

УСТРОЙСТВО ДЛЯ БЕЗДЕМОНТАЖНОЙ ПОВЕРКИ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВИБРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

A DEVICE FOR THE UNDEMOUNTED VERIFICATION OF THE PIEZOELECTRIC VIBRATION MEASUREMENT TRANSDUCERS

Санкт-Петербург, ЗАО «Мера», ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»
Saint-Petersburg, Ltd. "Mera", FGUP "VNIIM D.I. Mendeleev"

В докладе рассматриваются теоретические основы бездемонтажной поверки пьезоэлектрических виброизмерительных преобразователей методом замещения. Создано устройство для бездемонтажной поверки вибропреобразователей, приведены эквивалентные схемы реализованного метода и выражения для определения коэффициента преобразования вибропреобразователей. Экспериментальные исследования устройства показали возможность определения коэффициента преобразования с погрешностью не более 5%, а установочный резонанс с погрешностью не более 2%.

В настоящее время для определения основных метрологических характеристик (МХ) пьезоэлектрических виброизмерительных преобразователей (ПВИП) в метрологической практике применяются рабочие эталоны, состоящие из эталонного вибростенда и эталонного средства измерений. Методика поверки регламентирована МИ 1873-88 «Виброметры с пьезоэлектрическими и индукционными преобразователями. Методика поверки» [1]. В соответствии с этим нормативным документом при периодической поверке можно определять только коэффициент преобразования ПВИП и неравномерность его амплитудно-частотной характеристики (АЧХ). Последняя может быть определена двумя способами: по полученной на рабочем эталоне в поверочной или калибровочной лаборатории зависимости коэффициента преобразования от частоты, или с помощью частоты установочного резонанса ПВИП по известной математической формуле [1]. Для проведения поверки и в первом и во втором случаях, необходимо демонтировать ПВИП с места эксплуатации и доставить в поверочную лабораторию. Однако на практике бывают случаи, когда демонтаж ПВИП для последующей его доставки на поверку невозможен или нецелесообразен по ряду организационно-технических причин или экономических [2]. В настоящее время проблема решается двумя способами: доставляют к месту эксплуатации ПВИП поверочную установку (что, как правило, является дорогостоящей операцией) [2] или ограничиваются только проверкой работоспособности ПВИП, искусственно увеличивая при этом межповерочный интервал. По нашему мнению, наиболее подходящий вариант решения проблемы: применение периодической бездемонтажной поверки ПВИП. Теоретические основы бездемонтажного определения коэффициента преобразования ПВИП и установочного резонанса неоднократно рассматривался в периодической печати (например, [3,4]), однако широкого внедрения этих методов в метрологическую практику до настоящего времени не произошло.

Возможно несколько вариантов бездемонтажной поверки. Один из них, описанный в [5], использует вибрацию работающего механизма в качестве задающего воздействия. В [5] сличение поверяемого ПВИП производилось с эталонным датчиком, установленным или на поверяемом ПВИП, или рядом с поверяемым, или на специальной площадке. Результаты экспериментальных исследований показали, что существует возможность определения коэффициента преобразования на оборотной частоте работающего механизма с погрешностью, не превышающей 10%. Основным недостатком определения коэффициента преобразования при использовании вибрации работающего механизма являются низкие уровни задающего воздействия и чем тщательнее проведена балансировка механизма, тем ниже уровни задающего воздействия. Как правило, в этих случаях целесообразно использовать узкополосный фильтр для выделения сигналов поверяемого ПВИП и эталонного датчика. Перечисленные недостатки не отвергают возможности применения вибрации работающего механизма для бездемонтажной поверки, но делают это направление в будущем малоперспективным, особенно, если учесть постоянное повышение требований к сбалансированности вращающихся частей и механизмов, что неминуемо приводит к уменьшению соотношения сигнал/шум при определении коэффициента преобразования поверяемого ПВИП.

Из всех возможных вариантов бездемонтажной поверки, по нашему мнению, более всего отвечает современным требованиям метод замещения [6], который предполагает при проведении **первичной поверки** включение дополнительного резистора между ПВИП и корпусом (с малым значением электрического сопротивления по сравнению с внутренним сопротивлением ПВИП). На поверяемый ПВИП воздействуют эталонным значением виброускорения на частоте f_o с амплитудой $a_{эм}$ и измеряют с выхода согласующего усилителя значение напряжения $U_{вых1}$. После чего по формуле

$$k_{ИК} = \frac{U_{вых1}}{a_{эм}} \left[\frac{MB}{MC^{-2}} \right] \quad (1)$$

определяется коэффициент преобразования измерительного комплекта (ПВИП + соединительный кабель с дополнительным резистором + согласующий усилитель). После установки измерительного комплекта на месте эксплуатации проводится второй эксперимент, во время которого на дополнительный резистор подается с генератора напряжение замещения, амплитуда которого $U_{зам}$, а частота - f_o . Значение $U_{зам}$ подбирается таким образом, чтобы напряжение на выходе согласующего усилителя $U_{вых2} = U_{вых1}$. В этом случае по формуле

$$k_{ЗАМ} = \frac{U_{зам}}{a_{эм}} \left[\frac{MB}{MC^{-2}} \right] \quad (2)$$

определяется коэффициент замещения, относящийся ко всему измерительному комплекту.

При **периодической поверке** через межповерочный интервал (как правило, межповерочный интервал равен одному году) по формуле (2) определяется коэффициент замещения $k_{зам}^1$ с помощью напряжения замещения $U_{зам}^1$, подаваемого на дополнительный резистор. Изменение коэффициента замещения за межповерочный интервал эквивалентно изменению коэффициента преобразования измерительного комплекта. Рассмотрим более подробно теоретические основы бездемонтажной поверки, основанной на методе замещения.

Эквивалентная схема измерительного комплекта представлена на рис. 1, где $Z_A, Z_K, Z_{ВХ}, Z_{ОС}$ – комплексные сопротивления ПВИП, соединительного кабеля, входа и обратной связи согласующего усилителя с коэффициентом усиления A , $Z_{зам}$ – комплексное сопротивление замещения.

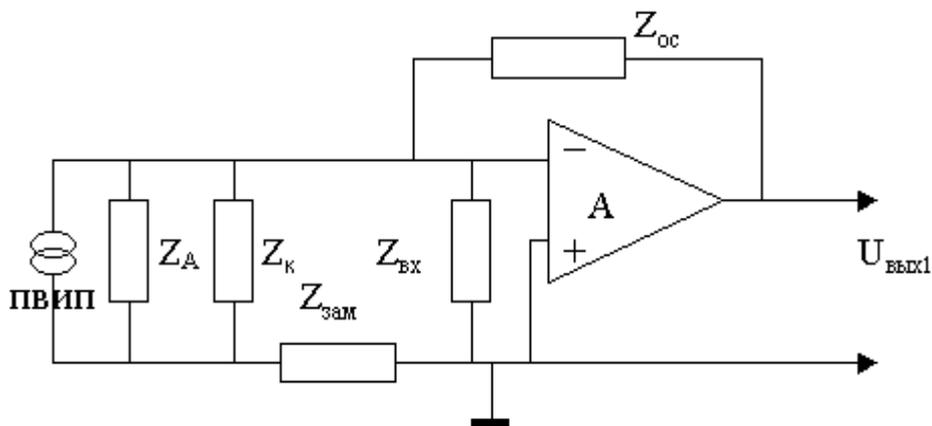


Рис.1. Эквивалентная схема пьезоэлектрического виброизмерительного преобразователя с усилителем заряда.

Fig.1. Equivalent schema of the piezoelectric vibration measurement transducer with the charge preamplifier.

Если на ПВИП действует эталонное виброускорение амплитудой $a_{эм}$ на частоте f_o , то напряжение $U_{вых1}$ определяется по формуле

$$U_{вых1} = \frac{k_{ПВИП} a_{эм} C_A Z_{oc} Z_{экв} A}{Z_{oc} - AZ_{экв}}, \quad (3)$$

где $Z_{экв} = \frac{Z_{ex} Z_{oc} (Z_{Ак} + Z_{зам})}{Z_{ex} Z_{oc} + (Z_{Ак} + Z_{зам})(Z_{ex} + Z_{зам})}$, $Z_{Ак}$ - комплексное сопротивление ПВИП и соединительного кабеля, $k_{ПВИП}$ - коэффициент преобразования ПВИП по напряжению, C_A - емкость ПВИП. С помощью выражения (3) можно определить коэффициент преобразования измерительного комплекта

$$k_{ИК} = \frac{U_{вых1}}{a_{эм}} = \frac{k_{ПВИП} C_A Z_{oc} Z_{экв} A}{Z_{oc} - AZ_{экв}}. \quad (4)$$

При возбуждении измерительного комплекта от генератора эквивалентная схема имеет вид, представленный на рис. 2.

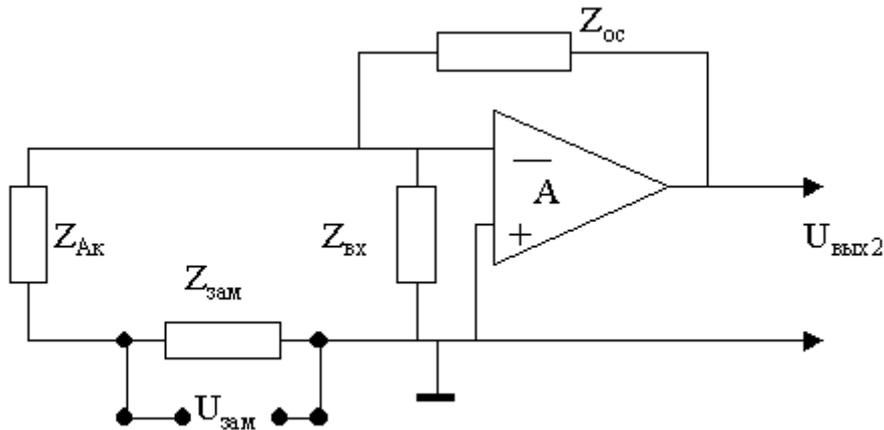


Рис.2. Эквивалентная схема пьезоэлектрического виброизмерительного преобразователя при проверке методом замещения.

Fig.2 Equivalent schema of the piezoelectric vibration measurement transducer by the insert method verification.

Из рис. 2 следует, что

$$U_{вых2} = U_{зам} \frac{A(Z_{oc} + Z_{вх})Z_{вх}}{(Z_{Ак} + Z_{вх})(Z_{oc} + Z_{вх} - AZ_{вх})} \quad (4)$$

Если выполняется условие $U_{вых2} = U_{вых1}$, то можно определить коэффициент замещения

$$k_{зам} = k_{ПВИП} C_A \frac{(Z_{Ак} + Z_{вх})Z_{oc}Z_{экв} [Z_{oc} + Z_{вх}(1 - A)]}{(Z_{oc} - AZ_{экв})Z_{вх}(Z_{oc} + Z_{вх})}. \quad (5)$$

При выполнении условий $Z_{вх} \gg Z_{зам}$, $Z_{Ак} \gg Z_{зам}$, $Z_{oc} \ll Z_{вх}$, $A \rightarrow \infty$ выражение (5) можно упростить

$$k_{зам} = k_{ПВИП} C_A \frac{Z_{oc}}{Z_{вх}} (Z_{Ак} + Z_{вх}). \quad (6)$$

Из выражения (6) следует, что $k_{зам}$ зависит как от сопротивления обратной связи $Z_{ос}$, так и от сопротивлений ПВИП Z_A , кабеля Z_k и входного сопротивления усилителя $Z_{вх}$. При этом, если учесть, что сопротивление $Z_{вх}$, как правило, больше сопротивления $Z_{Ак}$, а сопротивление $Z_{ос}$ мало, то можно сделать вывод о том, что $k_{зам}$ меньше, чем $k_{ПВИП}$.

Для реализации метода замещения было разработано и создано устройство для определения коэффициента преобразования и установочного резонанса без демонтажа ПВИП с объекта эксплуатации. Исследованиям были подвергнуты несколько типов отечественных ПВИП. При первичной проверке на ПВИП воздействовали виброускорением амплитудой $a_{эм} \approx 10 \text{ м/с}^2$, а коэффициент усиления операционного усилителя отрегулирован таким образом, чтобы при $a_{эм} = 10 \text{ м/с}^2$ $U_{вых1} = 1 \text{ В}$. Напряжение замещения подбиралось исходя из условия $U_{вых2} = U_{вых1}$. В таблице №1 представлены результаты экспериментальных исследований.

Во время периодической проверки определялось изменение $U_{зам}$ напряжение замещения и установочного резонанса за межповерочный интервал. Выяснилось, что напряжение замещения и установочный резонанс изменялись не более, чем на 2%. Эти данные могут служить объективным показателем метрологической работоспособности ПВИП. Для проверки после определения параметров ПВИП методом замещения, датчики демонтировались и определялись их характеристики традиционным методом [1]. Эксперименты показали совпадение метрологических характеристик, определенных методом замещения и традиционным, в пределах 5%.

Таблица №1

Тип ПВИП, номер	$U_{зам}$, мВ	Резонансная частота, $F_{рез}$ кГц	$U_{вых1}$ на частоте $F = F_{рез}$, В	Примечание
1	2	3	4	5
ВДГ-103, №121	38	40	2,9	ПО «Виброприбор»
1	2	3	4	5
ВДГ-103, №108	39	39,3	2,75	ПО «Виброприбор»
ВДГ-105, №123	54	34	2,8	ПО «Виброприбор»
A25Д, № 039	36	30	2,55	ЗАО «Геоакустика»
A25Д №030	32	32	2,8	ЗАО «Геоакустика»
A25Д №008	36	29,8	2,25	ЗАО «Геоакустика»
A25Д №014	38	30	2,0	ЗАО «Геоакустика»
A25Д №033	38	30	2,3	ЗАО «Геоакустика»
ВДГ-105 №44	52	33,5	1,9	ПО «Виброприбор»
4371 «Б и К»	64	50	1,6	Фирма «Брюль и Кьер», Дания

Литература.

1. МИ 1873-88. Виброметры с пьезоэлектрическими и индукционными преобразователями. Методика поверки. Методические указания. Изд. Стандартов. М., 1990, 19 с.
2. Галкевич В.А. и др. Метрологическое обеспечение приборов контроля вибрации насосно-силового оборудования. Приложение к журналу «Трубопроводный транспорт нефти» №9, 2000 г., с 28-29.
3. Доля В.К., Крамаров Ю.А. Градуировка виброприемников по измерению электрического импеданса. Измерительная техника, 1987, №6, с. 34-35.
4. Тимофеев В.М. Погрешность определения амплитудно-частотных характеристик пьезоэлектрических преобразователей при электрическом возбуждении. 1980, с. 84-88.
5. Аверкин В.В. и др. О метрологическом обеспечении вибродиагностических комплексов. В сб. «Безопасность жизнедеятельности в Сибири и на Крайнем Севере. Материалы первой межгосударственной конференции. Тюмень, 13-14 мая, 1992 г., с 56.
6. Калибратор акселерометров типа 4291 . Инструкция по эксплуатации. Фирма «Брюль и Кьер», с 16-18.

|