

Винахід відноситься до техніки дослідження динамічних характеристик елементів випробуваних конструкцій при проведенні вібровипробувань і може бути використаний при визначенні швидкості зміни частоти збуджувальної вібростенди дії.

Відомий пристрій для випробування виробів на віброміцність, що містить послідовно сполучені блок керування розгорткою частоти, задавальний генератор, регулятор амплітуди, підсилювач потужності, вібростенд, призначений для установки випробуваного об'єкту, два віброперетворювача, перший з яких установлений на рухомій частині вібростенду, а другий - на випробуваному об'єкті, два узгоджувальних підсилювача, входи яких сполучені з виходами відповідних віброперетворювачів, фазовий детектор, входи якого сполучені з виходами узгоджувальних підсилювачів, блок зворотного зв'язку, вхід якого сполучений з виходом першого узгоджувального підсилювача, а вихід - з керувальним входом регулятора амплітуди, послідовно сполучені нуль-орган, вхід якого з'єднаний з виходом фазового детектора, а також комутатор, дешифратор, входи якого сполучені з відповідними керувальними входами блока керування розгорткою частоти і комутатора, два тригери, прямі входи яких сполучені з відповідними входами дешифратора, ключ» два елемента затримки, перший з яких з'єднує перший вихід комутатора з S-входом другого тригера, а другий елемент затримки з'єднує об'єднані R - входи першого і другого тригерів з другим виходом комутатора, S - вхід першого тригера сполучений з входом «Пуск», суматор, піковий детектор, другий суматор, послідовно з'єднані блок ділення, перетворювач добувача кореня і блок множення, лічильник імпульсів, регістр задавання коду, другий дешифратор, елемент «НІ», при цьому інформаційний вхід пікового детектора з'єднаний з виходом другого підсилювача, а керувальний вхід через ключ - з виходом нуль- органа, вихід пікового детектора сполучений з віднімальним входом першого суматора, підсумувальний вхід якого об'єднаний з підсумувальним входом другого суматора, сполучений з виходом джерела задавання максимально допустимого рівня сигналу, що відтворюється вібростендом, віднімальний вхід другого суматора під'єднаний до виходу джерела задавання програмного рівня сигналу, що відтворюється вібростендом, входи першого і другого суматорів під'єднані до входів «Ділене» і «Подільник» відповідно блока поділення, вихід якого через послідовно з'єднані перетворювач добувача кореня і блок множення, до другого входу якого під'єднаний вхід  $V_{max}$ , сполучений з керувальним входом блока керування розгорткою частоти, вхід «Скид» якого підключений до виходу другого дешифратора, інформаційні входи якого з'єднані з прямими виходами розрядів лічильника імпульсів, розрядні входи якого з'єднані з прямими виходами розрядів регістра задавання коду, вхід «Прийом» лічильника імпульсів об'єднаний з S- входом першого тригера і з'єднаний з зовнішнім входом «Пуск», S-вхід першого тригера об'єднаний з лічильним входом лічильника імпульсів і сполучений з виходом нуль-органа, керувальний вхід ключа через елемент «НІ» сполучений з інверсним виходом другого тригера, вхід «Скид» блока керування розгорткою частоти сполучений також з зовнішнім входом «Скид». (Див. деклараційний патент України на винахід № 37880 А, М. кл. G01M7/00, 2001)

Відомий пристрій дозволяє реалізувати технічний алгоритм роботи, який забезпечує можливість визначення швидкості зміни (сканування) частоти сигналу збудження вібростенда разом з випробуванням об'єктом при урахуванні максимально допустимого по технічним характеристикам рівня віброприскорення для конкретного типу вібростенда, що застосовується, максимально можливий швидкості зміни частоти сигналу збудження і заданого по програмі рівня віброприскорення сигналу збуджувальної дії.

Але відомий пристрій при визначенні швидкості зміни частоти сигналу збудження не забезпечує урахування верхньої частоти діапазону частот, що відтворюється вібростендом.

Таким чином, цей пристрій не дозволить ефективно застосовувати технологічні можливості вібростенда при проведенні вібровипробувань об'єктів

Відомий також пристрій для випробування виробів на віброміцність, що містить послідовно сполучені блок керування розгорткою частоти, задавальний генератор, регулятор амплітуди, підсилювач потужності, вібростенд, призначений для установки випробуваного об'єкту, два віброперетворювача, перший із яких установлений на рухомій частині вібростенду, а другий - на випробуваному об'єкті, два узгоджувальних підсилювача, входи яких сполучені з виходами відповідних віброперетворювачів, фазовий детектор, входи якого сполучені з виходами узгоджувальних підсилювачів, блок зворотного зв'язку, вхід якого сполучений з виходом першого узгоджувального підсилювача, а вихід - з керувальним входом регулятора амплітуди, послідовно сполучені нуль-орган, вхід якого з'єднаний з виходом фазового детектора, і комутатор, а також дешифратор, входи якого сполучені з віднімальними керувальними входами блока керування розгорткою частоти і комутатора, два тригери, прямі входи яких сполучені з відповідними входами дешифратора, перший ключ, два елемента затримки, перший із яких з'єднує перший вихід комутатора з S-входом другого тригера, а другий елемент затримки з'єднує об'єднані R-входами першого і другого тригерів з другим виходом комутатора, S-вхід першого тригера сполучений з входом «Пуск», перший і другий суматори, піковий детектор, послідовно з'єднані перший блок ділення, перетворювач добувача кореня і перший блок множення, а також лічильник імпульсів, регістр задавання коду, другий дешифратор, перший елемент «Ш», при цьому інформаційний вхід пікового детектора з'єднаний з виходом другого узгоджувального підсилювача, а керувальний вхід через перший ключ - з виходом нуль-органа, вихід пікового детектора сполучений з віднімальним входом першого суматора, підсумувальний вхід якого, об'єднаний з підсумувальним входом другого суматора, сполучений з виходом джерела задавання максимально допустимого граничного рівня сигналу, що відтворюється вібростендом, віднімальний вхід другого суматора під'єднаний до виходу джерела задавання програмного рівня сигналу, що відтворюється вібростендом, входи другого і першого суматорів під'єднані до входів «Ділене» і «Подільник» відповідно першого блоку ділення, вихід якого через блок добувача кореня сполучений з першим входом першого блока множення, другий вхід якого сполучений з входом  $V_{max}$ , вхід «Скид» блока керування розгорткою частоти сполучений з виходом другого дешифратора, інформаційні входи якого сполучені з прямими виходами розрядів лічильника імпульсів, розрядні входи якого з'єднані з прямими виходами розрядів регістра задавання коду, вхід «Прийом» лічильника імпульсів об'єднаний з S - входом першого тригера і з'єднаний з зовнішнім входом «Пуск», S-вхід першого тригера об'єднаний з лічильним входом лічильника імпульсів і сполучений з виходом нуль-органа, керувальний вхід

першого ключа через перший елемент «НІ» сполучений з інверсним виходом другого тригера, вхід «Скид» блока керування розгорткою частоти, об'єднаний з R - входами першого і другого тригерів і сполучений з зовнішнім входом «Скид», перетворювач «частота-напруга», перший і другий блоки пам'яті, другий, третій - четвертий, п'ятий, шостий і сьомий ключі, третій, четвертий, п'ятий, шостий, сьомий і восьмий суматори, другий блок множення, другий блок ділення, перший і другий знакочутливі елементи, другий, третій і четвертий елементи «НІ», елемент «АБО», третій елемент затримки, при цьому інформаційний вхід першого блоку пам'яті через перетворювач «частота-напруга» з'єднаний з виходом другого узгоджувального

підсилювача, а інформаційний вхід другого блоку пам'яті з'єднаний з входом  $\omega_{\text{вм}}$ , що відповідає граничному значенню частоти частотного діапазону, що відтворюється вібростендом, входи «Запис» першого і другого блоків пам'яті об'єднані і з'єднані через другий ключ з виходом першого ключа, входи «Читання» першого і другого блоків пам'яті об'єднані і з'єднані через третій елемент затримки з виходом другого ключа, входи першого і другого блоків пам'яті з'єднані з віднімальним і підсумовувальним входами третього суматора відповідно, вихід якого через перший знакочутливий елемент з'єднаний з виходом першого блока пам'яті, а вихід - з другим підсумовувальним входом четвертого суматора, перший підсумовувальний вхід якого через третій ключ з'єднаний з виходом другого блока пам'яті, керувальний вхід третього ключа з'єднаний через другий елемент «НІ» з виходом першого знакочутливого елемента, вихід четвертого суматора з'єднаний з підсумовувальним входом восьмого суматора, віднімальний вхід якого, об'єднаний з віднімальним входом

сьомого суматора, з'єднаний з зовнішнім входом  $\omega_{\text{пр}}$ , підсумовувальний вхід сьомого суматора з'єднаний з

зовнішнім входом  $\omega_{\text{зад}}$ , входи сьомого і восьмого суматорів з'єднані з входами «Ділене» і «Подільник» другого блока ділення відповідно, вихід другого блока ділення через сьомий ключ з'єднаний з другим входом другого блока множення, перший вхід якого з'єднаний з зовнішнім входом  $V_{\text{мах}}$ , а вихід - з об'єднаними інформаційним входом шостого ключа, підсумовувальним входом шостого суматора і входом четвертого елемента «НІ», віднімальний вхід шостого суматора об'єднаний з інформаційним входом п'ятого ключа і з'єднаний з виходом першого блока множення, входи п'ятого і шостого ключів з'єднані з підсумовувальними першим і другим входами п'ятого суматора, вихід якого з'єднаний з третім керувальним входом блока керування розгорткою частоти;» вихід шостого суматора через другий знакочутливий елемент з'єднаний з об'єднаними входом третього елемента «НІ», вихід якого з'єднаний з керувальним входом шостого ключа, і першим входом елемента «АБО», другий вхід якого з'єднаний з виходом четвертого елемента «НІ», вихід елемента «АБО» з'єднаний з керувальним входом п'ятого ключа. (Див. деклараційний патент України №52178А, М. кл. G01M7/00, 2002)

Недоліком відомого пристрою є обмежена область використання, яка обумовлена неврахуванням при реалізації алгоритму для формування його структурної схеми нелінійної залежності величини зміщення максимумів обвідних напіврозмахів коливань динамічних резонансних піків від відповідних швидкостей розгортки частоти сигналу задавального генератора для формування збуджувальної вібростенд дії, що призводить до обмеження його технологічних можливостей.

В основу запропонованого винаходу поставлене завдання удосконалення пристрою за рахунок введення до його складу додаткового блоку, включення якого призводить до врахування нелінійності величини зміщення максимумів обвідних напіврозмахів коливань динамічних резонансних піків при незначних коефіцієнтах демпфування від відповідних швидкостей розгортки частоти сигналу задавального генератора для формування збуджувальної вібростенд дії, що призводить до розширення технологічних можливостей пристрою і галузі його використання.

Поставлене завдання вирішується тим, що у відомий пристрій для випробування виробів на віброміцність, що містить послідовно сполучені блок керування розгорткою частоти, задавальний генератор, регулятор амплітуди, підсилювач потужності, вібростенд, призначений для установки випробуваного об'єкту, два віброперетворювача, перший з яких установлений на рухомій частині вібростенда, а другий - на випробуваному об'єкті, два узгоджувальних підсилювача, входи яких сполучені з виходами відповідних віброперетворювачів, фазовий детектор, входи якого сполучені з виходами узгоджувальних підсилювачів, блок зворотного зв'язку, вхід якого сполучений з виходом першого узгоджувального підсилювача, а вихід - з керувальним входом регулятора амплітуди, послідовно сполучені нуль-орган, вхід якого з'єднаний з виходом фазового детектора, і комутатора, а також дешифратор, входи якого сполучені з відповідними керувальними входами блока керування розгорткою частоти і комутатора, два тригери, прямі входи яких сполучені з відповідними входами дешифратора, перший ключ, два елемента затримки, перший з яких з'єднує перший вихід комутатора з S - входом другого тригера, а другий елемент затримки з'єднує об'єднані R-входи першого і другого тригерів з другим входом комутатора, S - вхід першого тригера сполучений з входом «Пуск», перший і другий суматори, піковий детектор, послідовно з'єднаний перший блок ділення, перетворювач добувача кореня і перший блок множення, а також лічильник імпульсів, регістр задавання коду, другий дешифратор, перший елемент «НІ», при цьому інформаційний вхід пікового детектора з'єднаний з виходом другого узгоджувального підсилювача, а керувальний вхід через перший ключ - з виходом нуль-органа, вихід пікового детектора сполучений з віднімальним входом першого суматора, підсумовувальний вхід якого, об'єднаний з підсумовувальним входом другого суматора, сполучений з виходом джерела задавання максимально допустимого граничного рівня сигналу, що відтворюється вібростендом, віднімальний вхід другого суматора під'єднаний до виходу джерела задавання програмного рівня сигналу, що відтворюється вібростендом, входи другого і першого суматорів під'єднані до входів «Ділене» і «Подільник» відповідно першого блока ділення, вихід якого через блок добувача кореня сполучений з першим входом першого блока множення, другий вхід якого сполучений з входом  $V_{\text{мах}}$ , вхід «Скид» блока керування розгорткою частоти сполучений з виходом другого дешифратора, інформаційні входи якого сполучені з прямими виходами розрядів лічильника імпульсів, розрядні входи якого з'єднані з прямими виходами розрядів регістра задавання коду, вхід «Прийом» лічильника імпульсів об'єднаний з S - входом першого тригера і з'єднаний з зовнішнім входом «Пуск», S - вхід

першого тригера об'єднаний з лічильним входом лічильника імпульсів і сполучений з виходом нуль-органа, керувальний вхід першого ключа через перший елемент «НІ» сполучений з інверсним виходом другого тригера, вхід «Скид» блока керування розгорткою частоти, об'єднаний з R-входами першого і другого тригерів і сполучений з зовнішнім входом «Скид», відповідно винаходу, пристрій додатково містить перетворювач «частота - напруга», перший і другий блоки пам'яті, другий, третій, четвертий, п'ятий, шостий і сьомий ключі, третій, четвертий, п'ятий, шостий, сьомий і восьмий суматори, другий блок множення, другий блок ділення, перший і другий знакочутливі елементи, другий, третій і четвертий елементи «НІ», елемент «АБО», третій елемент затримки, при цьому інформаційний вхід першого блока пам'яті через перетворювач «частота напруга» з'єднаний з виходом другого узгоджувального підсилювача, а інформаційний вхід другого блока

пам'яті з'єднаний з входом  $\omega_{\text{вм}}$ , що відповідає граничному значенню частоти частотного діапазону, що відтворюється вібростендом, входи «Запис» першого і другого блоків пам'яті об'єднані і з'єднані через другий ключ з виходом першого ключа, входи «Читання» першого і другого блоків пам'яті об'єднані і з'єднані через третій елемент затримки з виходом другого ключа, виходи першого і другого блоків пам'яті з'єднані з віднімальним і підсумовувальним входами третього суматора відповідно, вихід якого через перший знакочутливий елемент з'єднаний з керувальним входом четвертого ключа, інформаційний вхід якого з'єднаний з виходом першого блока пам'яті, а вихід - з другим підсумовувальним входом четвертого суматора, перший підсумовувальний вхід якого через третій ключ з'єднаний з виходом другого блока пам'яті, керувальний вхід третього ключа з'єднаний через другий елемент «НІ» з виходом першого знакочутливого елемента, вихід четвертого суматора з'єднаний з підсумовувальним входом восьмого суматора, віднімальний вхід якого, об'єднаний з віднімальним входом сьомого суматора, з'єднаний з зовнішнім входом  $\omega_{\text{гр.}}$ , підсумовувальний вхід сьомого сума гора з'єднаний з зовнішнім входом  $\omega_{\text{зад.}}$ , виходи сьомого і восьмого суматорів з'єднані з входами «Ділене» і «Подільник» другого блока ділення відповідно, вихід другого блока ділення через сьомий ключ з'єднаний з другим входом другого блока множення, вихід другого блоку ділення сполучений з входом сьомого ключа, перший вхід другого блоку множення з'єднаний з зовнішнім входом  $U_{\text{мах}}$ , а вихід - з об'єднаними інформаційним входом шостого ключа, підсумовувальним входом шостого суматора і входом четвертого елемента «НІ», віднімальний вхід шостого суматора об'єднаний з інформаційним входом п'ятого ключа і з'єднаний з виходом першого блока множення, виходи п'ятого і шостого ключів з'єднані з підсумовувальними першим і другим входами п'ятого суматора, вихід якого з'єднаний з третім керувальним входом блока керування розгорткою частота, вихід шостого суматора через другий знакочутливий елемент з'єднаний з об'єднаними входом третього елемента «НІ», вихід якого з'єднаний з керувальним входом шостого ключа, і першим входом елемента «АБО», другий вхід якого з'єднаний з виходом четвертого елемента «НІ», вихід елемента «АБО», з'єднаний з керувальним входом п'ятого ключа, згідно з винаходом, додатково вводять третій блок множення, входи якого об'єднані і сполучені з виходом сьомого ключа, а вихід третього блоку множення сполучений з другим входом другого блоку множення.

Застосування запропонованого пристрою разом з усіма суттєвими ознаками, включаючи відмінні, забезпечує визначення не тільки швидкості розгортки частоти збуджувальної вібростенд з випробуванням об'єктом дії при заданні максимально допустимого по технічним характеристикам для конкретного типу вібростенда рівня віброприскорення, рівня віброприскорення заданого по програмі вібровипробувань, фіксації і реєстрації рівня віброприскорення, що відповідає максимуму обвідної напіврозмахів коливань динамічного резонансного піка при швидкості розгортки частоти, яка відповідає як максимально допустимій по технічним характеристикам для конкретного типу вібростенда, так і при заданні і урахуванні верхньої частоти діапазону частот, що відтворюється вібростендом.

Окрім цього забезпечується врахування нелінійності величини зміщення максимумів обвідних напіврозмахів коливань динамічних резонансних піків при невеликих коефіцієнтах демпфування при скануванні частоти задавального генератора для формування збуджувальної вібростенд дії, що призводить до підвищення точності і розширення технологічних можливостей пристрою і галузі його використання.

Пояснюється це наступним. Розглянемо приклади використання запропонованого пристрою.

Так, у першому випадку, коли відома величина резонансної частоти  $G_{\text{р}}$  випробуваного виробу. При урахуванні технічних характеристик використаного типу вібростенду задають рівень сигналу збуджувальної вібростенд дії таким чином, щоб мати максимально можливий рівень  $Y_{\text{р}}$  вібропереміщення (віброприскорення)

Приймають також максимально допустиму по технічним характеристикам вібростенда величину швидкості  $U_{\text{мах}}$ , розгортай частоти сигналу збуджувальної вібростенд дії.

Фіксують величину частоти  $\omega_{\text{мах}}$  і величину вібропереміщення (віброприскорення)  $U_{\text{мах}}$  максимуму обвідної напіврозмахів коливань динамічного резонансного піку, що відповідає швидкості  $U_{\text{мах}}$  розгортки частоти.

Приймають заданій величину вібропереміщення (віброприскорення)  $U_{\text{зад.}}$ , що відповідає програмі вібровипробувань.

Відоме співвідношення:

$$Y_0 = (Y_1 V_{22} - Y_2 V_{21}) / (V_{22} - V_{21}) \quad (1)$$

де  $V_1, V_2 (V_2 > V_1)$  - значення швидкостей розгортки частоти сигналу збуджувальної вібростенд дії

$Y_1, Y_2$  - максимуми обвідних напіврозмахів коливань динамічних резонансних піків, що відповідають швидкостям  $V_1$  і  $V_2$  розгортки частоти відповідно сигналу збуджувальної вібростенд дії, в прийнятих нами позначеннях має такий вигляд:

$$Y_{\text{р}} = (Y_{\text{зад.}} V_{2\text{мах}} -$$

$$U_{\text{мах}} V_{2\text{зад.}}) / (V_{2\text{мах}} - V_{2\text{зад.}}) \quad (2)$$

Із (2) оірмаємо співвідношення для визначення швидкості  $V(Y_{\text{зад.}})$  скапування частоти сигналу збуджувальної вібростенд дії при заданих величинах  $U_{\text{зад.}}$ ,  $Y_{\text{р.}}$ ,  $U_{\text{мах}}$ ,  $V_{\text{мах}}$ , а саме:

$$V^{(Y)}_{\text{зад.}} = V_{\text{max}} \sqrt{\frac{Y_{\text{гр}} - Y_{\text{зад}}}{Y_{\text{гр}} - Y_{\text{зад}}}} \quad (3)$$

На підставі фізичної реалізованості із (3) маємо нерівності

$$\begin{aligned} Y_{\text{гр.}} > Y_{\text{зад.}}, \quad Y_{\text{гр.}} > Y_{\text{max}}, \\ (Y_{\text{гр.}} - Y_{\text{зад.}}) < (Y_{\text{гр.}} - Y_{\text{max}}), \\ \text{а тому маємо нерівність} \\ V(Y)_{\text{зад.}} < V_{\text{max}} \end{aligned} \quad (4)$$

У другому випадку, коли величина резонансної частоти  $\omega_0$  невідома проводять вібровипробування еталонного виробу в режимі сканування частоти з двома постійними і різними швидкостями  $V_1, V_2$  ( $V_2 > V_1$ ).

Максимум амплітуди коливань динамічного резонансного піку відповідає частоті  $\omega$  сигналу збудження, яка визначається співвідношенням (див. Ильинский В.С. Защита РЭА и прецизионного оборудования от динамических воздействий М.: Радио и связь, 1982—с. 116)

$$\omega = \left( \sqrt{\omega_0^2 - 2\delta^2} \pm \sqrt{3\pi V} \right) / \left( 1 + 0,28\delta / \sqrt{2V} \right)^2 \quad (5)$$

де  $\omega_0$  - резонансна частота статичного резонансного піку;

$\delta = b / 2m$  - коефіцієнт демпфування ;

$b$  - коефіцієнт опору;

$m$  - маса рухомої системи вібростенду разом з випробуваним об'єктом;

$V$  - швидкість сканування частоти сигналу збудження.

При виконанні умов  $\omega_0 \gg \sqrt{2\delta}, 0,28\delta / \sqrt{2V} \ll 1$ , що має місце для коливальних систем з високою добротністю (невеликий коефіцієнт демпфування), наприклад, при  $\delta = 5\text{с}^{-1}, \omega_0 = 100\text{с}^{-1}, V = 100\text{с}^{-1}$  маємо такі оцінки

$$\omega_1 = \sqrt{\omega_0^2 - 2\delta^2} = \sqrt{10^{-4} - 2 \cdot 25} = \sqrt{9950} \approx 99,75\text{с}^{-1},$$

$$\omega_0 = 100 \approx \omega_1 = 99,75\text{с}^{-1}$$

Таким чином, із (5) маємо наближене співвідношення

$$\omega \approx \omega_0 \pm \sqrt{3\pi} \cdot \sqrt{V}, \quad (6)$$

де знак «-» має місце при зменшенні частоти сигналу збуджувальної дії, а знак «+» має місце при збільшенні частоти сигналу збуджувальної дії,

Для двох значень швидкості  $V_1, V_2$  ( $V_2 > V_1$  і  $\text{sign } V_1 = \text{sign } V_2 = 1$ ) розгортки частоти сигналу збуджувальної дії на підставі (6) отримаємо систему рівень:

$$\begin{aligned} \omega_1 - \omega_0 &= +\sqrt{3\pi} \cdot \sqrt{V_1}, \\ \omega_2 - \omega_0 &= +\sqrt{3\pi} \cdot \sqrt{V_2} \end{aligned} \quad (7)$$

де  $\omega_1, \omega_2$  - частоти максимумів обвідних напіврозмахів коливань динамічних резонансних піків, що відповідають швидкостям  $V_1, V_2$  розгортки частоти відповідно.

Із системи рівень (7) отримаємо співвідношення для визначенні  $V_1$

$$V_1 = V_2 \frac{(\omega_1 - \omega_0)^2}{(\omega_2 - \omega_0)^2} \quad (8)$$

В інших позначеннях співвідношення (8) приймає вигляд:

$$V_{\text{зад}}^{(\omega)} = V_{\text{max}} \left( \frac{\omega_{\text{зад}} - \omega_0}{\omega_{\text{max}} - \omega_0} \right)^2, \quad (9)$$

де  $\omega_{\text{зад}}$  - частота максимуму обвідної напіврозмахів коливань динамічного резонансного піку, що відповідає швидкості  $V_{\text{зад}}^{(\omega)}$  розгортки частоти;

$\omega_{\text{max}}$  - частота максимуму обвідної напіврозмахів коливань динамічного резонансного піку, що відповідає швидкості  $V_{\text{max}}$  розгортки частоти.

Порівнюючи співвідношення (3) і (9) отримаємо співвідношення:

$$\sqrt{\frac{Y_{\text{гр}} - Y_{\text{зад}}}{Y_{\text{гр}} - Y_{\text{max}}}} = \frac{(\omega_{\text{зад}} - \omega_0)^2}{(\omega_{\text{max}} - \omega_0)^2} \quad (10)$$

Із (10) отримаємо співвідношення для визначення  $\omega_{\text{max}}$ , а саме:

$$\omega_{\text{max}} = \omega_{\text{зад}} \sqrt{\frac{Y_{\text{гр}} - Y}{Y_{\text{гр}} - Y_{\text{зад}}}} + \omega_0 \left( 1 - 4 \sqrt{\frac{Y_{\text{гр}} - Y}{Y_{\text{гр}} - Y_{\text{зад}}}} \right) \quad (11)$$

Приймаючи до уваги полосу частот, що відповідає технічним характеристикам використаного типу вібростенду, зокрема верхню частоту  $\omega_{\text{вм}}$  частотного діапазону, маємо таку нерівність:

$$\omega_{\max} < \omega_{\text{вм}} \quad (12)$$

що обмежує  $\omega_{\max}$  значенням  $\omega_{\text{вм}}$ .

При урахуванні (9) і (12) отримаємо співвідношення для визначення  $V^{(\omega)}_{\text{зад}}$

$$V_{\text{зад}}^{(\omega)*} = V_{\max} \cdot \frac{(\omega_{\text{зад}} - \omega_0)^2}{(\omega_{\text{вм}} - \omega_0)^2}, \quad (13)$$

$$\text{де } V^{(\omega)*}_{\text{зад}} < V_{\text{зад}}^{(\omega)}.$$

Співвідношення (11) представимо у вигляді:

$$\omega_{\max} = (\omega_{\text{зад}} - \omega_0) \sqrt[4]{\frac{Y_{\text{гр}} - Y}{Y_{\text{гр}} - Y_{\text{зад}}}} + \omega_0. \quad (14)$$

Із співвідношення (14) отримаємо нерівність

$$Y_{\max} > Y_{\text{гр}} - (Y_{\text{гр}} - Y_{\text{зад}}) \frac{(\omega_{\text{вм}} - \omega_0)^4}{(\omega_{\text{зад}} - \omega_0)^4}. \quad (15)$$

Таким чином, співвідношення (3) для визначення швидкості  $V_{\text{зад}}(Y)$  сканування частоти сигналу збуджувальної дії додатково пояснюються співвідношеннями (13) і (15), які визначають вимоги для підбору

$V_{\max}$  і  $Y_{\max}$  при заданих значеннях  $\omega_0$ ,  $\omega_{\text{вм}}$ ,  $\omega_{\text{зад}}$ ,  $Y_{\text{гр}}$ ,  $Y_{\text{зад}}$ .

При формуванні алгоритму апаратної реалізації вибір швидкості  $V_{\text{зад}}$  сканування частоти сигналу збуджувальної дії має одночасно відповідати співвідношенням (3) і (13), причому по співвідношенню (3) формують алгоритм для визначення швидкості  $V_{\text{зад}}(Y)$  сканування частоти збуджувальної вібростенд дії на підставі урахування максимальних значень технічних характеристик вібростенда по вібропереміщенню (віброприскоренню), а співвідношення (13) визначає оцінку величини швидкості сканування частоти сигналу збуджувальної дії при умові урахування верхньої частоти  $\omega_{\text{вм}}$  діапазону частот, що відповідають нормальному функціонуванню вібростенда. Після визначення  $V_{\text{зад}}(Y)$  по співвідношенню (3) виникає необхідність перевірки (13).

У третьому випадку величина резонансної частоти  $\omega_0$  невідома, невідоме також значення  $Y_0$  максимуму обвідної напіврозмахів коливань статичного резонансного піку.

В цьому випадку проводять вібровипробування еталонного виробу в режимі сканування частоти сигналу збуджувальної дії з двома постійними і різними швидкостями, зокрема,  $V_1$ ,  $V_2$  ( $V_2 > V_1$ ), фіксуючи і залам ятовуючи

значення максимумів  $Y_1$ ,  $Y_2$ , обвідних напіврозмахів коливань динамічних резонансних піків і відповідні цим максимумам частоти  $\omega_1$ ,  $\omega_2$ .

Значення  $Y_0$ ,  $\omega_0$  визначають по співвідношенням (1) і (8).

Після визначення  $Y_0$ ,  $\omega_0$  маємо ситуацію, що відповідає другому випадку.

Із співвідношень (3), (9), (13) формується алгоритм для визначення швидкості  $V_{\text{зад}}$  сканування частот сигналу збуджувальної дії при відтворенні заданого по програмі рівня  $Y_{\text{зад}}$  при урахуванні максимально допустимого рівня віброзміщення (віброприскорення)  $Y_{\text{гр}}$  максимально можливої по технічним характеристикам швидкості  $V_{\max}$  зміни частоти сигналу збуджувальної дії і верхній межі частоти  $\omega_{\text{вм}}$  частотного діапазону, що відтворюється вібростендом, а саме:

1) для використаного типу вібростенда відоме значення  $Y_{\text{гр}}$ , що визначається конструктивними особливостями; відомі також заданий по програмі рівень  $Y_{\text{зад}}$  і резонансна частота  $\omega_0$  випробуваного виробу;

2) приймають максимально допустиму по технічним характеристикам швидкість  $V_{\max}$  розгортки частот сигналу збуджувальної дії, фіксують максимум  $Y_{\max}$  обвідної напіврозмахів коливань динамічного резонансного піку при  $V_{\max}$  і частоту  $\omega_{\max}$  що відповідає  $Y_{\max}$ ,

3) формують сигнали, що дорівнюють різницям  $Y_{\text{гр}}$ , і  $Y_{\text{зад}}$ ,  $Y_{\text{гр}}$  і  $Y_{\max}$ , а саме:  $Z_1 = Y_{\text{гр}} - Y_{\text{зад}}$ ,  $Z_2 = Y_{\text{гр}} - Y_{\max}$  і формують сигнал, що дорівнює  $Z_3 = Z_1/Z_2$ , фіксуючи  $Z_3$ ;

4) формують сигнал величини  $Z_4$ , що дорівнює кореню квадратному із величини  $Z_3$ ;  $Z_4 = \sqrt{Z_3} = \sqrt{Z_1/Z_2}$ , фіксуючи  $Z_4$ ;

5) формують сигнал величині  $V_{\text{зад}}(Y)$ , що дорівнює значенню

$$V^{(Y)}_{\text{зад}} = V_{\max} Z_4 = V_{\max} \sqrt{Z_1/Z_2} = V_{\max} \sqrt{(Y_{\text{гр}} - Y_{\text{зад}})/(Y_{\text{гр}} - Y_{\max})}$$

фіксуючи  $V^{(Y)}_{\text{зад}}$ ;

6) формують сигнали величин  $Z_5$ ,  $Z_6$ , що дорівнюють різницям величин  $\omega_{\text{зад}}$   $\omega_0$ ,  $\omega_{\max}$  і  $\omega_0$ ;  $Z_5 = \omega_{\text{зад}} - \omega_0$ ,

$Z_6 = \omega_{\max} - \omega_0$ , де  $\omega_0 < \omega_{\text{зад}} < \omega_{\max} < \omega_{\text{вм}}$ .

7) формують сигнал величини  $Z_7$ , що дорівнює значенню

$$Z_7 = Z_5/Z_6 = (\omega_{\text{зад}} - \omega_0)/(\omega_{\max} - \omega_0);$$

8) формують сигнал величини  $Z_8 = Z_7^2 = (\omega_{\text{зад}} - \omega_0)^2/(\omega_{\max} - \omega_0)^2$

9) формують сигнал величини

$$Z_9 = V_{\max} Z_8 = V_{\max} (\omega_{\text{зад}} - \omega_0)^2/(\omega_{\max} - \omega_0)^2, \text{ фіксуючи } Z_9;$$

10) порівнюють сигнали  $V^{(\omega)}_{\text{зад}}$  і  $V_{\text{зад}}(Y)$  і при виконанні умови  $\Delta_1 V = V_{\text{зад}}^{(Y)} - V_{\text{зад}}^{(\omega)} > 0$  формують сигнал керування швидкістю розгортки частоти сигналу збуджувальної вібростенди дії таким чином, щоб ця швидкість дорівнювала би значенню  $V^{(\omega)}_{\text{зад}}$ , а при виконанні умови  $\Delta_2 V = V_{\text{зад}}^{(Y)} - V_{\text{зад}}^{(\omega)} < 0$  формують сигнал керування розгорткою частоти збуджувальної вібростенди дії таким чином, щоб ця швидкість дорівнювала би значенню  $V_{\text{зад}}(Y)$ .

Таким чином, використання запропонованого пристрою для випробування виробів на віброміцність надає можливість враховувати не лінійність величини зміщення максимумів обвідних напіврозмахів коливань динамічних резонансних об'єктів при незначних коефіцієнтах демпфування від відповідних швидкостей розгортки частоти задавального генератора для формування збуджувальної вібростенди дії, що призводить до розширення технологічних можливостей пристрою і галузі його використання.

Запропонований винахід пояснюється кресленням, де на фіг.1 наведена структурна схема пристрою випробування виробів на віброміцність, на фіг.2 - структурна схема блока керування розгорткою частоти.

Пристрій для випробування виробів на віброміцність містить блок 1 керування розгорткою частоти, задавальний генератор 2, регулятор 3 амплітуди, підсилювач 4 потужності, вібростенди 5 з установленим на ньому випробуваному об'єкті 6, перший і другий віброперетворювачі 7 і 8 відповідно, перший віброперетворювач 7 установлений на рухомій частині вібростенди 5, другий віброперетворювач 8 - на випробуваному об'єкті 6, перший і другий узгоджувальні підсилювачі 9 і 10 відповідно, фазовий детектор 11, блок 12 зворотного зв'язку, нуль-орган 13, піковий детектор 14, комутатор 15, перший і другий тригери 16, 17 відповідно, перший дешифратор 18, перший і другий суматори 19, 20 відповідно, перший блок 21 ділення, перший блок 22 множення, перетворювач 23 добувача кореня, перший і другий елементи 24, 25 затримки відповідно, лічильник 26 імпульсів, регістр 27 задавання кода, другий дешифратор 28, перший ключ 29, перший елемент 30 «НІ», вхід 31 «Пуск», вхід 32 «Yгр.», вхід 33 «Yзад.», вхід 34 «Vmax», вхід 35 «Скид», перетворювач 36 «частота-напруга», перший блок 37 пам'яті, другий, третій, четвертий, п'ятий, шостий і сьомий ключі 38,39,40,41,42,43 відповідно, третій, четвертий, п'ятий, шостий, сьомий і восьмий суматори 44,45,46,47,48,49 відповідно, другий блок 50 множення, другий блок 51 ділення, перший і другий значущі елементи 52, 53 відповідно, другий, третій і четвертий елементи 54, 55, 56 «НІ» відповідно, елемент 57 «АБО», другий блок 58 пам'яті, третій елемент 59 затримки, вхід 60 « $\omega$  гр.», вхід 61 « $\omega$  зад.», вхід 62 « $\omega$  вм».

Блок 1 керування розгорткою частоти містить перший і другий імпульсні генератори 63 і 64 відповідно, третій, четвертий і п'ятий тригери 65, 66, 67 відповідно, восьмий, дев'ятий і десятий ключі 68, 69, 70 відповідно, зарядний резистор 71, перший нагромаджувальний конденсатор 72, другий елемент 73 «АБО», генератор 74 ступінчатої напруги, що виконаний на одинадцятій і дванадцятій ключах 75, 76 відповідно, другому нагромаджувальному конденсатору 77, третьому узгоджувальному підсилювачу 78, токостабілізуючому двополюснику 79 і регульованому одновібратору 80.

Блок 1 керування розгорткою частоти містить також четвертий елемент 81 затримки, перший, другий і третій керувальні входи 82, 83, 84 відповідно, вхід 85 «Скид», шину 86 нульового потенціалу, вихід 87 блока 1 керування розгорткою частоти, третій блок 88 множення.

Елементи пристрою з'єднані таким чином. Вихід блока 1 керування розгорткою частоти сполучений з керувальним входом задавального генератора 2, вихід якого через послідовно з'єднані регулятор 3 амплітуди і підсилювач 4 потужності під'єднаний до обмотки рухомої котушки (на схемі не показано) вібростенди 5. На рухомій частині вібростенди 5 і випробуваному об'єкті 6, що установлений на платформі вібростенди 5, установлені перший і другий віброперетворювачі 7 і 8 відповідно, під'єднані виходами до входів першого і другого узгоджувальних підсилювачів 9 і 10 відповідно, виходами сполучених з входами фазового детектора 11. Вихід першого узгоджувального підсилювача 9 через блок 12 зворотного зв'язку сполучений з керувальним входом регулятора 3 амплітуди. Вихід другого узгоджувального підсилювача 10 сполучений з входом пікового детектора 14. Вихід фазового детектора 11 через нуль-орган 13 сполучений з інформаційним входом комутатора 15, перший вихід якого через перший елемент 24 затримки сполучений з S-входом другого тригера 17, R-вхід якого, об'єднаний з R-входом першого тригера 16, через другий елемент 25 затримки під'єднаний до другого виходу комутатора 15. S-вхід першого тригера 16 об'єднаний з входом «Прийом» лічильника імпульсів 26 і сполучений з входом 31 «Пуск».

Прямі виходи першого і другого тригерів 16 і 17 сполучені з входами першого дешифратора 18, перший вихід якого сполучений з об'єднаними першим керувальним входом 82 блока 1 керування розгорткою частоти і першої™ керувальним входом комутатора 15. Другий вихід першого дешифратора 18 сполучений з об'єднаними другим керувальним входом 83 блока 1 керування розгорткою частоти і другим керувальним входом комутатора 15.

Вихід пікового детектора 14 сполучений з віднімальним входом першого суматора 19, підсумовувальний вхід якого, об'єднаний з підсумовувальним входом другого суматора 20, сполучений з входом 32 «Yгр.», а вихід першого суматора 19 сполучений з входом «Подільник» блока 21 ділення, вхід «Ділене» якого сполучений з виходом другого суматора 20, віднімальний вхід якого сполучений з входом 33 «Yзад.». Вихід блока 21 ділення сполучений через перетворювач 23 добувача кореня з одним входом першого блока 22 множення, другий вхід якого сполучений з входом 34 «Vmax».

Керувальний вхід пікового детектора 14 через перший ключ 29 сполучений з виходом нуль-органа 13, який сполучений також з S-входом першого тригера 16 і лічильним входом лічильника 26 імпульсів, розрядні входи якого сполучені з розрядними виходами регістра 27 задавання кода. Прямі виходи розрядів лічильника 26 імпульсів сполучені з інформаційними входами другого дешифратора 28, вихід якого сполучений з входом «Скид» блока 1 керування розгорткою частоти. Керувальний вхід першого ключа 29 через перший елемент 30 «НІ» сполучений з інверсним виходом другого тригера 17. R-вхід першого тригера 16, об'єднаний з R-входом другого тригера 17, під'єднаний до входу 35 «Скид».

Вихід другого узгоджувального підсилювача 10 сполучений через перетворювач 36 «частота-напруга» з

інформаційним входом першого блока 37 пам'яті, вхід «Запис» якого, об'єднаний з входом «Запис» другого блока 58 пам'яті, під'єднаний до виходу другого ключа 38, вхід якого сполучений з виходом першого ключа 29.

Входи «Читання» першого і другого блоків 37 і 58 пам'яті об'єднані і через третій елемент 59 затримки під'єднані до виходу другого ключа 38 Інформаційний вхід другого блока 58 пам'яті під'єднаний до входу 62 «<sup>ω</sup> вм» пристрою.

Виходи першого і другого блоків 37 і 58 пам'яті під'єднані відповідно до віднімального і підсумовувального входів третього суматора 44, вихід якого через перший знаочутливий елемент 52 під'єднаний до керувального входу четвертого ключа 40, інформаційний вхід якого під'єднаний до виходу першого блока 37 пам'яті, а вихід четвертого ключа 40 - до другого входу четвертого суматора 45, перший вхід якого через третій ключ 39 під'єднаний до виходу другого блока 58 пам'яті. Керувальний вхід третього ключа 39 через другий елемент «НІ» 54 під'єднаний до виходу першого знаочутливого елемента 52.

Вихід четвертого суматора 45 під'єднаний до підсумовувального входу восьмого суматора 49, віднімальний вхід якого, об'єднаний з віднімальним входом сьомого суматора 48, під'єднаний до входу 60 «<sup>ω</sup> гр.», а вихід восьмого суматора 49 під'єднаний до входу «Подільник» другого блока 51 ділення, вхід «Ділене» якого під'єднаний до виходу четвертого суматора 48, підсумовувальний вхід якого під'єднаний до входу 61 «<sup>ω</sup> зад.».

Вихід другого блока 51 ділення через сьомий ключ 43 під'єднаний до об'єднаних входів третього блоку 88 множення, вихід якого сполучений з другим входом другого блока 50 множення, перший вхід якого під'єднаний до входу 34 «<sup>ω</sup> тах». Вихід другого блока 50 множення під'єднаний до об'єднаних інформаційного входу шостого ключа 42 і підсумовувального входу шостого суматора 47, віднімальний вхід якого об'єднаний з інформаційним входом п'ятого ключа 41 і під'єднаний до виходу першого блока 22 множення. Вихід шостого суматора 47 через послідовно з'єднані другий знаочутливий елемент 53 і елемент 57 «АБО» під'єднаний до керувального входу шостого ключа 41, вихід якого під'єднаний до першого підсумовувального входу п'ятого суматора 46, другий підсумовувальний вхід якого під'єднаний до виходу шостого ключа 42, керувальний вхід якого через другий елемент 55 «НІ» під'єднаний до виходу другого знаочутливого елемента 53. Вихід п'ятого суматора 46 під'єднаний до третього керувального входу 84 блока 1 керування розгорткою частоти. Другий вхід елемента 57 «АБО» через третій елемент 56 «НІ» під'єднаний до виходу другого блока 50 множення.

Елементи блоку 1 керування розгорткою частоти з'єднані таким чином (фіг.2).

Перші входи першого і другого імпульсних генераторів 63 і 64 об'єднані і сполучені через третій елемент 81 затримки з керувальним входом 82 «Пуск», що сполучений з першим виходом першого дешифратора 18. Виходи першого і другого імпульсних генераторів 63 і 64 сполучені з R- і S-входами відповідно третього тригера 65, інверсний і прямий виходи якого через восьмий і дев'ятий ключі 68, 69 відповідно під'єднані через послідовно з'єднані зарядний резистор 71 і перший нагромаджувальний конденсатор 72 до загальної шини 86. Паралельно першому нагромаджувальному конденсатору 72 під'єднаний десятий ключ 70.

Загальна вузлова точка з'єднання зарядного резистора 71, першого нагромаджувального конденсатора 72 і десятого ключа 70 сполучена з виходом 87 блока 1 керування розгорткою частоти. Керувальні входи восьмого і дев'ятого ключів 68, 69 сполучені з інверсним і прямим виходами четвертого тригера 66 відповідно, R-вхід якого, об'єднаний з R-входом п'ятого тригера 67, сполучений з керувальним входом 82.

Керувальний вхід десятого ключа 70 сполучений з виходом другого елемента 73 «АБО», перший вхід якого сполучений з виходом одновібратора 80, що під'єднаний до другого виходу генератора 74 ступінчатої напруги, а другий вхід елемента 73 «АБО» сполучений з прямим виходом п'ятого тригера 67, під'єданого також до третього керувального входу генератора 74 ступінчатої напруги, об'єднаному з керувальним входом одинадцятого ключа 75 і з об'єднаними другими керувальними входами першого і другого імпульсних генераторів 63 і 64. S-вхід п'ятого тригера 67 під'єднаний до входу 85 «Скид» блока 1 керування розгорткою частоти.

Потенціальний вихід «Е» джерела енергії через послідовно з'єднані токостабілізуючий двополюсник 79, дванадцятий ключ 76 і третій узгоджувальний підсилювач 78 сполучений з третім керувальним входом першого імпульсного генератора 63. Керувальний вхід дванадцятого ключа 76 сполучений з виходом регульованого одновібратора 80, перший керувальний вхід якого, об'єднаний з першим керувальним входом генератора 74 ступінчатої напруги і сполучений з третім керувальним входом 84 блока 1 керування розгорткою частоти, під'єднаний до виходу п'ятого суматора 46.

Другий керувальний вхід регульованого одновібратора 80, об'єднаний з другим керувальним входом генератора 74 ступінчатої напруги, під'єднаний до другого керувального входу 83 блока 1 керування розгорткою частоти, що з'єднаний з другим виходом першого дешифратора 18. Вихід дванадцятого ключа 76 через паралельно з'єднані одинадцятий ключ 75 і другий нагромаджувальний конденсатор 77 під'єднаний до загальної шини 86- На виходах першого і другого імпульсних генераторів 63, 64 формуються імпульсні послідовності тільки при наявності нуля на других керувальних входах, під'єднаних до прямого виходу п'ятого тригера 67, і при наявності одиниці на перших керувальних входах, під'єднаних через четвертий елемент 81 затримки до першого керувального входу 82, що сполучений з першим виходом першого дешифратора 18.

Розглянемо роботу пристрою для випробування виробів на віброміцність в двох режимах.

Перший режим - режим визначення швидкості зміни (сканування) частоти сигналу збуджувальної дії при урахуванні максимально допустимого по технічним характеристикам рівня віброприскорення вібростенда 5.

У початковому стані лічильник 26 імпульсів установлений в нуль, перший і другий тригери 16 і 17 також установлені в нуль за рахунок надходження сигналу на вхід 35 «Скид». Частота задавального генератора дорівнює нижній частоті <sup>ω</sup> н робочого діапазону частот (<sup>ω</sup> н, <sup>ω</sup> вм).

Комутатор 15 установлений в нейтральне положення, при цьому його виходи від'єднанні від входу, а блок 1 керування розгорткою частоти установлений в початковий стан, в якому частота задавального генератора 2 зафіксована за рахунок надходження сигналу на вхід 35 «Скид». На вході 32 «Үгр.» установлена величина сигналу, що відповідає рівню віброприскорення максимально допустимому по технічним характеристикам для

конкретного типу вібростенда 5.

На вході 33 «Yзад.» установлена величина сигналу, що відповідає рівню віброприскорення, заданому по програмі вібровипробувань. В регістрі 27 задавання коду установлений код, що відповідає значенню «Yзад.».

На вході 34 «Vmax.» установлена величина сигналу, що відповідає максимально допустимій по технічним характеристикам швидкості сканування частоти сигналу збуджувальної дії для використаного типу вібростенда.

На вході 31 «Пуск» формується сигнал запуску пристрою. На вході 60 « $\omega$  гр.» установлена величина сигналу, що відповідає значенню частоти при  $Y=Y_{гр}$ . На вході 61 « $\omega$  зад.» установлена величина сигналу, що відповідає значенню частоти при  $Y=Y_{зад}$ .

При надходженні сигналу на вхід 31 «Пуск» перший тригер 16 установлюється в одиницю, а зміст регістра 27 задавання коду передається із регістра 27 задавання коду в лічильник 26 імпульсів. На першому виході першого дешифратора 18 з'являється сигнал, який надходить на перші керувальні входи комутатора 15 і блока 1 керування розгорткою частоти.

При наявності кодової комбінації «00» на входах першого дешифратора 18 на його виходах сигнали відсутні, при наявності кодової комбінації «01» на входах першого дешифратора 18 з'являється сигнал на його першому виході. При цьому вхідний сигнал комутатора 15 надходить на його перший вихід і з'являється сигнал на першому вході 82 блока 1 керування розгорткою частоти. В такому режимі частота задавального генератора 2 збільшується по лінійному закону від заданого початкового значення  $\omega_n$ , з швидкістю Vmax.

Сигнал з виходу задавального генератора 2 через регулятор 3 амплітуди і підсилювач 4 потужності надходить в обмотку котушки збудження вібростенда 5, що жорстко з'єднана з рухомою частиною вібростенда 5, на платформі якого установлений випробуваний об'єкт 6.

Сигнал з виходу першого віброперетворювача 7 через перший узгоджувальний підсилювач 9 і блок 12 зворотного зв'язку надходить на керувальний вхід регулятора 3 амплітуди для стабілізації рівня збудження вібростенда 5.

Сигнали з виходів першого і другого узгоджувальних підсилювачів 9 і 10 надходять на входи фазового детектора 11. При порівнянні частоти сигналу збуджувальної дії, що змінюється з швидкістю Vmax, з резонансною частотою динамічного резонансного піка випробуваного об'єкта 6 різниця фаз сигналів на входах фазового детектора 11 дорівнює  $\pi/2$ , а сигнал на його виході буде рівним нулю. При цьому на виході нуля-органа 13 формується сигнал, що надходить на перший вихід комутатора 15 і далі через переший елемент 24 затримки на S-вхід другого тригера 17, установлюючи його в одиницю. Сигнал з виходу нуля-органа 13 через перший ключ 29 надходить на керувальний вхід пікового детектора 14. Перший ключ 29 знаходиться в розімкнутому стані на тій підставі, що другий тригер 17 установлений в нуль при надходженні на його R-вхід сигналу з входу 35 «Скид». Тому на виході елемента 30 «H1» формується нуль. При формуванні сигналу на першому виході комутатора 15 через проміжок часу, що визначається першим елементом 24 затримки, другий тригер 17 установлюється в одиницю, а перший ключ 29 при цьому замикається (на інверсному виході другого тригера 17- нуль, а на виході першого елемента 30 «H1» - одиниця). При цьому також фіксується і запам'ятовується піковим детектором 14 значення Vmax. максимуму обвідної напіврозмахів коливань динамічного резонансного піка, що відповідає швидкості Vmax. зміни частоти сигналу збуджувальної дії.

На входах першого дешифратора 18 має місце кодова комбінація «11», що визначає формування сигналу на його другому виході, який надходить на другий керувальний вхід комутатора 15 і другий керувальний вхід 83 блока 1 керування розгорткою частоти. Частота задавального генератора 2 стрибкоподібно зменшується до її початкового значення  $\omega_n$ , а потім знову починається її зростання по лінійному закону з швидкістю Vзад., величина якої задається при надходженні сигналу на третій керувальний вхід 84 блока 1 керування розгорткою частоти.

Формування цього сигналу відповідає алгоритму, що реалізує співвідношення (3). Сигнали Ymax, Yгр. з виходу пікового детектора 14 і з входу 32 «Yгр.» відповідно надходять на віднімальний і підсумовувальний входи відповідно першого суматора 19, вихідний сигнал якого рівний (Yгр. - Ymax), надходять на вхід «Подільник» першого блока 21 ділення, на вхід «Ділене» якого надходить сигнал (Yгр.-Yзад.) з виходу другого суматора 20, на підсумовувальний вхід якого надходить сигнал «Yгр.» з входу 32 «Yгр.», а на віднімальний вхід - сигнал «Yзад.» з входу 33 «Yзад.».

Вихідний сигнал першого блока 21 ділення після проходження через перетворювач 23 добувача кореня

дорівнює  $\sqrt{\frac{Y_{гр} - Y_{зад}}{Y_{гр} - Y_{max}}}$ , а після проходження цього сигналу через блок 22 множення, на другий вхід якого надходить сигнал Vmax з входу 34 «Vmax.», формується сигнал, що дорівнює значенню:

$$V_{зад.} = V_{max} \cdot \sqrt{\frac{Y_{гр} - Y_{зад}}{Y_{гр} - Y_{max}}},$$

який надходить на інформаційний вхід п'ятого ключа 41. П'ятий ключ 41 в цьому режимі замкнений, тому що на його керувальному вході присутній одиничний сигнал. А це пояснюється тим, що на виході другого блока 50 множення присутній нульовий сигнал, тому що на виході розімкнутого сьомого ключа 43 присутній нульовий сигнал, на входах третього блоку 88 множення присутні нулі, нуль присутній і на виході третього блоку 88 множення і на вході другого блоку 50 множення. На виході третього елемента 56 «H1» присутній одиничний сигнал, який через елемент 57 «АБО» надходить на керувальний вхід п'ятого ключа 41, замикаючи його.

На вході шостого ключа 42 - нульовий сигнал, на керувальному вході шостого ключа 42 (на виході другого елемента 55 «H1») одиничний сигнал. На підсумовувальному вході шостого суматора 47 нульовий сигнал, тому незалежно від сигналу на його віднімальному вході, на виході другого знакозчутливого блоку 53 маємо нуль, а тому присутня одиниця на виході другого елемента 55 «H1», а на виході шостого ключа 42 - нульовий



сигнал.

Сигнал з виходу п'ятого ключа 41 надходить на перший підсумовувальний вхід п'ятого суматора 46, на другий підсумовувальний вхід якого надходить нульовий сигнал, тому що на виході шостого ключа 42 буде нульовий сигнал.

При формуванні сигналу на другому виході комутатора 15 (на керувальних входах першого дешифратора 18 присутня кодова комбінація «11») і його надходженні через другий елемент 25 затримки на об'єднані R-входи першого і другого тригерів 16 і 17 відповідно на інверсних виходах цих тригерів установлюється одиниця, на виході першого елемента 30 «НІ» установлюється нуль, перший ключ 29 розмикається, зміст пікового детектора 14 далі не змінюється.

Сигнал, що з'являється на вході 31 «Пуск», надходить на S-вхід першого тригера 16 і вхід «Прийом» лічильника 26 імпульсів, тим самим в лічильник 26 імпульсів вводиться зміст регістра 27 задавання коду, що визначає число циклів формування режимів розгортки частота сигналу збуджувальної дії з швидкістю  $V_{зад.}$ . Кожний імпульсний сигнал з виходу нуль-органа 13 надходить також на лічильний віднімальний вхід лічильника 26 імпульсів, зменшуючи його зміст на одиницю молодшого розряду, і на S-вхід першого тригера 16, установлюючи цей тригер в одиницю, тіш самим повторюється режим розгортки частоти сигналу збуджувальної дії з швидкістю розгортки  $V_{зад.}$ .

Після установлення в нуль лічильника 26 імпульсів (після реалізації заданого по програмі числа циклів розгортки частини сигналу збуджувальної дії з швидкістю  $V_{зад.}$ ) на виході другого дешифратора 28 формується сигнал, що надходить на керувальний вхід 85 блока 1 керування розгорткою частоти, щоб установити частоту задавального генератора 2 рівною її початковому значенню  $\omega_п$  і блокувати режим формування розгортки частоти.

Нова послідовність циклів розгортки частоти сигналу збуджувальної дії реалізується тільки після надходження сигналу на вхід 31 «Пуск» пристрою.

Перед надходженням сигналу на вхід 31 «Пуск» на вхід 35 «Скид» надходить сигнал, що установлює пристрій в початковий стан.

Другий режим - режим визначення швидкості зміни (сканування) частоти сигналу збуджувальної дії при урахуванні максимально допустимого по технічним характеристикам рівня віброприскорення і урахуванні верхньої частоти  $\omega_{вм}$  діапазону частот, що відтворюється вібростендом.

В цьому режимі другий і сьомий ключі 38 і 43 відповідно замкнені, що визначається тим, що на їх керувальні входи надходять одиничні сигнали.

Робота в цьому режимі аналогічна роботі в першому режимі, але відрізняється за рахунок введення нового блоку і функціональних зв'язків. При замкненому другому ключі 38 і замкненому першому ключі 29 і формуванні сигналу на виході нуль-органа 13 цей сигнал через перший і другий ключі 29 і 38 надходить на вхід «Запис» першого блока 37 пам'яті, на інформаційний вхід якого надходить сигнал з виходу перетворювача 36 «частота-напруга», на вхід якого надходить сигнал з виходу другого узгоджувального підсилювача 10.

Таким чином, в блоці 37 пам'яті відбувається фіксація частоти  $\omega_{тах.}$ , що відповідає значенню обвідної  $U_{тах.}$  наїви́зрозмахів коливань динамічного резонансного піка при швидкості зміни частоти сигналу збуджувальної дії, що дорівнює  $V_{тах.}$ .

Сигнал з виходу другого ключа 38 надходить також на вхід «Запис» другого блока 58 пам'яті, фіксуючи сигнал, що дорівнює максимальному значенню частоти  $\omega_{вм}$ , яка відповідає технічним можливостям конкретного типу вібростенда, що застосовується. Через проміжок часу, що визначається третім елементом 59 затримки на входи «Читання» першого і другого блоків 37, 58 пам'яті надходить сигнал з виходу другого ключа 38.

Вихідний сигнал першого блока 37 пам'яті, що відповідає значенню  $\omega_{тах.}$ , надходить на віднімальний вхід третього суматора 44, на підсумовувальний вхід якого надходить сигнал  $\omega_{вм}$  з виходу другого блока 58 пам'яті.

При виконанні умови  $\omega_{вм} > \omega_{тах.}$  на виході першого знаочотулівого елемента 52 формується сигнал, який надходить на керувальний вхід четвертого ключа 40, замикаючи його. При цьому сигнал, що відповідає  $\omega_{тах.}$ , надходить з виходу першого блока 37 пам'яті через четвертий ключ 40 і четвертий суматор 45 на підсумовувальний вхід восьмого суматора 49. Третій ключ 39 при цьому буде розімкненим, тому що на його керувальний вхід надходить нульовий сигнал з виходу першого елемента 54 «НІ».

При виконанні умови  $\omega_{тах.} > \omega_{вм}$  на виході першого знаочотулівого елемента 52 сигнал дорівнює нулю.

При цьому третій ключ 39 замикається сигналом з виходу першого елемента 54 «НІ» і сигнал що відповідає  $\omega_{вм}$ , надходить через третій ключ 39 і четвертий суматор 45 на підсумовувальний вхід восьмого суматора 49.

На віднімальний вхід восьмого суматора 49 надходить сигнал з входу 60, що відповідає  $\omega_{гр.}$ , а з виходу восьмого суматора 49 – сигнал величини  $(\omega_{тах.} - \omega_{гр.})$  при виконанні умови  $\omega_{вм} > \omega_{тах.}$ , або величини  $(\omega_{вм} - \omega_{гр.})$ .

при виконанні умови  $\omega_{вм} < \omega_{тах.}$  Сигнал з виходу восьмого суматора 49 надходить на вхід «Подільник» другого блока 51 ділення, на вхід «Ділене» якого надходить сигнал, що відповідає величині  $(\omega_{зад.} - \omega_{гр.})$  з виходу сьомого суматора 48, на підсумовувальний вхід якого надходить сигнал  $\omega_{зад.}$  з входу 61, а на піднімальний вхід - сигнал  $\omega_{гр.}$  з входу 60.

На виході другого блока 51 ділення формується сигнал  $(\omega_{зад.} - \omega_{гр.})/(\omega_{тах.} - \omega_{гр.})$  при умові  $\omega_{вм} > \omega_{тах.}$ , або сигнал  $(\omega_{зад.} - \omega_{гр.})/(\omega_{вм} - \omega_{гр.})$  при умові  $\omega_{тах.} > \omega_{вм}$ . Сигнал з виходу другого блоку 51 ділення через замкнений сьомий ключ 43 надходить на об'єднані входи третього блоку 88 множення, сигнал з виходу якого надходить на другий вхід другого блоку 50 множення, на перший вхід якого надходить сигнал,

що відповідає  $V_{max}$ . з входу 34. На виході другого блока 50 множення формуються сигнали  $S_1^1$  або  $S_1^{11}$ , що дорівнюють величинам

$$S_1^1 = V_{max} \left( \frac{\omega_{зад.} - \omega_{гр.}}{\omega_{max} - \omega_{гр.}} \right)^2$$

при умові  $\omega_{вм} > \omega_{max}$ ,

$$S_1^{11} = V_{max} \left( \frac{\omega_{зад.} - \omega_{гр.}}{\omega_{вм} - \omega_{гр.}} \right)^2$$

при умові  $\omega_{вм} < \omega_{max}$ .

Один з цих сигналів  $S_{11}$ ,  $S_{111}$  надходить на підсумовувальний вхід шостого суматора 47, на віднімальний вхід якого надходить сигнал  $S_2$  з виходу першого блока 22 множення, що дорівнює величині

$$S_2 = V_{max} \sqrt{\frac{Y_{гр} - Y_{зад}}{Y_{гр} - Y_{max}}},$$

При виконанні умови  $S_{11} > S_2$  або  $S_{111} > S_2$  на виході другого знакочутливого елемента 53 формується сигнал. При цьому п'ятий ключ 41 замикається, а шостий ключ 42 буде розімкненим, тому що при цьому на виході другого елемента 55 «НІ» присутній нуль.

Сигнал, що дорівнює величині  $S_2 = V_{max} \sqrt{\frac{Y_{гр} - Y_{зад}}{Y_{гр} - Y_{max}}}$ , з виходу п'ятого ключа 41 через п'ятий суматор 46 надходить на третій керувальний вхід 84 блока 1 керування розгорткою частоти, формуючи режим зміни частоти задавального генератора 2, що відповідає швидкості  $V_{зад.}$ .

При виконанні умови  $S_{11} < S_2$  або  $S_{111} < S_2$  на виході другого знакочутливого елемента 53 сигнал дорівнює нулю.

Тому на виході другого елемента 55 «НІ» формується одиничний сигнал. При цьому шостий ключ 42 замикається, а п'ятий ключ 41 буде розімкненим., тому що на обох входах елемента 57 «АБО» нульові сигнали, що надходять з виходів другою знакочутливого елемента 53 і третього елемента 56 «НІ».

Сигнал, що дорівнює величині

$$S_1^1 = V_{max} \left( \frac{\omega_{зад.} - \omega_{гр.}}{\omega_{max} - \omega_{гр.}} \right)^2 \quad \text{або}$$

$$S_1^{11} = V_{max} \left( \frac{\omega_{зад.} - \omega_{гр.}}{\omega_{вм} - \omega_{гр.}} \right)^2,$$

з виходу шостого ключа 42 через п'ятий суматор 46 надходить на третій керувальний вхід 84 блока 1 керування розгорткою частоти, формуючи режим зміни частоти задавального генератора 2, що відповідає швидкості  $V_{зад.}$ .

Блок 1 керування розгорткою частоти працює таким чином. При надходженні сигналу на вхід 85 «Скид» п'ятий тригер 67 устанавлюється в одиницю, десятий ключ 70 замикається, тому що на його керувальний вхід надходить одиничний сигнал з прямого виходу п'ятого тригера 67 через елемент 73 «АБО». Перший нагромаджувальний конденсатор 72 розряджається через десятий ключ 70. На виході 87 устанавлюється нульовий рівень. Замикається одинадцятий ключ 75, тим самим через цей ключ розряджається другий нагромаджувальний конденсатор 77. Блокується також робота першого і другого імпульсних генераторів 63 і 64 відповідно, тому що на другі керувальні входи цих генераторів надходить одиничний сигнал з прямого виходу п'ятого тригера 67.

При надходженні сигналу на перший керувальний вхід 82 «Пуск» четвертий і п'ятий тригери 66 і 67 устанавлюються в нуль, тим самим десятий і одинадцятий ключі 70 і 75 відповідно розмикаються, восьмий ключ 68 замикається, розблокуються перший і другий імпульсні генератори 63 і 64 відповідно, тому що на їх об'єднані другі керувальні входи надходить нульовий сигнал з прямого виходу п'ятого тригера 67. Така комутація відбувається тому, що формується сигнал на першому виході першого дешифратора 18. При надходженні сигналу на керувальний вхід 82 «Пуск» цей сигнал проходить через четвертий елемент 81 затримки на перші керувальні входи першого і другого імпульсних генераторів 63 і 64, на виходах яких формуються імпульсні послідовності, частоти генерації яких підбираються близькими, але таким чином, щоб частота биття, яка визначає період формування лінійно змінної напруги, була би такою, щоб вона перекривала весь діапазон частот сигналу збуджувальної вібростенди дії.

Для формування сигналу задавального генератора 2 з лінійно зростаючою частотою частота надходження імпульсів з виходу другого імпульсного генератора 64 устанавлюється вище частоти надходження імпульсів з виходу першого імпульсного генератора 63.

Імпульсні послідовності з виходів першого і другого імпульсних генераторів 63 і 64 керують станом третього тригера 65, на інверсному виході якого формується імпульсна послідовність з лінійно зростаючою тривалістю імпульсів, а на прямому виході - імпульсна послідовність з лінійно спадаючою тривалістю імпульсів.

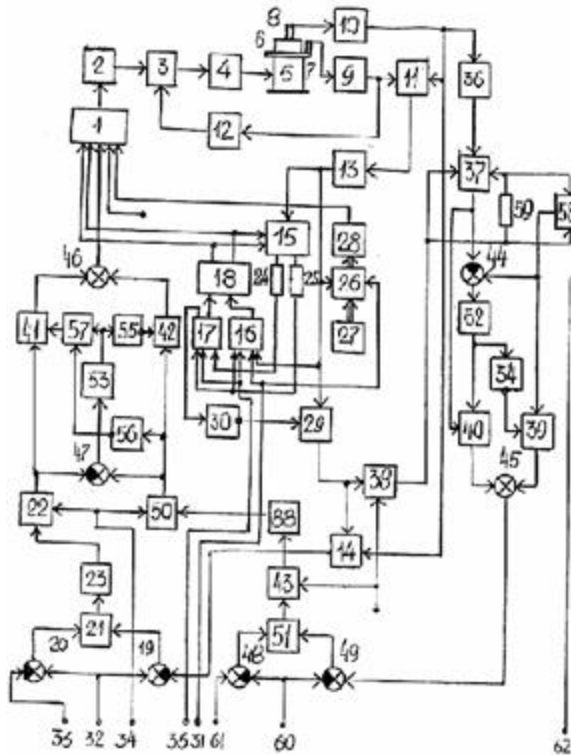
Якщо восьмий ключ 68 замкнений, а дев'ятий ключ 69 розімкнений, то імпульсна послідовність з лінійно зростаючою тривалістю імпульсів через замкнений ключ 68 і зарядний резистор 71 заряджає перший нагромаджувальний конденсатор 72, тому на виході 87 формується лінійно зростаюча напруга.

При формуванні сигналу на другому виході першого дешифратора 18 цей сигнал надходить на другий керувальний вхід 83 блока 1 керування розгорткою частоти, а тому і на другий керувальний вхід регульованого одновібратора 80, на виході якого формується імпульс, який надходить через елемент 73 «АБО» на керувальний вхід десятого ключа 70, замикаючи його.

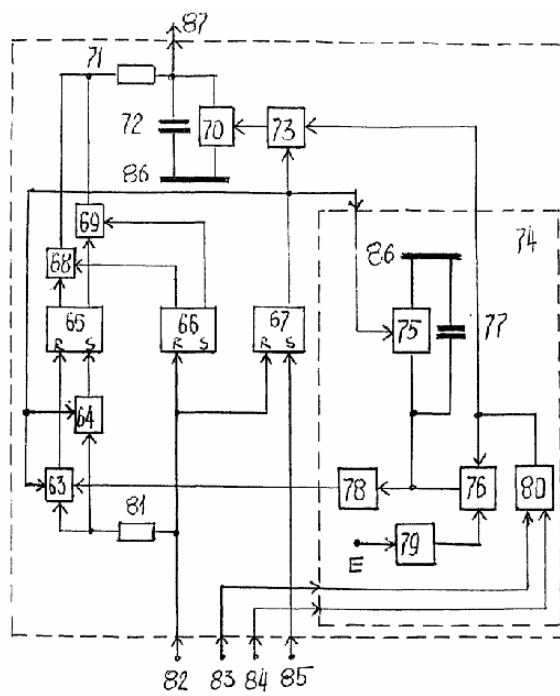
Перший нагромаджувальний конденсатор 72 розряджається через замкнений десятий ключ 70, а на виході 87 устанавлюється нульовий рівень, який надходить на керувальний вхід задавального генератора 2 і устанавлює частоту його генерації, що дорівнює нижній частоті досліджуваного діапазону частот.

Імпульсний сигнал з виходу регульованого одновібратора 80 надходить також на керувальний вхід дванадцятого ключа 76, замикаючи його. Другий нагромаджувальний конденсатор 77 через токостабілізуючий двополюсник 79 і замкнений дванадцятий ключ 76 заряджається від джерела «Е» напруги на величину  $\Delta V$ . Через третій узгоджувальний підсилювач 78 напруга  $\Delta V$  надходить на третій керувальний вхід першого імпульсного генератора 63, що призводить до зростання частоти формування імпульсів на його виході, тим самим зменшується крутість лінійно змінної напруги на виході 87.

Таке виконання пристрою дозволяє розширити технологічні можливості пристрою при проведенні вібровипробувань виробів на віброміцність і вібронадійність, тому що забезпечується урахування нелінійності величини зміщення максимумів обвідних напіврозмахів коливань динамічних резонансних піків від відповідних швидкостей розгортки частоти сигналу задавального генератора для формування збуджувальної вібростенди.



Фиг. 1



Фиг. 2