



УКРАЇНА

(19) UA (11) 50132 (13) U  
(51) МПК (2009)  
G01K 13/00МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ПАТЕНТУ  
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під  
відповідальність  
власника  
патенту

## (54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ БЕЗКОНТАКТНОГО ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ

1

(21) u200912678

(22) 07.12.2009

(24) 25.05.2010

(46) 25.05.2010, Бюл.№ 10, 2010 р.

(72) ГРАБКО ВАЛЕНТИН ВОЛОДИМИРОВИЧ

(73) ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ

(57) Пристрій для безконтактного вимірювання температури, що містить об'єктив, діафрагму, отвір якої являє собою сектор, доповнений круглим отвором, центр якого співпадає з вершиною сектора та головною оптичною віссю,  $n$  дзеркал, закріплених на оптичній лінійці таким чином, що їх площини утворюють кут  $45^\circ$  з головною оптичною віссю, діафрагмуючі отвори дзеркал являють собою еліпси, на одній оптичній осі з якими встановлені  $n$  лінз та лінійка  $n$  інфрачервоних датчиків, вихід  $n$ -го інфрачервоного датчика через конденсатор підключений до другого входу першого компаратора, перший вхід якого з'єднаний з виходом першого джерела опорної напруги, а вихід підключений до входу першого світлодіода, вихід третього джерела опорної напруги з'єднаний з першим входом першого комутатора, другий вхід якого разом з другим входом другого компаратора підключені до виходу генератора напруги, що змінюється лінійно, перший вхід другого компаратора з'єднаний з виходом другого джерела опорної напруги, а вихід підключений до третього входу першого комутатора, до входу другого світлодіода та до першого входу другого ключа, другий вхід якого з'єднаний з виходом лічильника, перший вхід якого, а також другий вхід першого ключа, вхід буферного регістра, вхід генератора напруги, що змінюється ступінчасто, та перший вхід відеоконтрольного блока підключені до виходу дільника частоти, вхід якого, а також вхід другого комутатора та перший вхід першого аналого-цифрового перетворювача з'єднані з виходом перетворювача напруга-частота, вхід якого підключений до виходу першого комутатора, виходи  $n$  інфрачервоних датчиків з'єднані з вхідною шиною буферного регістра, вихідна шина якого підключена до вхідної шини другого комутатора, вихід якого з'єднаний з другим входом першого аналого-

2

цифрового перетворювача, вихідна шина якого підключена до вхідної шини інтерфейсного блока, вихідна шина якого з'єднана з колами електронної обчислювальної машини, вихід другого комутатора підключений до другого входу відеоконтрольного блока, третій і четвертий входи якого з'єднані відповідно з виходами першого і другого керуючих підсилювачів, перші входи яких підключені до виходу генератора напруги, що змінюється ступінчасто, вихідна шина лічильника з'єднана з першою вхідною шиною постійного запам'ятовуючого блока, перший і другий виходи якого підключені відповідно до других входів першого і другого керуючих підсилювачів, виходи першого та другого світлодіодів з'єднані з загальною шиною, вихід другого ключа підключений до першого входу першого ключа, вал крокового двигуна зв'язаний з діафрагмою, вихід перетворювача частота-напруга підключений до другого входу третього компаратора, перший вхід якого з'єднаний з виходом четвертого джерела опорної напруги, а вихід підключений до першого входу генератора напруги, що змінюється лінійно, другий вхід якого з'єднаний з виходом блока порівняння швидкості, перший вхід якого разом зі входом блока обробки сигналу підключені до виходу перетворювача напруга-частота, вихідна шина буферного регістра з'єднана з вхідною шиною блока обробки сигналу, вихід якого підключений через блок обчислення до входу другого аналого-цифрового перетворювача, вихідна шина якого з'єднана з другою вхідною шиною постійного запам'ятовуючого блока, виходи  $n$  інфрачервоних датчиків підключені до вхідних шин перетворювача частота-напруга та блока порівняння швидкості, який **відрізняється** тим, що в нього введені блок визначення напрямку обертання та третій комутатор, причому виходи  $n$  інфрачервоних датчиків з'єднані зі вхідною шиною блока визначення напрямку обертання, вихід якого підключений до других входів блока порівняння швидкості, лічильника та третього комутатора, вихідна цифрова шина якого з'єднана зі вхідною цифровою шиною крокового двигуна, а перший вхід підключений до виходу першого ключа.

(19) UA (11) 50132 (13) U

Корисна модель відноситься до безконтактної термометрії і може бути використана для вимірювання температури нерухомих об'єктів або об'єктів, що обертаються, зокрема потужних електричних машин.

Відомий пристрій для безконтактного вимірювання температури (А.С. СРСР №1637498, М. кл. G 01 K 13/08, G 01 J 5/28, бюл. №11, 1991), що містить об'єктив, світлоділльник, діафрагму, отвір якої являє собою сектор, доповнений круглим отвором, центр якого співпадає з вершиною сектора та головною оптичною віссю, додаткову нерухому діафрагму, діафрагмуючий отвір якої являє собою прямокутну щілину,  $n$  дзеркал, закріплених на оптичній лінійці таким чином, що їх площини утворюють кут  $45^\circ$  з головною оптичною віссю, діафрагмуючі отвори дзеркал являють собою еліпси, на одній оптичній вісі з якими встановлені  $n$  лінз та лінійка  $n$  інфрачервоних (ІЧ) датчиків, лінзу та ІЧ-датчик, що розташовані на оптичній вісі з додатковою нерухомою діафрагмою та площиною світлорозподілу світлоділльника, вихід першого ІЧ-датчика підключений до входу підсилювача, вихід якого з'єднаний з входом частотоміра і з входом перетворювача частота-напряга, вихід якого підключений до других входів першого комутатора та другого компаратора, перший вхід якого з'єднаний з виходом другого джерела опорної напруги, а вихід підключений до входу другого світлодіода та до першого входу другого ключа, вихід якого з'єднаний з першим входом першого ключа, вихід якого підключений до входу крокового двигуна, вал якого зв'язаний з діафрагмою, вихід  $(n+1)$ -го ІЧ-датчика через конденсатор підключений до другого входу першого компаратора, перший вхід якого з'єднаний з виходом першого джерела опорної напруги, а вихід підключений до входу першого світлодіода, вихід третього джерела опорної напруги з'єднаний з першим входом першого комутатора, третій вхід якого підключений до першого входу другого ключа, другий вхід якого з'єднаний з виходом лічильника, вхід якого, а також другий вхід першого ключа, вхід буферного регістра, вхід генератора напруги, що змінюється ступінчасто, та перший вхід відеоконтрольного блока (ВКБ) підключені до виходу дільника частоти, вхід якого, а також вхід другого комутатора та перший вхід аналого-цифрового перетворювача (АЦП) з'єднані з виходом перетворювача напруга-частота, вхід якого підключений до виходу першого комутатора, виходи з другого по  $(n+1)$ -ий ІЧ-датчиків з'єднані з вхідною шиною буферного регістра, вихідна шина якого підключена до вхідної шини другого комутатора, вихід якого з'єднаний з другим входом першого АЦП, вихідна шина якого підключена до вхідної шини інтерфейсного блока, вихідна шина якого з'єднана з колами ЕОМ, вихід другого комутатора підключений до другого входу ВКБ, третій і четвертий входи якого з'єднані відповідно з виходами першого і другого керуючих підсилювачів, перші входи яких підключені до виходу генератора напруги, що змінюється ступінчасто, вихідна шина лічильника з'єднана з вхідною шиною постійного запам'ятовуючого блока (ПЗБ), перший і другий входи якого підключені відповідно до других вхо-

дів першого і другого керуючих підсилювачів, виходи першого та другого світло діодів з'єднані з загальною шиною.

Головним недоліком даного пристрою є те, що він не дозволяє коректно відображати тепловий портрет об'єкта контролю у випадку, коли змінюється напрям обертання об'єкта контролю, що обмежує функціональні можливості пристрою.

За прототип обрано пристрій для безконтактного вимірювання температури (Патент №19737 (Україна), М. кл. G 01 K 13/00, бюл. №12, 2006), що містить об'єктив, діафрагму, отвір якої являє собою сектор, доповнений круглим отвором, центр якого співпадає з вершиною сектора та головною оптичною віссю,  $n$  дзеркал, закріплених на оптичній лінійці таким чином, що їх площини утворюють кут  $45^\circ$  з головною оптичною віссю, діафрагмуючі отвори дзеркал являють собою еліпси, на одній оптичній вісі з якими встановлені  $n$  лінз та лінійка  $n$  ІЧ-датчиків, вихід  $n$ -го ІЧ-датчика через конденсатор підключений до другого входу першого компаратора, перший вхід якого з'єднаний з виходом першого джерела опорної напруги, а вихід підключений до входу першого світлодіода, вихід третього джерела опорної напруги з'єднаний з першим входом першого комутатора, другий вхід якого разом з другим входом другого компаратора підключені до виходу генератора напруги, що змінюється лінійно, перший вхід другого компаратора з'єднаний з виходом другого джерела опорної напруги, а вихід підключений до третього входу першого комутатора, до входу другого світлодіода та до першого входу другого ключа, другий вхід якого з'єднаний з виходом лічильника, вхід (в подальшому - перший вхід) якого, а також другий вхід першого ключа, вхід буферного регістра, вхід генератора напруги, що змінюється ступінчасто, та перший вхід ВКБ підключені до виходу дільника частоти, вхід якого, а також вхід другого комутатора та перший вхід першого АЦП з'єднані з виходом перетворювача напруга-частота, вхід якого підключений до виходу першого комутатора, виходи  $n$  ІЧ-датчиків з'єднані з вхідною шиною буферного регістра, вихідна шина якого підключена до вхідної шини другого комутатора, вихід якого з'єднаний з другим входом першого АЦП, вихідна шина якого підключена до вхідної шини інтерфейсного блока, вихідна шина якого з'єднана з колами ЕОМ, вихід другого комутатора підключений до другого входу ВКБ, третій і четвертий входи якого з'єднані відповідно з виходами першого і другого керуючих підсилювачів, перші входи яких підключені до виходу генератора напруги, що змінюється ступінчасто, вихідна шина лічильника з'єднана з першою вхідною шиною ПЗБ, перший і другий входи якого підключені відповідно до других входів першого і другого керуючих підсилювачів, виходи першого та другого світлодіодів з'єднані з загальною шиною, вихід другого ключа підключений до першого входу першого ключа, вихід якого з'єднаний зі входом крокового двигуна, вал якого зв'язаний з діафрагмою, вихід перетворювача частота-напряга підключений до другого входу третього компаратора, перший вхід якого з'єднаний з виходом четвертого джерела опорної напруги, а вихід підключений до

першого входу генератора напруги, що змінюється лінійно, другий вхід якого з'єднаний з виходом блока порівняння швидкості, вхід (в подальшому - перший вхід) якого разом зі входом блока обробки сигналу підключені до виходу перетворювача напруга-частота, вихідна шина буферного регістра з'єднана з вхідною шиною блока обробки сигналу, вихід якого підключений через блок обчислення до входу другого АЦП, вихідна шина якого з'єднана з другою вхідною шиною ПЗБ, виходи п ІЧ-датчиків підключені до вхідних шин перетворювача частота-напруга та блока порівняння швидкості.

Головним недоліком даного пристрою є відсутність можливості коректно відобразити тепловий портрет об'єкта контролю при зміні напрямку обертання об'єкта контролю, що обмежує функціональні можливості пристрою.

В основу корисної моделі поставлено задачу створення пристрою для безконтактного вимірювання температури, в якому за рахунок введення нових блоків та зв'язків між ними з'являється можливість коректного відображення теплового портрета об'єкта контролю у випадку зміни напрямку обертання останнього, що дозволяє розширити функціональні можливості пристрою.

Поставлена задача досягається тим, що в пристрій для безконтактного вимірювання температури, що містить об'єкт, діафрагму, отвір якої являє собою сектор, доповнений круглим отвором, центр якого співпадає з вершиною сектора та головною оптичною віссю, п дзеркал, закріплених на оптичній лінійці таким чином, що їх площини утворюють кут 45° з головною оптичною віссю, діафрагмуючі отвори дзеркал являють собою еліпси, на одній оптичній вісі з якими встановлені п лінз та лінійка п ІЧ-датчиків, вихід п-го ІЧ-датчика через конденсатор підключений до другого входу першого компаратора, перший вхід якого з'єднаний з виходом першого джерела опорної напруги, а вихід підключений до входу першого світлодіода, вихід третього джерела опорної напруги з'єднаний з першим входом першого комутатора, другий вхід якого разом з другим входом другого компаратора підключені до виходу генератора напруги, що змінюється лінійно, перший вхід другого компаратора з'єднаний з виходом другого джерела опорної напруги, а вихід підключений до третього входу першого комутатора, до входу другого світлодіода та до першого входу другого ключа, другий вхід якого з'єднаний з виходом лічильника, перший вхід якого, а також другий вхід першого ключа, вхід буферного регістра, вхід генератора напруги, що змінюється ступінчасто, та перший вхід ВКБ підключені до виходу дільника частоти, вхід якого, а також вхід другого комутатора та перший вхід першого АЦП з'єднані з виходом перетворювача напруга-частота, вхід якого підключений до виходу першого комутатора, виходи п ІЧ-датчиків з'єднані з вхідною шиною буферного регістра, вихідна шина якого підключена до вхідної шини другого комутатора, вихід якого з'єднаний з другим входом першого АЦП, вихідна шина якого підключена до вхідної шини інтерфейсного блока, вихідна шина якого з'єднана з колами ЕОМ, вихід другого комутатора підключений до другого входу ВКБ, третій і четве-

ртий входи якого з'єднані відповідно з виходами першого і другого керуючих підсилювачів, перші входи яких підключені до виходу генератора напруги, що змінюється ступінчасто, вихідна шина лічильника з'єднана з першою вхідною шиною ПЗБ, перший і другий входи якого підключені відповідно до других входів першого і другого керуючих підсилювачів, виходи першого та другого світлодіодів з'єднані з загальною шиною, вихід другого ключа підключений до першого входу першого ключа, вал крокового двигуна зв'язаний з діафрагмою, вихід перетворювача частота-напруга підключений до другого входу третього компаратора, перший вхід якого з'єднаний з виходом четвертого джерела опорної напруги, а вихід підключений до першого входу генератора напруги, що змінюється лінійно, другий вхід якого з'єднаний з виходом блока порівняння швидкості, перший вхід якого разом зі входом блока обробки сигналу підключені до виходу перетворювача напруга-частота, вихідна шина буферного регістра з'єднана з вхідною шиною блока обробки сигналу, вихід якого підключений через блок обчислення до входу другого АЦП, вихідна шина якого з'єднана з другою вхідною шиною ПЗБ, виходи п ІЧ-датчиків підключені до вхідних шин перетворювача частота-напруга та блока порівняння швидкості, введено блок визначення напрямку обертання та третій комутатор, причому виходи п ІЧ-датчиків з'єднані зі вхідною шиною блока визначення напрямку обертання, вихід якого підключений до других входів блока порівняння швидкості, лічильника та третього комутатора, вихідна цифрова шина якого з'єднана зі вхідною цифровою шиною крокового двигуна, а перший вхід підключений до виходу першого ключа.

Пристрій для безконтактного вимірювання температури пояснюється кресленням, на якому зображена його структурна схема.

На схемі: 1 - об'єкт контролю; 2 - об'єктів; 3 - діафрагма; 4 - кроковий двигун; 5 - п дзеркал; 6 - п лінз; 7 - оптична лінійка; 8 - п ІЧ-датчиків; 9 - перетворювач частота-напруга; 10 - четверте джерело опорної напруги; 11 - блок визначення напрямку обертання; 12 - третій компаратор; 13 - блок порівняння швидкості; 14 - генератор напруги, що змінюється лінійно; 15 - друге джерело опорної напруги; 16 - конденсатор; 17 - перше джерело опорної напруги; 18, 19 - другий та перший компаратори; 20, 21 - перший та другий світлодіоди; 22 - перший комутатор; 23 - третє джерело опорної напруги; 24 - перетворювач напруга-частота; 25 - блок обробки сигналу; 26 - буферний регістр; 27 - другий комутатор; 28 - дільник частоти; 29, 30 - перший та другий ключі; 31 - лічильник; 32 - другий аналого-цифровий перетворювач (АЦП); 33 - третій комутатор; 34 - блок обчислення; 35 - постійний запам'ятовувачий блок (ПЗБ); 36 - генератор напруги, що змінюється ступінчасто; 37, 38 - перший і другий керуючі підсилювачі; 39 - відеоконтрольний блок (ВКБ); 40 - перший аналого-цифровий перетворювач (АЦП); 41 - інтерфейсний блок, причому об'єктів 2 розташований між об'єктом контролю 1 та діафрагмою 3, отвір якої являє собою сектор, доповнений круглим отвором, центр якого співпа-

дає з вершиною сектора та головною оптичною віссю,  $n$  дзеркал 5, закріплених на оптичній лінійці 7 таким чином, що їх площини утворюють кут  $45^\circ$  з головною оптичною віссю, діафрагмуючі отвори дзеркал 5 являють собою еліпси, на одній оптичній вісі з якими встановлені  $n$  лінз 6 та лінійка  $n$  ІЧ-датчиків 8, вихід  $n$ -го ІЧ-датчика 8 $n$  через конденсатор 16 підключений до другого входу першого компаратора 19, перший вхід якого з'єднаний з виходом першого джерела опорної напруги 17, а вихід підключений до входу першого світлодіода 20, вихід третього джерела опорної напруги 23 з'єднаний з першим входом першого комутатора 22, другий вхід якого разом з другим входом другого компаратора 18 підключені до виходу генератора напруги, що змінюється лінійно, 14, перший вхід другого компаратора 18 з'єднаний з виходом другого джерела опорної напруги 15, а вихід підключений до третього входу першого комутатора 22, до входу другого світлодіода 21 та до першого входу другого ключа 30, другий вхід якого з'єднаний з виходом лічильника 31, перший вхід якого, а також другий вхід першого ключа 29, вхід буферного регістра 26, вхід генератора напруги, що змінюється ступінчасто, 36 та перший вхід ВКБ 39 підключені до виходу дільника частоти 28, вхід якого, а також вхід другого комутатора 27 та перший вхід першого АЦП 40 з'єднані з виходом перетворювача напруга-частота 24, вхід якого підключений до виходу першого комутатора 22, виходи  $n$  ІЧ-датчиків 8.1-8. $n$  з'єднані з вхідною шиною буферного регістра 26, вихідна шина якого підключена до вхідної шини другого комутатора 27, вихід якого з'єднаний з другим входом першого АЦП 40, вихідна шина якого підключена до вхідної шини інтерфейсного блока 41, вихідна шина якого з'єднана з колами ЕОМ, вихід другого комутатора 27 підключений до другого входу ВКБ 39, третій і четвертий входи якого з'єднані відповідно з виходами першого 37 і другого 38 керуючих підсилювачів, перші входи яких підключені до виходу генератора напруги, що змінюється ступінчасто, 36, вихідна шина лічильника з'єднана з першою вхідною шиною ПЗБ 35, перший і другий виходи якого підключені відповідно до других входів першого 37 і другого 38 керуючих підсилювачів, виходи першого 20 та другого 21 світлодіодів з'єднані з загальною шиною, вихід другого ключа 30 підключений до першого входу першого ключа 29, вал крокового двигуна 4 зв'язаний з діафрагмою 3, вихід перетворювача частота-напруга 9 підключений до другого входу третього компаратора 12, перший вхід якого з'єднаний з виходом четвертого джерела опорної напруги 10, а вихід підключений до першого входу генератора напруги, що змінюється лінійно, 14, другий вхід якого з'єднаний з виходом блока порівняння швидкості 13, перший вхід якого разом зі входом блока обробки сигналу 25 підключені до виходу перетворювача напруга-частота 24, вихідна шина буферного регістра 26 з'єднана з вхідною шиною блока обробки сигналу 25, вихід якого підключений через блок обчислення 34 до входу другого АЦП 32, вихідна шина якого з'єднана з другою вхідною шиною ПЗБ 35, виходи  $n$  ІЧ-датчиків 8.1-8. $n$  підключені до вхідних шин перет-

ворювача частота-напруга 9, блока порівняння швидкості 13 та блока визначення напрямку обертання 11, вихід якого з'єднаний з другими входами блока порівняння швидкості 13, лічильника 31 та третього комутатора 33, вихідна цифрова шина якого підключена до вхідної цифрової шини крокового двигуна 4, а перший вхід з'єднаний з виходом першого ключа 29.

Запропонований пристрій працює так. Перед початком роботи оптичну вісь пристрою суміщають з віссю обертання об'єкта контролю. Потік інфрачервоного випромінювання, що створюється поверхнею контрольованого об'єкта 1, який знаходиться на деякій відстані від оптичної системи пристрою, потрапляє на об'єктив 2, який перетворює його у випромінювання з променями, паралельними головній оптичній вісі.

Області, що виділяються на тепловому зображенні контрольованого об'єкта за допомогою  $n$  дзеркал 5, є концентричними сегментами круга. Оскільки ці дзеркала встановлені на оптичній лінійці під кутом  $45^\circ$  до головної оптичної вісі, то отвори в дзеркалах мають еліпсоподібну форму. Враховуючи те, що діафрагмуючі отвори концентричні, то при повному обертанні діафрагми 3 навколо вісі на ІЧ-датчики 8 надходить потік інфрачервоного випромінювання, що відповідає зображенням  $n$  сегментів всього зображення контрольованого об'єкта 1. Фіксує положення діафрагмуючого отвору діафрагми 3 в  $m$  напрямках полярної системи координат і здійснюючи її переривчастий обертальний рух за допомогою крокового двигуна 4, можна отримати інформацію про температуру  $N=m \cdot (n-1)+1$  точок контрольованого об'єкта 1. Це пояснюється тим, що центральна частина діафрагмуючого отвору діафрагми 3 має круглу форму і за відсутності радіального биття потік інфрачервоного випромінювання, що потрапляє на ІЧ-датчик 8. $n$ , є постійним при обертанні діафрагми 3. За наявності радіального биття наведена формула приймає вигляд  $N=m \cdot n$ .

Якщо швидкість обертання об'єкта контролю 1 дорівнює нулю, тобто об'єкт є нерухомим, то на виході перетворювача частота-напруга 9 сигнал дорівнює нулю. При цьому на виході третього компаратора 12 присутній сигнал логічного нуля, оскільки на його вхід подається напруга з четвертого джерела опорної напруги 10. Отже, на виході генератора напруги, що змінюється лінійно, 14 присутній також нульовий сигнал та на виході другого компаратора 18 встановлений сигнал логічного нуля, на вхід якого подається напруга з виходу другого джерела опорної напруги 15. За таких умов в першому комутаторі 22 відкритий канал проходження сигналу з виходу третього джерела опорної напруги 23 на вхід перетворювача напруга-частота 24. При цьому на його виході формується імпульсний електричний сигнал частотою  $f_1 \cdot n$ , який поступає на вхід дільника частоти 28. На виході останнього формується імпульсний сигнал частотою  $f_1$ , що подається на входи лічильника 31, генератора напруги, що змінюється ступінчасто, 36, ВКБ 39 та буферного регістра 26. З такою частотою здійснюється запис інформації в буферний регістр 26, яка надходить з ІЧ-датчиків 8 і яка збе-

рігається в ньому протягом часу  $1/f_1$  за який ця інформація зчитується другим комутатором 27 під дією вихідного імпульсного сигналу перетворювача напруга-частота 24 та перетворюється в послідовний потік. З цією ж частотою інформація подається на другі входи першого АЦП 40 та ВКБ 39. Перший ключ 29 знаходиться у відкритому стані, оскільки на його перший вхід сигнал з виходу закритого другого ключа 30 не надходить. Отже, на кроковий двигун 4 через третій комутатор 33 надходить імпульсний сигнал, який забезпечує обертання вала двигуна та діафрагми 3. За період  $\frac{360^\circ}{\beta} \cdot \frac{1}{f_1}$  сканується все теплове поле нерухомого

об'єкта контролю 1, де  $\beta$  - мінімальний кут повороту, що утворюється при подачі одного керуючого імпульсу на кроковий двигун 4.

Генератор напруги, що змінюється ступінчасто, 36, перший 37 і другий 38 керуючі підсилювачі та ПЗБ 35 призначені для формування сигналів розгортки ВКБ 39. Коли на вхід генератора напруги, що змінюється ступінчасто, 36 надходить імпульсний електричний сигнал з частотою  $f_1$  то на його виході формується електричний сигнал ступінчастої форми з кількістю сходинок за період, рівною  $n$ . Цей сигнал поступає на входи керованих підсилювачів 37 і 38, коефіцієнт підсилення яких задається вихідними сигналами ПЗБ 35. При цьому коефіцієнти підсилення першого 37 та другого 38 керованих підсилювачів задаються так, що на їх виходах формуються сигнали, пропорційні  $R_i \cdot \sin\varphi_j$  та  $R_i \cdot \cos\varphi_j$  відповідно, де  $R_i$  - радіус,

$\varphi_j$  - кут координати елементарного участка поверхні контрольованого об'єкта 1 в полярній системі

координат. При цьому  $i = \overline{0, n}$ ,  $j = \overline{0, m}$ .

На першу вхідну шину ПЗБ 35 сигнали надходять з лічильника 31, коефіцієнт перерахунку якого дорівнює  $m$ . В результаті на екрані ВКБ 39 при наявності одного інформаційного сигналу, двох сигналів розгортки та сигналу з виходу дільника частоти 28 формується зображення, що відповідає тепловому полю контрольованого об'єкта 1.

Якщо швидкість обертання об'єкта контролю 1 більша нуля, тобто він починає обертатись, то на виході перетворювача частота-напруга 9 формується електричний сигнал, амплітуда якого пропорційна частоті обертання об'єкта контролю 1. Цей сигнал надходить на другий вхід третього компаратора 12 і, оскільки сигнал перевищує рівень напруги з виходу четвертого джерела опорної напруги 10, на виході третього компаратора 12 формується сигнал логічної одиниці, який запускає генератор напруги, що змінюється лінійно, 14, на виході якого починає нарощуватись амплітуда сигналу напруги. При перевищенні цим сигналом рівня напруги, що формується на виході другого джерела опорної напруги 15, на виході другого компаратора 18 встановлюється сигнал логічної одиниці, яким перший комутатор 22 перемикається в режим проходження сигналу з виходу генератора напруги, що змінюється лінійно, 14 на вхід перетворювача напруга-частота 24. На виході остан-

нього формується сигнал з частотою чередування імпульсів  $f \cdot n = \frac{\omega}{2\pi} \cdot n \cdot m$ , де  $\omega$  - циклічна частота

обертання об'єкта контролю 1. При цьому на виході дільника частоти 28 формується імпульсний сигнал з частотою  $f$ , з якою здійснюється запис інформації в буферний регістр 26, а потім зчитується з останнього через другий комутатор 27 з частотою, сигнал якої формується на виході перетворювача напруга-частота 24. З цією ж частотою сигнал надходить в перший АЦП 40, з якого через інтерфейсний блок 41 подається в кола ЕОМ, та на другий вхід ВКБ 39, в якому під дією сигналів з виходів блоків 35-38 формується теплове зображення об'єкта контролю 1.

На вхід крокового двигуна 4 через третій комутатор 33 та перший ключ 29 надходить імпульсний сигнал з частотою чередування імпульсів

$$f = \frac{\omega}{2\pi} \cdot m.$$

При цьому діафрагма 3 починає обертатися і за час зростання сигналу на виході генератора напруги, що змінюється лінійно, 14 швидкість обертання діафрагми 3 зрівнюється зі швидкістю обертання контрольованого об'єкта 1. Очевидно, що напруга на виході перетворювача частота-напруга 9 протягом періоду розгону крокового двигуна 4 зменшується і в момент порівняння швидкостей обертання діафрагми 3 та контрольованого об'єкта 1 напруга стає рівною нулю. При цьому на виході третього компаратора 12 з'являється сигнал логічного нуля, яким припиняється процес нарощування напруги на виході генератора напруги, що змінюється лінійно, 14 і період розгону крокового двигуна 4 на цьому завершується.

Зазначимо, що в момент появи сигналу логічної одиниці на виході другого компаратора 18 вмикається другий світлодіод 21, що свідчить про вимірювання теплового поля об'єкта 1 в процесі його обертання.

Одночасно з виходу дільника частоти 28 сигнал надходить на вхід лічильника 31. На виході останнього, де формується сигнал переноса і який з'єднаний з через другий ключ 30 з першим входом першого ключа 29, формуються імпульси з

$$\text{періодом } \frac{1}{m \cdot f} \text{ і тривалістю } \frac{1}{f}, \text{ які поступають на}$$

ключ 29 і закривають його.

При цьому сканування контрольованого об'єкта 1, що обертається, здійснюється спочатку вздовж деякого радіуса  $R_j$ , кут між вибраним нульовим напрямом та  $R_j$  дорівнює  $j \cdot \beta$ . Коли здійснено сканування  $n$  точок, що лежать на радіусі  $R_j$ , по сигналу лічильника 31 другий ключ 30 відкривається і вихідним сигналом закриває перший ключ 29, який припиняє роботу крокового двигуна 4 на період, що відповідає  $\frac{1}{f}$ . При цьому за цей час

об'єкт контролю 1 повертається відносно діафрагми 3 на кут  $\beta$ . Робота крокового двигуна 4 відновлюється і сканування уже здійснюється вздовж радіуса  $R_{j+1}$ , кут між вибраним нульовим напря-

мом та  $R_{j+1}$  стає рівним  $(j+1) \cdot \beta$ . Виведення зображення на ВКБ 39 реалізується аналогічно, як описано вище. Так здійснюється кругова розгортка всього теплового зображення контрольованого об'єкта 1, що обертається.

У випадку, коли немає можливості сумістити оптичну вісь пристрою та геометричну вісь об'єкта контролю, тобто, коли спостереження проводиться під певним кутом до геометричної вісі контрольованого об'єкта, його тепловий портрет спотворюється і на екрані ВКБ 39 замість теплового портрета, що відповідає концентричним колам, буде з'являтися еліпсоподібне зображення. Для компенсації такого спотворення пропонується наступний підхід.

Відомо, що рівняння еліпса у Декартовій системі координат має вигляд

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (1)$$

де  $x$ ,  $y$  - горизонтальна і вертикальна вісі системи координат,  $a$ ,  $b$  - горизонтальна і вертикальна напіввісі еліпса відповідно, причому  $a=R$ , де  $R$  - радіус кола контрольованого об'єкта.

Перейдемо у полярну систему координат, використавши формули

$$\begin{aligned} x &= r \cdot \cos \varphi, \\ y &= r \cdot \sin \varphi, \end{aligned} \quad (2)$$

де  $r$  - "радіус" еліпса,  $\varphi$  - кут повороту радіуса  $r$ .

Підставимо (2) в (1) та отримаємо вираз

$$a = \frac{b \cdot r \cdot |\cos \varphi|}{\sqrt{b^2 - r^2 \cdot \sin^2 \varphi}}. \quad (3)$$

Отже, тепер, маючи в будь-який момент часу параметри кута повороту  $\varphi$  діафрагми, меншу напіввісь еліпса  $b$  та відстань від центра еліпса до його краю ("радіус" еліпса), можна відновити реальний радіус спотвореного кола.

Це реалізовано в блоці обробки сигналу 25, який фіксує кут  $\varphi$ , параметри  $b$  і  $r$  та передає їх в блок обчислення 34, в якому за формулою (3) визначається дійсний радіус спотвореного кола.

Вихідний сигнал блока обчислення 34 за допомогою другого АЦП 32 перетворюється в цифровий код і поступає на другу вхідну шину ПЗБ 35,

формуючи при цьому скориговані коефіцієнти підсилення першого 37 і другого 38 керованих підсилювачів, які відновлюють розмір зображення при його виведенні на ВКБ 39.

Якщо швидкість обертання контрольованого об'єкта 1 зменшилась, то код з вихідної шини ІЧ-датчика 8 поступає на вхідну шину блока порівняння швидкості 13, на його виході формується сигнал логічної одиниці, який подається на вхід генератора напруги, що змінюється лінійно, 14. У випадку зменшення швидкості обертання контрольованого об'єкта 1 на виході перетворювача частота-напруга 9 з'являється сигнал, яким забезпечується зменшення напруги на виході генератора напруги, що змінюється лінійно, 14, внаслідок чого швидкість обертання крокового двигуна 4 також зменшується і швидкості обертання діафрагми 3 та контрольованого об'єкта 1 зрівнюються.

В разі зміни напрямку обертання контрольованого об'єкта 1 на виході блока визначення напрямку обертання 11 з'являється сигнал логічної одиниці, яким змінюється алгоритм роботи третього комутатора 33, блока порівняння швидкості 13 та лічильника 31. При появі на другому вході третього комутатора 33 сигналу логічної одиниці кроковий двигун 4 обертає діафрагму 3 в протилежному напрямку. Формування розгортки зображення на екрані ВКБ 39 також здійснюється в протилежному напрямку, оскільки на другий вхід лічильника 31 подається сигнал логічної одиниці. Блок порівняння швидкості 13 при появі на його другому вході сигналу логічної одиниці коректно відпрацьовує задачу порівняння швидкості при зміні напрямку обертання об'єкта дослідження. Робота інших блоків пристрою залишається без змін.

Якщо об'єкт контролю 1 має радіальне биття, що виявляється в процесі його обертання, то вихідний сигнал з 14-датчика 8.n надходить через конденсатор 16 на вхід першого компаратора 19. В моменти перевищення цим сигналом напруги, яка подається з виходу першого джерела опорної напруги 17, на виході першого компаратора 19 з'являється сигнал логічної одиниці, який викликає ввімкнення першого світлодіода 20, що свідчить про наявність радіального биття об'єкта контролю 1.

