



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 52320

(13) A

(51) 6 G01N27/90

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВИНАХІДвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ СПОЛУК МЕТАЛІВ У НАФТОПРОДУКТАХ

1

2

(21) 2002042787

(22) 08 04 2002

(24) 16 12 2002

(46) 16 12 2002, Бюл. №12, 2002 р.

(72) Футимський Сергій Ігорович, Скрипник Юрій
Олексійович(73) КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

(57) Пристрій для вимірювання концентрації сполук металів у нафтопродуктах, який містить зразковий і вимірювальний індуктивні сенсори, перший і другий частотозадавальні конденсатори, перший автогенератор, потенціальним виводом з'єднаний з потенціальним виводом першого частотозадавального конденсатора, заземленим виводом підключений до заземлених виводів частотозадавальних конденсаторів і сенсорів, другий автогенератор, потенціальним виводом з'єднаний з потенціальним виводом другого частотозадавального конденсатора, заземленим виводом підключений до заземлених виводів частотозадавальних конденсаторів і сенсорів, змішувач, входами з'єднаний з виходами автогенераторів, підсилювач низьких частот, синхронний детектор, сигнальним входом підключений до виходу підсилювача низьких частот, реєстратор, генератор низьких частот, з'єднаний двома проти-фазними виходами з двома управляючими входами синхронного детектора, який відрізняється тим, що в нього введені перший

автоматичний перемикач, входами підключений до потенціальних виводів зразкового і вимірювального індуктивних сенсорів, а виходом - до потенціального виводу першого автогенератора, другий автоматичний перемикач, входами підключений до потенціальних виводів зразкового і вимірювального індуктивних сенсорів, а виходом - до потенціального виводу другого автогенератора, диференційний підсилювач, джерело стабілізованої опорної напруги, інтегратор, послідовно з'єднані фільтр верхніх частот, підсилювач-обмежувач, формувач коротких однополярних імпульсів, широтно-імпульсний модулятор, перший фільтр нижніх частот, другий фільтр нижніх частот, при цьому вхід фільтра верхніх частот підключений до виходу змішувача, вихід першого фільтра нижніх частот з'єднаний з першим входом диференційного підсилювача і входом підсилювача низьких частот, вихід джерела стабілізованої опорної напруги підключений до другого входу диференційного підсилювача, вихід диференційного підсилювача з'єднаний з входом інтегратора, до виходу якого підключений управляючий вхід широтно-імпульсного модулятора, управляючи входами першого і другого автоматичних перемикачів підключені до проти-фазних виходів генератора низьких частот, вхід другого фільтра нижніх частот з'єднаний з виходом синхронного детектора, а вихід - з входом реєстратора

Винахід відноситься до області аналізу складу речовин по їх електромагнітним властивостям і може бути використаний для вимірювання концентрації хімічних сполук свинцю і інших металів у нафтопродуктах (бензині, керосині, дизельному паливі і мастилах)

Електричні і магнітні властивості нафтопродуктів визначаються складом та структурою вуглеводневого середовища і речовинами-домішками, розведеними або завислими у водонафтовій суміші (ГОСТ 2084-77). При цьому значно впливає на електромагнітні властивості нафтопродуктів саме концентрація сполук металів та їх домішок. Так як

концентрація сполук металів у товарній продукції невелика (не більше 0,5г/кг), то в аналітичній практиці і при фізико-хімічних дослідженнях знаходять широке застосування резонансні, у тому числі автогенераторні схеми і пристрої, які мають високу чутливість до наявності цих включень. Для контролю сполук металів у діелектричному середовищі, до якого відноситься і водонафтова емульсія, ефективно застосовувати індуктивні сенсори, які збуджують у досліджуємому провідному середовищі вихрові струми. В результаті зворотнього впливу вихрових струмів змінюються активні і реактивні опори індуктивного сенсора. Внесені опори

(13) A

(11) 52320

(19) UA

пропорційні концентрації сполук металів у низько-провідному рідкому середовищі і викликають зміну резонансної частоти та добротності коливального контуру автогенератора. Зв'язок між змінами параметрів автогенератора (частоти та добротності) і концентрацією сполук металів визначається калібрувальною залежністю, яка при малих концентраціях наближається до лінійної.

Відомий пристрій для вимірювання концентрації сполук металів у нафтопродуктах (див. Арш. Э. И. Автогенераторные методы и средства измерений. -М. Машиностроение, 1979, С.159-162), який вміщує автогенератор з коливальним контуром у ланцюгу зворотнього зв'язку і індуктивним сенсором, включеним у якості елемента цього контуру, амплітудний детектор, ланцюг компенсації і індикатор, підключений до виходу автогенератора.

Збільшення внесеного активного опору індуктивного сенсора викликає зменшення добротності контуру і, як наслідок, зменшення височастотної напруги на виході автогенератора і випрямленої напруги на виході амплітудного детектора. За допомогою ланцюга компенсації встановлюється нуль при відсутності сполук металів у контролюємих нафтопродуктах. Поява сполук металів призводить до зміни напруги автогенератора, що і фіксується індикатором.

Непостійність амплітуди напруги, що генерується, та компенсуючої напруги викликає дрейф нуля автогенераторного вимірювача, що не дозволяє виміряти малі концентрації сполук металів у контролюємих продуктах.

Відомий пристрій для вимірювання концентрації сполук металів у нафтопродуктах (див. Кричевский Е.С., Бензарь В.К., Венедиктов М.В. и др. Теория и практика экспрессного контроля влажности твердых и жидких материалов. -М. Энергия, 1980, С.83-86), який забезпечує більш високу достовірність контролю і має в своєму складі вимірювальний автогенератор, в коливальний контур якого увімкнено сенсор з досліджуємою речовиною, і зразковий автогенератор, в коливальний контур якого увімкнено сенсор з еталонною речовиною. До виходів автогенераторів підключені послідовно з'єднані змішувач сигналів, фільтр нижніх частот, підсилювач напруги різницевої частоти, перетворювач різницевої частоти в напругу і вимірювальний прилад.

Але нестабільність характеристик двох незалежних автогенераторів, змішувача, фільтра нижніх частот, підсилювача і перетворювача частоти в напругу викликають велику адитивну похибку вимірювання (похибку „нуля“), що не дозволяє проводити кількісний аналіз, тобто визначати з високою точністю малі концентрації сполук металів у нафтопродукті.

Відомий також пристрій для вимірювання концентрації сполук металів у нафтопродуктах (див. Високоточні засоби вимірювання фізичних величин із самоналагодуванням і автокорекцією похибок. Навч. посібник /П.М. Таланчук, Ю.О. Скрипник, В.О. Дубровний. -К. УЗМН, 1996, С.225-228), який вміщує зразковий і вимірювальний індуктивні сенсори, перший і другий частото задаючі конденсатори, перший автогенератор, потенціальним виводом з'єднаний з потенціальним виводом першого частото задаючого конденсатора, заземленим виводом підключений до заземлених виводів частото задаючих конденсаторів і сенсорів, другий автогенератор, потенціальним виводом з'єднаний з потенціальним виводом другого частото задаючого конденсатора, заземленим виводом підключений до заземлених виводів частото задаючих конденсаторів і сенсорів, змішувач, входами з'єднаний з виходами автогенераторів, підсилювач низьких частот, синхронний детектор, сигнальним входом підключений до ви-

шого частото задаючого конденсатора, заземленим виводом підключений до заземлених виводів частото задаючих конденсаторів і сенсорів, другий автогенератор, потенціальним виводом з'єднаний з потенціальним виводом другого частото задаючого конденсатора, заземленим виводом підключений до заземлених виводів частото задаючих конденсаторів і сенсорів, змішувач, входами з'єднаний з виходами автогенераторів, підсилювач низьких частот, синхронний детектор, сигнальним входом підключений до виходу підсилювача низьких частот, реєстратор, генератор низьких частот, з'єднаний двома протифазними виходами з двома управляючими входами синхронного детектора.

Крім того, відомий пристрій має послідовно з'єднані смуговий фільтр, амплітудний обмежувач, смуговий підсилювач, амплітудний детектор, баластний конденсатор, заземленим виводом підключений до заземлених виводів частото задаючих конденсаторів і сенсорів, автоматичний ключ, управляючим входом з'єднаний з одним з протифазних виходів генератора низьких частот, а входом - до потенціального виводу баластного конденсатора, при цьому вихід автоматичного ключа підключений до потенціальних виводів другого автогенератора і зразкового сенсора, потенціальний вивід вимірювального сенсора підключений до потенціального виводу першого автогенератора, вхід смугового фільтра з'єднаний з виходом змішувача, вихід амплітудного детектора підключений до входу підсилювача низьких частот, вхід реєстратора з'єднаний з виходом синхронного детектора.

Але неплінійність і нестабільність смугового фільтру, смугового підсилювача під впливом температурних і часових змін їх параметрів не дозволяють з малими похибками проводити кількісну оцінку вмісту сполук металів у нафтопродуктах.

В основу винаходу покладена задача створення такого пристрою для вимірювання концентрації сполук металів у нафтопродуктах, в якому введення нових елементів та зв'язків дозволило б вимірювати відносні зміни індуктивності сенсора і, таким чином, виключити вплив температурних і часових змін параметрів автогенераторів, змішувача і сенсорів на результат вимірювання малих змін індуктивності вимірювального індуктивного сенсора, що підвищить достовірність контролю концентрації сполук металів у нафтопродуктах.

Поставлена задача вирішується тим, що у пристрій для вимірювання концентрації сполук металів у нафтопродуктах, який вміщує зразковий і вимірювальний індуктивні сенсори, перший і другий частото задаючі конденсатори, перший автогенератор, потенціальним виводом з'єднаний з потенціальним виводом першого частото задаючого конденсатора, заземленим виводом підключений до заземлених виводів частото задаючих конденсаторів і сенсорів, другий автогенератор, потенціальним виводом з'єднаний з потенціальним виводом другого частото задаючого конденсатора, заземленим виводом підключений до заземлених виводів частото задаючих конденсаторів і сенсорів, змішувач, входами з'єднаний з виходами автогенераторів, підсилювач низьких частот, синхронний детектор, сигнальним входом підключений до ви-

ходу підсилювача низьких частот, реєстратор, генератор низьких частот, з'єднаний двома протифазними виходами з двома управляючими входами синхронного детектора, згідно з винаходом, введені перший автоматичний перемикач, входами підключений до потенціальних виводів зразкового і вимірювального індуктивних сенсорів, а виходом - до потенціального виводу першого автогенератора, другий автоматичний перемикач, входами підключений до потенціальних виводів зразкового і вимірювального індуктивних сенсорів, а виходом - до потенціального виводу другого автогенератора, диференційний підсилювач, джерело стабілізованої опорної напруги, інтегратор, поспідовно з'єднані фільтр верхніх частот, підсилювач-обмежувач, формувач коротких однополярних імпульсів, широтно-імпульсний модулятор, перший фільтр нижніх частот, другий фільтр нижніх частот, при цьому вхід фільтра верхніх частот підключений до виходу змішувача, вихід першого фільтра нижніх частот з'єднаний з першим входом диференційного підсилювача і входом підсилювача низьких частот, вихід джерела стабілізованої опорної напруги підключений до другого входу диференційного підсилювача, вихід диференційного підсилювача з'єднаний з входом інтегратора, до виходу якого підключений управляючий вхід широтно-імпульсного модулятора, управляючі входи першого і другого автоматичних перемикачів підключені до протифазних виходів генератора низьких частот, вхід другого фільтра нижніх частот з'єднаний з виходом синхронного детектора, а вихід - з входом реєстратора

Введення в схему пристрою для вимірювання концентрації сполук металів у нафтопродуктах першого і другого автоматичних перемикачів, фільтра верхніх частот, підсилювача-обмежувача, формувача коротких однополярних імпульсів, широтно-імпульсного модулятора, першого і другого фільтрів нижніх частот, диференційного підсилювача, джерела стабілізованої опорної напруги і інтегратора дозволяє отримати результат виміру у вигляді відносних змін параметрів вимірювального сенсора, що виключає вплив нестабільності параметрів двох автогенераторів, змішувача на результат вимірювання, і забезпечує прямий відлік відносних змін індуктивності вимірювального сенсора, який розташований у досліджуємому паливі, завдяки чому підвищується достовірність контролю концентрації сполук металів у контрольованих нафтопродуктах

На кресленні (див. Фіг.) представлена функціональна схема пристрою для вимірювання концентрації сполук металів у нафтопродуктах

Пристрій вміщує зразковий 1 і вимірювальний 2 індуктивні сенсори, перший автоматичний перемикач 3, перший частото задаючий конденсатор 4, перший автогенератор 5, другий автоматичний перемикач 6, другий частото задаючий конденсатор 7, другий автогенератор 8, змішувач 9, фільтр верхніх частот 10, підсилювач-обмежувач 11, формувач коротких однополярних імпульсів 12, широтно-імпульсний модулятор 13, перший фільтр нижніх частот 14, диференційний підсилювач 15, інтегратор 16, джерело стабілізованої опорної напруги 17, підсилювач низьких частот 18, синхро-

ний детектор 19, другий фільтр нижніх частот 20, реєстратор 21 і генератор низьких частот 22

До входів автоматичних перемикачів 3 і 6 підключені потенціальні виводи зразкового 1 і вимірювального 2 індуктивних сенсорів 3 виходом першого автоматичного перемикача 3 з'єднані потенціальний вивід першого частото задаючого конденсатора 4 і вхід першого автогенератора 5 3 виходом другого автоматичного перемикача 6 з'єднані потенціальний вивід другого частото задаючого конденсатора 7 і вхід другого автогенератора 8 Виходи першого 5 і другого 8 автогенераторів з'єднані зі входами змішувача 9, до виходу якого підключені поспідовно з'єднані фільтр верхніх частот 10, підсилювач-обмежувач 11, формувач коротких однополярних імпульсів 12, широтно-імпульсний модулятор 13, перший фільтр нижніх частот 14, підсилювач низьких частот 18, синхронний детектор 19, другий фільтр нижніх частот 20 і реєстратор 21 Джерело стабілізованої опорної напруги 17 з'єднане з одним входом диференційного підсилювача 15, другий вхід якого з'єднаний з виходом першого фільтра нижніх частот 14 До виходу диференційного підсилювача 15 підключений інтегратор 16, вихід якого з'єднаний з управляючим входом широтно-імпульсного модулятора 13 Управляючі входи першого 3 і другого 6 автоматичних перемикачів підключені до протифазних виходів генератора низьких частот 22, до яких під'єднано керуючі входи синхронного детектора 19

Пристрій працює наступним чином

За відсутності сполук металів у контролюємому паливі індуктивності зразкового індуктивного сенсора 1, розміщеного у ємкості зі зразковим паливом, і вимірювального індуктивного сенсора 2, розміщеного у ємкості з контролюємым паливом, вибирають однаковими ($L_1=L_2=L$) Якщо перший автоматичний перемикач 3 знаходиться у верхньому положенні, а другий автоматичний перемикач 6 у нижньому положенні, як показано на Фіг., то частота першого автогенератора 5 визначається індуктивністю зразкового сенсора 1 та ємністю першого частото задаючого конденсатора 4, а частота другого автогенератора 8 - індуктивністю вимірювального сенсора 2 і ємністю другого частото задаючого конденсатора 7 Якщо перший автоматичний перемикач 3 знаходиться у нижньому положенні, а другий автоматичний перемикач 6 у верхньому положенні, то частота першого автогенератора 5 визначається індуктивністю вимірювального сенсора 2 та ємністю першого частото задаючого конденсатора 4, а частота другого автогенератора 8 - індуктивністю зразкового сенсора 1 і ємністю другого частото задаючого конденсатора 7

В загальному випадку резонансна частота f_k кожного автогенератора може бути визначена виразом

$$f_k = \frac{1}{2\pi\sqrt{C(L+\Delta L)}}, \quad (1)$$

де C - ємність частото задаючого конденсатора, підключеного до автогенератора,

L - індуктивність сенсора з паливом за відсутності сполук металів,

ΔL - додаткова індуктивність, викликана сполу-

ками металів. Згідно з виразом (1) частоти автогенератора 5 при переключенні зразкового 1 і вимірювального 2 сенсорів приймають значення

$$f_{k1}' = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_1 L}}, \quad (2)$$

$$f_{k1}'' = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_1 (L + \Delta L)}}, \quad (3)$$

де C_1 - ємність першого частотозадаючого конденсатора 4

Частоти другого автогенератора 8 при переключенні зразкового 1 і вимірювального 2 сенсорів згідно з виразом (1) приймають значення

$$f_{k2}' = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_2 (L + \Delta L)}}, \quad (4)$$

$$f_{k2}'' = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_2 L}}, \quad (5)$$

де C_2 - ємність другого частотозадаючого конденсатора 7, причому $C_1 < C_2$

Частота комутації автоматичних перемикачів 3 і 6 визначається частотою F коливань генератора низьких частот 22, яка вибирається у 500-700 разів менше частоти коливань другого автогенератора 8 в другий такт комутації (f_{k2}'')

Таким чином, при періодичних перемиканнях автоматичних перемикачів 3 і 6, що забезпечуються протифазними напругами генератора 22 низьких частот, в коливальних контурах автогенераторів 5 і 8 відбувається періодичне заміщення

$$U_3(t) = S_1 U_1' U_2' = \frac{S_1 U_{k1}' U_{k2}'}{2} \times \\ \times [\cos(2\pi(f_{k1}' - f_{k2}')t + (\varphi_1' - \varphi_2')) + \cos(2\pi(f_{k1}' + f_{k2}')t + (\varphi_1' + \varphi_2'))], \quad (10)$$

у другий напівперіод

$$U_3(t) = S_1 U_1'' U_2'' = \frac{S_1 U_{k1}'' U_{k2}''}{2} \times \\ \times [\cos(2\pi(f_{k1}'' - f_{k2}'')t + (\varphi_1'' - \varphi_2'')) + \cos(2\pi(f_{k1}'' + f_{k2}'')t + (\varphi_1'' + \varphi_2''))],$$

де S_1 - крутизна перетворення змішувача 9

Фільтр 10 верхніх частот із змішаних напруг (10) і (11) виділяє сигнали з сумарними частотами

$$U_4'(t) = \frac{K_1 S_1 U_{k1}' U_{k2}'}{2} \cos(2\pi f_c' t + (\varphi_1' + \varphi_2' - \varphi_3)), \quad (12)$$

$$U_4''(t) = \frac{K_1 S_1 U_{k1}'' U_{k2}''}{2} \cos(2\pi f_c'' t + (\varphi_1'' + \varphi_2'' - \varphi_3)), \quad (13)$$

де K_1 - коефіцієнт передачі фільтра 10 верхніх частот,

φ_3 - додатковий фазовий зсув, внесений під час фільтрації,

$$f_c' = f_{k1}' + f_{k2}',$$

$$f_c'' = f_{k1}'' + f_{k2}''$$

Пакети коливань U_4' і U_4'' можна розглядати як одну неперервну напругу сумарної частоти, модульовану за частотою і амплітудою з низькою

індуктивності зразкового сенсора 1 з еталонним паливом індуктивністю вимірювального сенсора 2 з контролюємим паливом. В результаті періодичної комутації змінюються резонансні частоти автогенераторів 5 і 8, а на їх виходах у перший напівперіод комутації формуються пакети високочастотних коливань

$$U_1'(t) = U_{k1}' \cdot \cos(2\pi f_{k1}' t + \varphi_1'), \quad 0 < t < 1/(2F) \quad (8)$$

$$U_1'(t) = U_{k2}' \cdot \cos(2\pi f_{k2}' t + \varphi_2'), \quad 0 < t < 1/(2F) \quad (7)$$

у другий напівперіод комутації

$$U_1''(t) = U_{k1}'' \cdot \cos(2\pi f_{k1}'' t + \varphi_1'), \quad 1/(2F) < t < 1/F \quad (8)$$

$$U_1''(t) = U_{k2}'' \cdot \cos(2\pi f_{k2}'' t + \varphi_2'), \quad 1/(2F) < t < 1/F \quad (9)$$

де U_{k1}' , f_{k1}' і φ_1' - амплітуда, частота і фаза напруги автогенератора 5 при підключенні зразкового індуктивного сенсора 1,

U_{k1}'' , f_{k1}'' і φ_1'' - амплітуда, частота і фаза напруги автогенератора 5 при підключенні вимірювального індуктивного сенсора 2,

U_{k2}' , f_{k2}' і φ_2' - амплітуда, частота і фаза напруги автогенератора 8 при підключенні вимірювального індуктивного сенсора 2,

U_{k2}'' , f_{k2}'' і φ_2'' - амплітуда, частота і фаза напруги автогенератора 8 при підключенні зразкового індуктивного сенсора 1

На виході змішувача 9 у перший напівперіод комутації формується напруга, яка пропорційна добутку напруг автогенераторів 5 і 8

частотою комутації сенсорів ($F \ll f_c$). Модульована напруга з виходу фільтра верхніх частот 10 поступає на підсилювач-обмежувач 11, який з гармонічних коливань за рахунок обмеження зверху формує коливання трапецеїдальної форми. За допомогою формувача 12 коротких однополярних імпульсів створюється послідовність коротких імпульсів, які відповідають моментам переходу через нуль трапецеїдальної напруги сумарної частоти

Короткі імпульси надходять на один вхід широтно-імпульсного модулятора 13, на другий вхід якого впливає управляюча напруга U_y . В залежності від значення управляючої напруги U_y на виході широтно-імпульсного модулятора 13 формуються прямокутні імпульси постійної довжини τ_1 і постійної амплітуди U_n , частота слідування яких визначається частотами коливань f_c' і f_c''

Модульовані за частотою імпульси з заданою вольт-секундною площею ($U_n \tau_1 = \text{const}$) надходять на перший фільтр нижніх частот 14. В результаті усереднення імпульсів на виході першого фільтра нижніх частот 14 ($f_c \gg F$) при першому положенні автоматичних перемикачів 3 і 6 формується напруга імпульса тривалістю $1/2F$

$$U_5' = K_2 U_n \tau_1 f_c', \quad 0 < t < 1/(2F) \quad (14)$$

при другому положенні формується напруга тієї ж тривалості

$$U_5'' = K_2 U_n \tau_1 f_c'', \quad 1/(2F) < t < 1/F \quad (15)$$

де K_2 - коефіцієнт передачі фільтра 14 нижніх частот

Так як $f_c' \neq f_c''$, то на виході першого фільтра нижніх частот 14 формуються довгі імпульси з різними амплітудами ($U_5' \neq U_5''$)

Постійна складова послідовності імпульсів (14) і (15)

$$U_6 = (U_5' + U_5'')/2 = U_n \tau_1 K_2 (f_c' + f_c'')/2 \quad (16)$$

впливає на один вхід диференційного підсилювача 15. На другий вхід диференційного підсилювача подано напругу U_0 від джерела опорної напруги 17. Підсилена диференційним підсилювачем 15 з коефіцієнтом підсилення K_3 різницева напруга

$$U_7 = K_3 [U_0 - U_n \tau_1 K_2 (f_c' + f_c'')/2] \quad (17)$$

заряджає інтегратор 16. При заряді інтегратора 16 зростає його вихідна напруга, яка впливає на керуючий вхід широтно-імпульсного модулятора 13 і змінює наявну довжину імпульсів τ_1 на його виході. Процес автоматичного регулювання довжини імпульсів триває до тих пір, поки вхідні напруги диференційного підсилювача 15 не зрівняються. У цьому випадку вихідна напруга диференційного підсилювача 15 стане рівною нулю, і заряд інтегратора припиняється. При цьому довжина імпульсів на виході модулятора прийме усталене значення. Якщо прирівняти напругу U_7 до нуля, то отримаємо усталене значення довжини імпульсів

$$\tau_2 = 2U_0 / [K_2 U_n (f_c' + f_c'')] \quad (18)$$

З виразів (14) і (15) видно, що регулювання довжини імпульсів до усталеного значення τ_2 не усуває нерівності амплітуд імпульсів U_5' і U_5'' . З нерівних напруг U_5' і U_5'' підсилювачем 18 низьких частот виділяється і підсилюється змінна складова напруги частоти комутації F

$$U_8(t) = K_4 [(U_5' - U_5'')/2] \text{sign} \sin(2\pi Ft + \varphi_4), \quad (19)$$

де K_4 - коефіцієнт підсилення підсилювача низьких частот 18,

φ_4 - початкова фаза змінної напруги низької частоти,

$\text{sign} \sin$ - прямокутна форма (меандр) напруги низької частоти. Підставляючи в (19) значення напруг U_5' і U_5'' з (14) і (15), отримуємо

$$U_8(t) = K_4 K_2 U_n \tau_2 (f_c' - f_c'') \text{sign} \sin(2\pi Ft + \varphi_4) / 2 \quad (20)$$

Якщо у вираз (20) підставити значення τ_2 з (18), то отримаємо

$$U_8(t) = K_4 U_0 \left(\frac{f_c' - f_c''}{f_c' + f_c''} \right) \text{sign} \sin(2\pi Ft + \varphi_4). \quad (21)$$

Змінна напруга (21) випрямляється синхронним детектором 19, який керується протифазними напругами генератора низьких частот 22, згла-

джується другим фільтром 20 нижніх частот і фіксується вихідним реєстратором 21. Реєструєма постійна напруга

$$U_9 = K_4 K_5 K_6 U_0 \left(\frac{f_c' - f_c''}{f_c' + f_c''} \right), \quad (22)$$

де K_5 - коефіцієнт передачі синхронного детектора 19,

K_6 - коефіцієнт передачі фільтра 20 нижніх частот

Враховуючи співвідношення (2) і (4), і рахуючи, що $C_1 < C_2$, сума частот в перший такт комутації

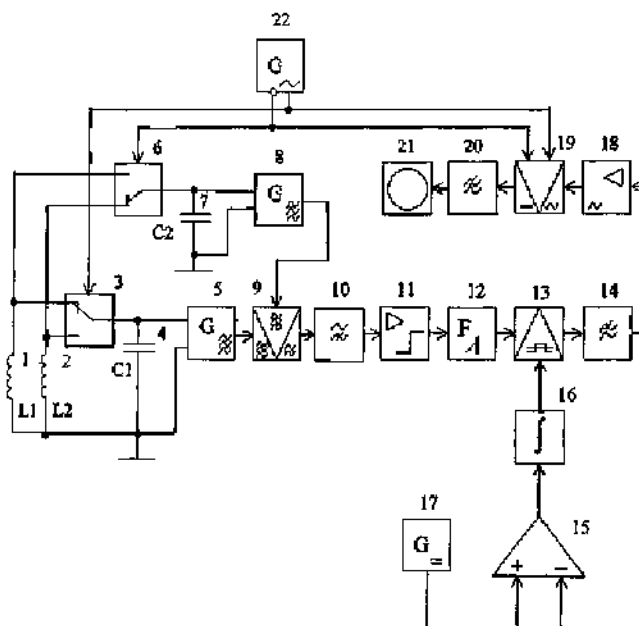
$$f_c' = f_{k1}' + f_{k2}' = \frac{1}{2\pi\sqrt{L}} \left(\frac{1}{\sqrt{C_1}} + \frac{1}{\sqrt{C_2(1 + \Delta L/L)}} \right). \quad (23)$$

З урахуванням співвідношень (3) і (5), сума частот в другий такт комутації

передачі фільтра 14 нижніх частот (K_2) і електричних втрат, внесених порівнюваними нафтопродуктами в коливальні контури автогенераторів. Параметри низькочастотного тракту пристрою (K_4 , K_5 і K_6), які входять у рівняння перетворення (29) легко стабілізуються відомими прийомами, наприклад, від'ємним зворотнім зв'язком.

Приклад. Досліджена двогенераторна вимірювальна схема з взаємно перемикаємими індуктивними сенсорами. Частоти автогенераторів вибрані 45КГц і 55КГц відповідним підбором конденсаторів C_1 і C_2 . Фільтр верхніх частот вибраний з частотою

зрізу 100КГц, що забезпечує виділення сумарних частот у смузі 100-120КГц. Перемикання індуктивних сенсорів здійснюється за допомогою виконачих на герконах перемикачів. Обмотки перемикачів включені в плечі генератора низьких частот, що працює з частотою 75Гц. Розглянений пристрій забезпечує вимірювання малих концентрацій сполук металів в межах від 0,01 до 1г/кг з похибкою не більше 0,001г/кг. Це дозволяє з високою достовірністю контролювати концентрацію сполук металів у нафтопродуктах і сертифікувати нафтопродукти по їх якості.



Фіг.

ДП «Український інститут промислової власності» (Укрпатент)

вул. Сим'ї Хохлових, 15, м. Київ, 04119, Україна

(044) 456 – 20 – 90

ТОВ «Міжнародний науковий комітет»

вул. Артема, 77, м. Київ, 04050, Україна

(044) 216 – 32 – 71