 нижніх частот виділяється постійна складова напруги

$$U_3 = K_1 U_1 \tau f_0 = S_2 f_0 \quad (4)$$

За неперервної роботи автоматичного перемикача 7 на виході частотного детектора 8 формується послідовність імпульсів постійної напруги з амплітудами  $U_2$  і  $U_3$ . Ці імпульси послідовно підсилюються регульованим широкосмуговим підсилювачем 9 з коефіцієнтом підсилення  $K_2$  в смузі пропускання підсилювача. Підсилені імпульси напруги представимо у вигляді:

$$U_4 = K_2 U_2 = K_2 S_2 f_x \quad (5)$$

$$U_5 = K_2 U_3 = K_2 S_2 f_0 \quad (6)$$

Часову послідовність чергуючихся імпульсів з амплітудами  $U_4$  і  $U_5$  можна розглядати як суму постійної складової напруги

$$U_6 = (U_4 + U_5) / 2 \quad (7)$$

і змінної складової напруги

$$U_7 = (U_4 - U_5) / 2 \quad (8)$$

імпульсної послідовності.

Постійна складова (7) з напругою  $U_6$  діє на один вхід диференційного підсилювача 11, на другий вхід якого діє опорна напруга  $U_0 = \text{const}$  джерела опорної напруги 10. Інтегратор 12 заряджається підсиленою напругою різниці

$$U_8 = K_3 (U_0 - U_6) = K_3 (U_0 - K_2' S_2 ((f_x + f_0) / 2)), \quad (9)$$

де  $K_3$  - коефіцієнт підсилення диференційного підсилювача 11,

$K_2'$  - коефіцієнт підсилення регульованого підсилювача 9 по постійній напрузі.

Змінна складова напруги  $U_7$  також впливає на диференційний підсилювач 11, але подавляється на його виході інтегратором 12. Вихідна постійна напруга інтегратора 12 впливає на керуючий вхід регульованого широкосмугового підсилювача 9 і змінює його коефіцієнт підсилення. Процес автоматичного регулювання продовжується до тих пір, поки вихідна напруга диференційного підсилювача 11 не стане рівною нулю. При цьому інтегратор 12 перестане заряджатися і коефіцієнт підсилення  $K_2'$  досягне сталого значення. Прирівнюючи вираз (9) до нуля ( $U_8 = 0$ ), отримуємо

$$U_0 = (K_2' S_2 (f_x + f_0)) / 2 \quad (10)$$

Зрівняння (10) знаходимо значення коефіцієнта підсилення

$$K_2' = 2 U_0 / (S_2 (f_x + f_0)) \quad (11)$$

Змінна складова (8) з напругою  $U_7$  виділяється фільтром 13 верхніх частот, підсилюється підсилювачем 14 частоти комутації й випрямляється синхронним детектором 15. На керуючий вхід синхронного детектора 15 через формувач 17 поступає напруга генератора 18, яким керується автоматичний перемикач 7. Для отримання максимального значення коефіцієнта випрямлення синхронного детектора 15 з вихідної напруги генератора 18 формувачем створюється прямокутна опорна напруга, фаза якої налагоджується під фазу змінної складової напруги (8). Для цього з вихідної напруги генератора 18 формувачем 22 створюються короткі різнополярні імпульси двічі за період, які, після перетворення їх в однополярні інвертуючим перетворювачем 23, подвоюються. Далі імпульси затримуються. Для цього імпульси запускають ланцюг затримки, наприклад, одновібратор 24 з регульованою довжиною імпульсів. Заднім фронтом імпульси одновібратора 24 запускають тригер 25, вихідна напруга якого змінюється з частотою комутаційного генератора 18 і керує синхронним детектором 15. Довжина імпульсів (час затримки) одновібратора 24 встановлюється по максимальному значенню вихідної напруги синхронного детектора 15, що досягається при співпаданні фази керуючої напруги з фазою змінної напруги, яка поступає на вхід синхронного детектора. Випрямлена напруга, яка вимірюється приладом 16, має вигляд

$$U_9 = K_4 U_7 = K_4 K_2' S_2 (f_x - f_0) / 2 \quad (12)$$

де  $K_4$  - коефіцієнт підсилення 14 частоти комутації,

$K_2''$  - коефіцієнт підсилення регульованого підсилювача 9 по змінній напрузі.

В широкосмуговому регульованому підсилювачі 9 коефіцієнти підсилення  $K_2'$  і  $K_2''$  в смузі пропускання практично однакові ( $K_2' = K_2'' = K_2$ ). Тому випрямлена напруга (12) з врахуванням сталого значення коефіцієнта підсилення (11) представляється як

$$U_9 = K_4 U_0 (f_x - f_0) / (f_x + f_0) \quad (13)$$

Якщо підставити у вираз (13) значення частот  $f_x$  і  $f_0$  з (1) і (2), то отримаємо

$$U_9 = K_4 U_0 (C_0 - C_x) / (C_0 + C_x + 2C) \quad (14)$$

При виконанні умови  $C \ll C_0$  вираз (14) спрощується і приймає вигляд

$$U_9 = K_4 U_7 \Delta C / (C_0 + C_x) \quad (15)$$

де  $\Delta C$  - зміна ємності робочого сенсора 2, заповненого досліджуємым паливом, відносно ємності еталонного сенсора 3, заповненого паливом з відомим октановим чи центановим числом.

Так як діелектричні проникності досліджуємого і еталонного палива близькі, то можна рахувати, що:

$$\Delta C = \alpha (\epsilon_x - \epsilon_0) \quad (16)$$

$$C_x + C_0 = \alpha (\epsilon_x + \epsilon_0) \approx 2\alpha \epsilon_0 \quad (17)$$

де  $\alpha$  - параметр сенсорів, який залежить від їх геометричних розмірів,

$\epsilon_x$  - діелектрична проникність досліджуємого палива,

$\epsilon_0$  - діелектрична проникність палива з відомим октановим чи центановим числом.

З врахуванням співвідношень (16) і (17) насамкінець отримаємо значення вимірюваної напруги

$$U_9 = K_4 U_0 (\epsilon_x - \epsilon_0) / (2\alpha \epsilon_0) \quad (18)$$

Шкала вимірювального приладу 16 градується при  $U_0 = \text{const}$  у відносних змінах діелектричної проникності досліджуємого палива по відношенню до еталонного палива. Завдяки цьому можна у процентах визначити на скільки октанове чи центанове число досліджуємого палива відрізняється відносно еталонного палива, і тим самим ідентифікувати марку і сорт використовуваного палива.

Для виключення впливу температури на результати контролю доцільно закритий сенсор з еталонним паливом і проточний робочий сенсор розмішувати в одній ємності з досліджуємым паливом. В результаті зрівняння температур сенсорів виключається похибка від залежності діелектричної проникності нафтопродуктів від температури.

Із співвідношення (18) видно, що результат вимірювання не залежить від непостійності крутизни перетворення вимірювального автогенератора ( $S_1$ ), крутизни перетворення частотного детектора ( $S_2$ ), від коефіцієнтів широкосмугового ( $K_2$ ) і диференційного ( $K_3$ ) підсилювачів, від геометричних розмірів сенсора ( $\alpha$ ), від номінального значення діелектричної проникності еталонного палива ( $\epsilon_0$ ), же для різних марок має різне значення. Крім того на результат вимірювання не впливає нестабільність довжини ( $\tau$ ) і амплітуди ( $U_1$ ) імпульсів однобiбратора і параметрів фільтра ( $K_1$ ) частотного детектора. Завдяки цьому забезпечується високоточне вимірювання малих відхилень в значенні діелектричної проникності досліджуємого палива. Чутливість аналізатора і діапазон вимірювання легко регулювати зміною коефіцієнта підсилення ( $K_4$ ) підсилювача частоти комутації 14, значення якого входить в рівняння вимірювального перетворення (18) аналізатора.

Розглянутий аналізатор забезпечує вимірювання малих змін діелектричної проникності нафтопродуктів (бензин, дизпаливо і т.п.) в межах 1,8...2,4 одиниць з чутливістю у 0,005 одиниці з похибкою не більше 0,01 одиниці, що дозволяє з високою достовірністю контролювати октанове чи центанове числа палива різних марок і сертифікувати нафтопродукти по їх якості.

