



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 76182

(13) C2

(51) МПК (2006)

G01N 22/00

G01F 13/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ І ЯКІСНОГО СКЛАДУ РЕЧОВИНИ В ПОТОЦІ

1

(21) 2004021397

(22) 26.02.2004

(24) 17.07.2006

(46) 17.07.2006, Бюл. № 7, 2006 р.

(72) Широков Ігор Борисович, Полівкін Сергій Миколайович

(73) Широков Ігор Борисович

(56) SU 1624263, 30.01.1991

WO 9004167, 19.04.1990

JP 7181146, 21.07.1995

EP 0935136, 11.08.1999

JP 5113412, 07.05.1993

US 3762221, 02.10.1973

Викторов В.А., Лункин Б.В., Совлуков А.С. Радиоволновые измерения параметров технологических процессов. - М.: Энергоиздат. 1989. - С.132-137

(57) Спосіб визначення швидкості потоку речовини і його якісного складу, що включає випромінювання і прийом безупинних надвисокочастотних коливань, який **відрізняється** тим, що спочатку генерують безупинні надвисокочастотні коливання з частотою  $f_1$ , які потім подають через два циркулятори до двох зустрічно-спрямованих антен, причому на одну з них надвисокочастотні коливання подають безпосередньо з виходу одного циркулятора, а на іншу - через керований двоспрямований фазообертач, за допомогою якого вносять у вихідні надвисокочастотні коливання з частотою  $f_1$  монотонно наростаюче фазове зрушення, таким чином, що за час періоду  $T$  низькочастотних коливань фаза надвисокочастотних коливань змінюється від 0 до  $2\pi$ , таким чином, що результуючі надвисокочастотні коливання мають зрушення по частоті  $f_1 + F$ , де  $F = \frac{1}{T}$ , причому зрушення фази і

частоти надвисокочастотних коливань досягають тим, що на керований вхід фазообертача подають низькочастотний керуючий сигнал від генератора низькочастотних коливань, причому обидва надвисокочастотні коливання випромінюються антенами назустріч одне одному, а випромінена другою

2

антенною хвиля з частотою  $f_1$ , що пройшла через потік речовини, що рухається, одержить набіг  $kd$  фази, яка залежить від пройденого в речовині  $d$  шляху і електрофізичних параметрів речовини, і доплерівське  $\Delta f_d$  зрушення, яке залежить від швидкості потоку речовини, та потрапить у першу антену, де за допомогою двоспрямованого фазообертача в прийняті першою антенною надвисокочастотні коливання вносять монотонно наростаюче фазове зрушення, яке відповідає зрушенню за частотою прийнятих першою антенною надвисокочастотних коливань  $f_1 + F$ , причому випромінена електромагнітна хвиля з частотою  $f_1 + F$ , пройшовши через потік речовини, що рухається, також одержить набіг  $kd$  фази, який залежить від пройденого в речовині  $d$  шляху і електрофізичних параметрів речовини, і таке ж доплерівське  $\Delta f_d$  зрушення, причому кожне з двох прийнятих надвисокочастотних коливань подають через циркулятори на змішувачі, де ці коливання змішують з вихідними опорними надвисокочастотними коливаннями з частотою  $f_1$  і виділяють комбінаційні низькочастотні складові різниці, причому кожна з цих низькочастотних складових різниці несе інформацію про швидкість речовини в потоці і його електрофізичні параметри, ці низькочастотні складові перемножують між собою і одержують два комбінаційні сигнали, один із яких містить переважно низькочастотні складові, а другий - складові з частотами близькими до  $2F$ , комбінаційні сигнали розділяють на низькочастотну і високочастотну складові фільтрами, низькочастотну складову подають на частотомір і вимірюють швидкість потоку речовини, а високочастотну складову подають на один з входів фазометра, на другий вхід якого подають сигнал з генератора низької частоти, який попередньо пропускають через подвоювач частоти, та визначають електрофізичні властивості речовини.

(13) C2

(11) 76182

(19) UA

Винахід відноситься до області електричних вимірів і може бути використаний при вимірі параметрів потоку речовини.

Відомі способи виміру швидкості потоку і втрати речовини засновані на використанні ефекту Доплера, що має місце при розсіюванні електромагнітних хвиль на природних чи штучних неоднорідностях (мітках) контрольованої речовини в потоці, або на непрямому сприйнятті інформації про потік, коли гідродинамічні параметри потоку роблять деформуючий чи інший вплив на датчик, змінюючи його характеристики. Даний спосіб описаний у книзі У. Болтона «Кишеньковий довідник інженера - метролога», М.: ДОДЭКА-ХХ1, 2002. - 384 с. на сторінках 242-259. Однак при реалізації вимірників перерахованими методами виникають проблеми з забезпеченням їхньої точності і швидкодії.

Найбільш близьким по технічній суті до передбачуваного винаходу є метод визначення швидкості потоку речовини, заснована на вимірі величини доплерівського зрушення частот, що виникає при поширенні електромагнітної хвилі через контрольовану речовину, що рухається в потоці. Даний спосіб описаний у книзі [Вікторова В.А. і ін. «Радіохвильові виміри параметрів технологічних процесів», М.: Энергоатомиздат, 1989. - 208 с. на сторінках 132-137].

По цьому способі визначення швидкості потоку речовини спочатку генерують безупинні надвисокочастотні коливання частотою  $f_0$ , що потім подають на передавальну антену, що володіє спрямованими властивостями. Випроменена передавальною антеною електромагнітна хвиля, проходячи через середовище, перетерплює зрушення по частоті і надходить на прийомну антену. Прийомну антену вибирають з необхідними спрямованими властивостями. Прийнята прийомною антеною електромагнітна хвиля буде мати частоту коливань, рівну  $f$ , котра відрізняється від вихідної частоти надвисокочастотних коливань  $f_0$  на деяке значення частоти  $\Delta f_d$ , що з'являється внаслідок дії ефекту Доплера, що виникає при поширенні електромагнітної хвилі в речовині, що рухається. Далі прийняте високочастотне коливання з частотою  $f$  і вихідне високочастотне електромагнітне коливання з частотою  $f_0$  подають на змішувач, на виході якого одержують сигнал різницевої частоти  $f_d = f - f_0$ , що після фільтрації і посилення подають на вимірювальний пристрій.

Однак приведений спосіб виміру швидкості потоку речовини має невисоку точність, що зв'язано з відсутністю в ньому обліку зміни величини доплерівського зрушення частоти при зміні електрофізичних параметрів речовини. Крім того, даний метод виміру не дозволяє визначити електрофізичні параметри речовини, швидкість потоку якого вимірюється.

В основу винаходу поставлена задача мінімізувати помилки виміру швидкості потоку речовини й одночасно вимірювати електрофізичні властивості самої речовини в потоці. Вона зважається за-

вдяки тому, що спочатку генерують безупинні надвисокочастотні коливання з частотою  $f_1$ , що потім подають через два циркулятора на дві зустрічно-спрямовані антени. причому на одну з них надвисокочастотні коливання подають безпосередньо з виходу одного циркулятора, а на іншу через керований двоспрямований фазовращатель, за допомогою якого вносять у вихідні надвисокочастотні коливання з частотою  $f_1$ , монотонно наростаюче фазове зрушення, так, що за час періоду  $T$  низькочастотних коливань фаза надвисокочастотних коливань змінюється 0 до  $2\pi$ , так що результуючі надвисокочастотні коливання мають зрушення по частоті  $f_1 + F$ , де  $F = \frac{1}{T}$ , причому зрушення фази,

а відповідно і частоти надвисокочастотних коливань досягають тим, що на керований вхід фазовращателя подають низькочастотний керуючий сигнал, що генерують генератором низькочастотних коливань, причому шпалера надвисокочастотні коливання випромінюються антенами назустріч один одному, причому випроменена другою антеною хвиля з частотою  $f_1$ , пройшовши через потік речовини, що рухається, придбає набіг  $kd$  фази, що залежить від пройденого в речовині  $d$  шляху і електрофізичних параметрів самої речовини і доплерівський зрушення  $\Delta f_d$  природного походження, що залежить від швидкості потоку речовини, причому ця хвиля потрапить у першу антену, де за допомогою двоспрямованого фазообертача в прийнятій першою антеною надвисокочастотні коливання вносять монотонно наростаюче фазове зрушення, що відповідає зрушенню по частоті прийнятих першою антеною надвисокочастотних коливань  $f_1 + F$ , причому випроменена електромагнітна хвиля з частотою  $f_1 + F$ , пройшовши через потік речовини, що рухається, також придбає набіг  $kd$  фази, що залежить від пройденого в речовині  $d$  шляху і електрофізичних параметрів самої речовини і такий же доплерівський зрушення  $\Delta f_d$  природного походження, що залежить від швидкості потоку речовини, причому кожне з двох прийнятих надвисокочастотних коливань подають через циркулятори на змішувачі, де ці коливання змішують з вихідними опорними надвисокочастотними коливаннями з частотою  $f_1$ , і виділяють комбінаційні низькочастотні складові різниці, причому кожна з цих низькочастотних складових різниці несе інформацію про швидкість речовини в потоці і його електрофізичних параметрах, причому для поділу даної інформації ці низькочастотні складові перемножують між собою й у результаті перемноження одержують два комбінаційних сигнали, один з яких містить переважно низькочастотні складові, а другий складові з частотами близькими до  $2F$ , причому після перемноження комбінаційні сигнали розділяють на низькочастотну і високочастотну складову фільтрами, причому низькочастотну складову подають на частотомір, яким вимірюють швидкість потоку речовини, а високочастотну

складову подають на один вхід фазометра, на другий вхід якого подають сигнал з генератора низької частоти, що попередньо пропускають через подвоювач частоти, при цьому фазометром вимірюють електрофізичні властивості речовини.

Порівняння передбачуваного методу з уже відомими способами і прототипом показує, що спосіб, що заявляється, виявляє нові технічні властивості, що полягають у можливості одночасного незалежного визначення швидкості потоку речовини і його якісного складу.

Ці властивості передбачуваного винаходу є новими, тому що в способі-прототипі мають недоліки, що полягають у залежності обмірюваного значення швидкості потоку речовини від його електрофізичних параметрів, а також відсутності можливості виміру електрофізичних параметрів речовини в потоці.

У пропонованому способі визначення параметрів і швидкості потоку речовини спочатку генерують надвисокочастотні коливання з частотою  $f_1$ , що потім подають у два вимірювальних канали, причому в один з них надвисокочастотні коливання подають з генератора через циркулятор, а в інший - через циркулятор і керований двоспрямований фазовращатель, за допомогою якого вносять у вихідні надвисокочастотні коливання з частотою  $f_1$ , монотонно наростаюче фазове зрушення, що відповідає зрушенню частоти минаючих через керований двоспрямований фазовращатель надвисокочастотних коливань на деяку величину  $F$ .

Обоє ці надвисокочастотних коливання випромінюються антенами назустріч один одному, причому перша антена випромінює електромагнітну хвилю з частотою  $f_1$ , а друга антена випромінює електромагнітну хвилю частотою  $f_1 + F$ . Напрямок поширення електромагнітних хвиль утворить з напрямком поширення речовини кут  $\alpha$ , відмінний від  $90^\circ$ .

Випроменена першою антеною електромагнітна хвиля з частотою  $f_1$ , проходить через потік речовини, що рухається, і здобуває набіг  $kd$  фази, що залежить від пройденого  $d$  шляху в речовині і природний доплерівський зрушення несучої частоти електромагнітної  $\Delta f_d$  хвилі, що залежить від швидкості потоку речовини. Доплерівське зрушення частоти природного походження має знак, що залежить від взаємного розташування векторів потоку речовини і поширення електромагнітної хвилі.

Цю електромагнітну хвилю приймають другою антеною і подають на керований двоспрямований фазовращатель, за допомогою якого вносять у надвисокочастотні коливання монотонно наростаюче фазове зрушення, що відповідає зрушенню частоти минаючих через керований дво спрямований фазовращатель надвисокочастотних коливань на деяку величину  $F$ , після чого трансформовані по частоті надвисокочастотні коливання через циркулятор подають на вхід першого змішувача.

Випроменена другою антеною електромагнітна хвиля з частотою  $f_1 + F$  проходить через потік речовини, що рухається, і також здобуває набіг  $kd$  фази, що залежить від пройденого  $d$  шляху в речовині і доплерівський  $\Delta f_d$  зрушення, що залежить від швидкості потоку речовини. Причому доплерівський зрушення частоти природного походження також має знак, що залежить від взаємного розташування векторів потоку речовини і поширення електромагнітної хвилі.

Цю хвилю приймають першою антеною і через циркулятор подають на вхід другого змішувача.

У змішувачах кожні з двох прийнятих надвисокочастотних коливань змішують з вихідними високочастотними коливаннями з частотою  $f_1$ , і виділяють комбінаційні низькочастотні складові різниці. Ці низькочастотні складові несуть у собі інформацію про швидкість потоку речовини і його електрофізичних параметрах.

Для поділу інформації про параметри речовини і швидкості його потоку, дані низькочастотні складові перемножують між собою. У результаті перемножування одержують комбінаційний сигнал, що складається з двох складових, одна з яких має спектр, розташований в області постійного струму, а інша - біля центральної частоти, рівної  $2F$ , де  $F = \frac{1}{T}$  штучний доплерівський зрушення, що вносять керованим двоспрямованим фазовращателем,  $T$  - період проходження керуючих фазовращателем низькочастотних сигналів.

У низькочастотній комбінаційній складовій на виході перемножника міститься інформація про швидкість потоку речовини, а в складовій з центральною частотою, рівної  $2F$  міститься інформація про електрофізичних параметри потоку речовини.

Далі комбінаційний сигнал подають на частотно-вибірчі ланцюги, якими розділяють складові даного сигналу, що несуть інформацію про швидкість потоку і його параметрів і подають у канал виділення інформації про швидкість потоку речовини й у канал виділення інформації про параметри речовини в потоці.

У способі виміру, що заявляється, швидкості потоку речовини і його електрофізичних параметрів немає необхідності застосовувати окремі генератори надвисокочастотних коливань для кожного з двох вимірювальних каналів. Це виключає відповідні складові погіршностей і усуває вплив роботи одного генератора на роботу іншого.

Описаний спосіб визначення параметрів потоку речовини можна реалізувати за допомогою пристрою, приведенного на малюнку.

Пристрій для визначення параметрів потоку речовини містить ділянку 2, у якому контролюються параметри потоку речовини 1, першу і другу приймально-передавальні антени 4 і 3, перший і другий циркулятори 5 і 8, перший і другий змішувачі 6 і 10, керований двоспрямований фазовращатель 7, генератор надвисокочастотних коливань 9, перший і другий селективні підсилювачі 14 і 11, перемножник 12, фільтри 13 і

15, генератор низької частоти 16, фазометр 17, частотомір 18 і подвоювач частоти 19.

При цьому друга приймально-передавальна антена 3 з'єднана з першим сигнальним входом керованого двоспрямованого фазовращателя 7, керуючий висновок якого з'єднаний з першим виходом генератора низької частоти 16, інший сигнальний висновок фазовращателя 7 з'єднаний з першим висновком другого циркулятора 8, другий висновок якого з'єднаний із входом другого змішувача 10, а третій висновок якого з'єднаний з першим виходом генератора надвисокочастотних коливань 9, другий висновок якого з'єднаний з першим висновком першого циркулятора 5, причому другий висновок першого циркулятора 5 з'єднаний з першою передавальною антеною 4, а третій висновок першого циркулятора 5 з'єднаний із входом першого змішувача 6, вихід якого з'єднаний із входом першого селективного підсилювача 14, причому вихід другого змішувача 10 з'єднаний із входом другого селективного підсилювача 11, вихід якого з'єднаний з першим входом перемножника 12, другий вхід якого з'єднаний з виходом першого селективного підсилювача 14, причому вихід перемножника з'єднаний одночасно з входами фільтрів 13 і 15, причому вихід фільтра 13 з'єднаний першим входом фазометра 17, другий вхід якого з'єднаний з виходом подвоювача частоти 19, вхід якого з'єднаний із другим виходом генератора низької частоти 16, при цьому вихід фільтра 15 з'єднаний із входом частотоміра 18, причому на виході фазометра одержують сигнал, що містить інформацію про параметри речовини в потоці, а на виході частотоміра одержують сигнал, пропорційний швидкості потоку речовини.

Працює пристрій, що реалізує описаний спосіб виміру, у такий спосіб. Надвисокочастотні коливання з початковою амплітудою  $U_1$ , частотою  $f_1$  і початковою фазою  $\varphi_1$ , описувані наступним вираженням

$$U_{\text{оп}} = U_1 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot t + \varphi_1),$$

з виходу генератора надвисокочастотних коливань 9 подають через циркулятор 5 у першу антену 4. При цьому в напрямку другої антени 3 випромінюють електромагнітну хвилю частотою  $f_1$ .

Паралельно ці ж надвисокочастотні коливання з тією же початковою амплітудою, частотою і початковою фазою з другого виходу генератора надвисокочастотних коливань 9 через другий циркулятор 8 подають на сигнальний вхід керованого двоспрямованого фазовращателя 7 і потім у другу антену 3. Керований дво спрямований фазовращатель являє собою фазовращатель прохідного типу, що реалізує монотонне наростання фази надвисокочастотних коливань. При цьому, якщо за період  $T$  низькочастотного керуючого сигналу, що надходить з виходу генератора низької частоти 16 на керуючий вхід фазовращателя, реалізується в керованому двоспрямованому фазовращателі 7 зрушення фаз надвисокочастотних коливань від 0 до  $2\pi$ , те можна говорити про зрушення спектра

надвисокочастотних коливань на так названу частоту Допплера

$$\Omega = \frac{2\pi}{T} \text{ або } F = \frac{1}{T}$$

При цьому в напрямку антени 4 випромінюють електромагнітну хвилю частотою

$$f_2 = f_1 + F$$

Першою антеною 4 приймають коливання, що випроменили другою антеною 3. При поширенні електромагнітної хвилі від антени 3 до антени 4, вона здобуває в середовищі 1 набіг фази  $kd$ , де  $k$  - хвильове число,  $d$  - шлях електромагнітної хвилі в речовині. Крім набігу фази електромагнітна хвиля, що поширюється від антени 3 до антени 4, одержить також доплерівський зрушення несучої частоти  $\Delta f_D$  природного походження, обумовлений наявністю радіальної складової швидкості потоку речовини

$$\Delta f_D = \frac{f \cdot v_{\text{вещ}} \cdot \cos(\alpha)}{c} \cdot \sqrt{\varepsilon}$$

де  $f$  - несуча частота надвисокочастотних коливань;

$v_{\text{вещ}}$  - швидкість потоку речовини;

$\alpha$  - кут між напрямками поширення електромагнітних хвиль і напрямком поширення потоку речовини;

$\varepsilon$  - діелектрична проникність потоку речовини;

$z$  - швидкість світла.

Знак доплерівського зрушення несучої частоти електромагнітної хвилі буде залежати від напрямку взаємного поширення електромагнітної хвилі і потоку речовини, і для хвилі, що поширюється від антени 3 до антени 4, буде позитивним для зазначеного на малюнку напрямку руху потоку речовини і розташування антен 3 і 4.

Електромагнітну хвилю, що поширюється від другої антени 3, приймають першою антеною 4 і через перший циркулятор 5 подають на перший змішувач 6, куди також попадає сигнал від генератора надвисокочастотних коливань 9. На виході першого змішувача 6 виділяють комбінаційну низькочастотну складову різниці вихідних надвисокочастотних коливань і надвисокочастотних коливань, що пройшли через речовину, швидкість і параметри якого визначають. При цьому аргумент комбінаційних низькочастотних складових різниці надвисокочастотних коливань на виході змішувача визначають наступним вираженням:

$$\Psi_{\text{нч}} = (2\pi \cdot (f_1 + F + \Delta f_D) \cdot t + kd + \varphi_0 + \varphi_{\text{нч}}) - (2\pi \cdot f_1 \cdot t + \varphi_0) = 2\pi \cdot (F + \Delta f_D) \cdot t + kd + \varphi_{\text{нч}},$$

де  $\varphi_{\text{нч}}$  - початкова фаза коливань генератора низької частоти 16.

Даний низькочастотний сигнал підсилюють першим селективним підсилювачем 14 і подають на перший вхід перемножника 12.

Антеною 3 приймають коливання, що випроменили антеною 4. При поширенні електромагнітної хвилі від антени 4 до антени 3, вона здобуває в середовищі 1 набіг фази  $k'd$ , де  $k'$  - хвильове число для електромагнітного коливання, що має частоту  $f_2 = f_1 + F$ ,  $d$  - шлях

електромагнітної хвилі в речовині. Оскільки частота Доплера багато менше частоти надвисокочастотних коливань, значення частот  $f_1$  і  $f_1 + F$  дуже мало відрізняються друг від друга. Тому  $k' \approx k$ . При цьому набіг фази  $kd$ , отриманий електромагнітною хвилею, що поширюється від антени 4 до антени 3, буде відповідати набігу фази  $k'd$ , отриманому хвилею, що поширюється від антени 3 до антени 4. Крім набігу фази електромагнітна хвиля, що поширюється від антени 4 до антени 3, також одержить природний доплерівський зрушення несучої частоти  $\Delta f'_d$ .

Знак доплерівського зрушення несучої частоти електромагнітної хвилі, що поширюється від антени 4 до антени 3, буде залежати від напрямку взаємного поширення електромагнітної хвилі і потоку речовини і для хвилі, що поширюється від антени 4 до антени 3, буде негативним для зазначеного на малюнку напрямку руху потоку речовини. Величина доплерівського зрушення, отриманого електромагнітною хвилею, що поширюється від антени 4 до антени 3, буде практично дорівнює величині доплерівського зрушення несучої частоти електромагнітної хвилі, що поширюється від антени 3 до антени 4,  $\Delta f'_d \approx \Delta f_d$  оскільки

$f_1 \approx f_1 + F$ . Сигнал, прийнятий антеною 3 подають у керований двоспрямований фазоврацатель 7, що, вносить у прийнятий високочастотний сигнал монотонно наростаюче фазове зрушення, що відповідає зрушенню частоти прийнятого сигналу на деяку величину  $F$ . Після керованого дво спрямованого фазоврацателя 7 зміщений по частоті сигнал подають через другий циркулятор 8 на другий змішувач 10, куди також подають сигнал від генератора надвисокочастотних коливань 9. На виході другого змішувача 10 виділяють комбінаційну низькочастотну складову різниці вихідного високочастотного коливання і коливання, що пройшло через речовину, швидкість і параметри якого визначають. При цьому аргумент низькочастотних комбінаційних складових різниці надвисокочастотних коливань на виході змішувача визначають наступним вираженням:

$$\Psi_{HЧ2} = (2\pi \cdot (f_1 + F - \Delta f_d) \cdot t + kd + \varphi_0 + \varphi_{HЧ}) - \\ - (2\pi \cdot f_1 \cdot t + \varphi_0) = 2\pi \cdot (F - \Delta f_d) \cdot t + kd + \varphi_{HЧ}$$

Даний низькочастотний сигнал підсилюють другим селективним підсилювачем 11 і подають на другий вхід перемножника 12. На виході перемножника одержують сигнал, що складається із суміші двох сигналів, аргументи яких описують вираженням

$$\Psi_{M1} = 2\pi \cdot 2 \cdot F \cdot t + 2 \cdot kd + 2 \cdot \varphi_{HЧ};$$

$$\Psi_{M2} = 2\pi \cdot 2 \cdot \Delta f_d \cdot t.$$

Складова вихідного сигналу з аргументом  $\Psi_{M1}$ , містить інформацію про електрофізичних параметри речовини в потоці і не містить складову помилки, обумовлену доплерівським зрушенням частоти природного походження, а складова з аргументом  $\Psi_{M2}$  містить інформацію про швидкість потоку речовини і не містить складову помилки, обумовлену електрофізичними параметрами речовини. Для поділу цих сигналів до виходу перемножника 12 підключають одночасно два фільтри 13 і 15, причому смуговий фільтр 13 з центральною частотою пропущення рівній подвоєній частоті коливань генератора низької частоти 16 застосовують для виділення інформації про параметри речовини в потоці, а фільтр нижніх частот 15 використовують для виділення інформації про швидкість потоку речовини. З виходу смугового фільтра 13 сигнал подають на перший вхід фазового детектора 16, на другий вхід цього детектора подають сигнал з виходу подвоювача частоти 19, що має аргумент

$$\Psi_{HЧ} = 2\pi \cdot 2F \cdot t + 2 \cdot \varphi_{HЧ}.$$

У результаті, на виході фазового детектора одержують сигнал, що прямо пропорційний подвоєному набігу фази  $2kd$  електромагнітної хвилі в речовині. З виходу фільтра низької частоти 15 сигнал подають на вхід частотоміра 18, вихідний сигнал якого пропорційний швидкості потоку речовини.

Народногосподарський ефект від використання передбачуваного винаходу зв'язаний з появою можливості одночасного виміру кількісних і якісних показників речовини. Крім того, немає необхідності застосування окремих генераторів для кожного з двох вимірювальних каналів, що усуває вплив роботи одного генератора на роботу іншого, а також високих вимог до точності юстирування положення випромінюючих антен, що виключає відповідні складові погрешності, а також дає можливість застосування різних вимірювальних вузлів після відповідної калібрування вимірників.

Інший аспект підвищення ефективності застосування передбачуваного винаходу зв'язаний з можливістю його використання в складі аналітично-вимірювальних комплексів безупинного контролю за параметрами речовини в потоці, наприклад у системах перманентного екологічного моніторингу, контролем за витратою робочих речовин у виробничих процесах, системах автоматичного керування технологічними процесами.

