

УДК531.7.08:534.1

DOI 10.52167/1609-1817-2023-124-1-274-282

М.А.Джаманбаев, Н.Б.Жұмахан, Е.С.Ильясов

Алматинский технологический университет

E-mail: nurzhan_14_95@mail.ru

РАСШИРЕНИЕ ПРЕДЕЛОВ ИЗМЕРЕНИЯ ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ

Аннотация. На практике приходится иметь дело с измерением больших перемещений, в частности амплитуды колебаний проводов воздушных линий электропередачи. Такие колебания возникают при ветре и обледенении проводов (пляска проводов). Для этой цели, желательно использовать измерительное устройство не сложной конструкции и не требующее высокой точности измерения. Таковым является потенциометрический датчик линейного перемещения.

Применение потенциометрического датчика для измерения амплитуды пляски проводов, которые составляют более метра, ограничено диапазоном перемещения скользящего контакта по реохорду датчика. Поэтому, определенные задачи могут быть поставлены в плоскости расширения диапазона измерения потенциометрического датчика.

В статье приведены результаты исследования по расширению пределов измерений потенциометрических датчиков линейного перемещения. Расширение пределов измерения датчика осуществляется путем ввода передаточного механизма между потенциометрическим датчиком и колебательной системой (провода воздушной линии электропередачи). Задача исследования, в этом случае, заключается в установлении взаимосвязи между параметрами колебательного процесса и конструктивными характеристиками измерительного устройства.

Предлагаемое измерительное устройство предназначено для измерения существенных линейных перемещений, а также параметров больших колебаний.

Ключевые слова. Потенциометрические датчики, параметры колебания, измерительное устройство, конструктивные параметры, расширение предела измерения, передаточный механизм, условие устойчивой работы.

Введение.

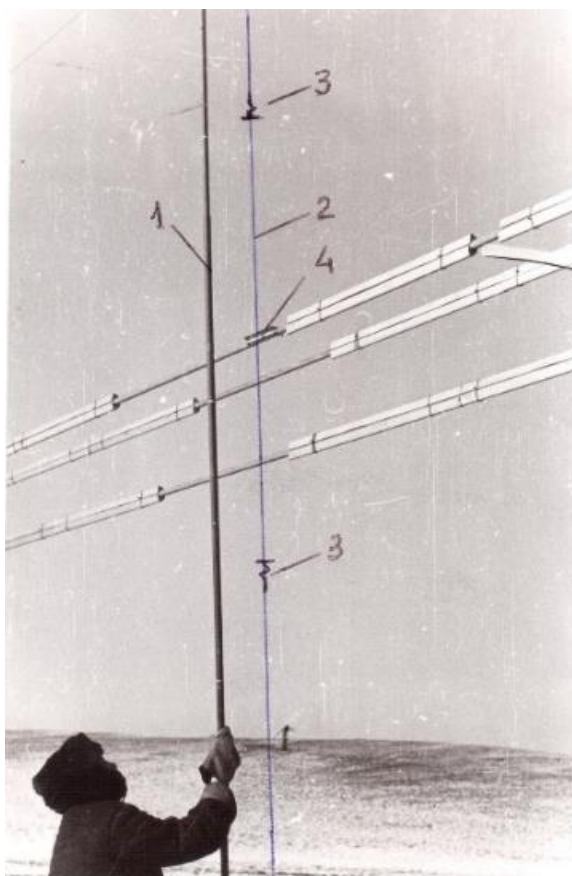
При ветре и отложении льда на проводах воздушных линий электропередач наблюдаются механические колебания, характеризующиеся сравнительно низкой частотой и значительной амплитудой. Эти колебания получили название «пляски» проводов. Последствиями пляски проводов могут быть: оплавления и пережог проводов, повреждения и поломка опор, гирлянд изоляторов и других элементов воздушной линии. Поэтому теоретические и экспериментальные исследования поведения обледенелых проводов воздушных линий при ветре и гололеде, являются одним из актуальных задач сегодняшнего дня.

При определении задач экспериментальных исследований необходимо учитывать, что пляска проводов на действующих воздушных линиях наблюдается редко, поэтому для проверки результатов теоретических расчетов по оценке параметров пляски и эффективности гасителей, могут быть с успехом использованы опытные участки линий. Пляска на таких моделях возбуждается при естественном ветре путем подвески на провода специальных обтекателей, предназначенных для имитации ледяного осадка (рисунок 1). Такие опытные полигоны в свое время были построены в странах ближнего

зарубежья (в ряде регионов Российской Федерации и Киргизстана), а также в Казахстана вблизи ст. Чокпар (испытательный полигон Казахского научно-исследовательского института Энергетики (КазНИИЭ) им. академика Ш.Ч. Чокина).

Одной из целей экспериментальных исследований, является измерения параметров искусственной пляски проводов. Для этой цели, изначально, было использовано простейшее измерительное приспособление, изготовленное в КазНИИЭ (рисунок 1). Приспособление состоит из легкой трубы 1, на которой закреплена нерастяжимая нить 2 с двумя бегунками 3. Принцип работы заключается в следующем.

В процессе пляски уголок 4, увлекает бегунок 3 по направлению движения провода. В установившемся режиме, расстояние между бегунками, определяет измеряемую величину размаха колебания. Однако данное измерительное приспособление не фиксирует величину перемещения провода от нейтрального положения вниз и вверх по отдельности (амплитуды колебаний), что является недостатком данного приспособления. В связи с этим возникает необходимость применения более совершенных приспособлений, измеряющие параметры пляски (амплитуды, частоты, скорости и ускорения) во времени.



1 – легкая алюминиевая труба, 2 – нерастяжимая нить, 3 – бегунок, 4 –уголок для захвата бегунка (жестко закреплен на проводе).

Рисунок 1 - Приспособление для ручного измерения размаха пляски расщепленной фазы из 3-х проводов в пучности полувольт

В качестве такого приспособления может быть применен потенциометрический датчик с двумя дифференцирующими контурами (рисунок 2). Такая схема предназначена для преобразования механического перемещения в электрический сигнал. [5,6]

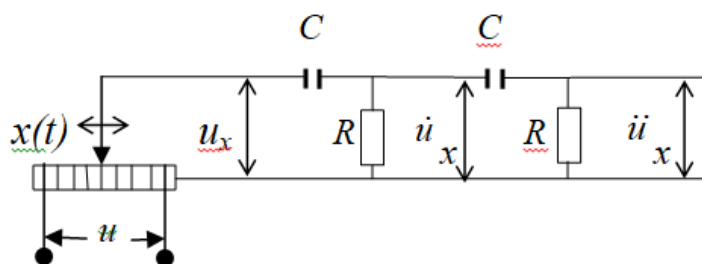
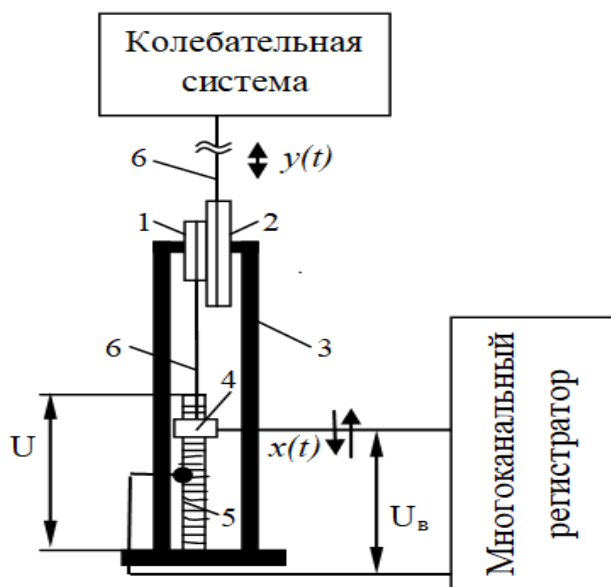


Рисунок 2 - Схема датчика ускорения с двумя дифференцирующими контурами. u – источник постоянного напряжения, C – емкость, R – сопротивления, $x(t)$ – линейное перемещение, \dot{i}_x – скорость, \ddot{i}_x – ускорение

Применение данной схемы для измерения амплитуды пляски проводов, которое составляют более метра, ограничено диапазоном перемещения скользящего контакта по реохорду датчика. Поэтому, возникает необходимость расширения диапазона измерения потенциометрического датчика.

Таким образом, целью данной статьи является расширение предела измерения потенциометрического датчика линейного перемещения, в результате которого появится возможность более эффективно проводить экспериментальные исследования по изучению явлений пляски проводов и работоспособности различных типов гасителей. Для достижения цели, в измерительную схему вводится передаточный механизм. Передаточный механизм выполнен в виде шкивов с разными радиусами. Задача исследования, в этом случае, заключается в определении расчетным путем конструктивных параметров измерительного устройства, обеспечивающих устойчивую работу измерительного устройства. Схема измерительного устройства показана на рисунке 3.



1- шкиф с маленьким радиусом; 2- шкиф с большим радиусом; 3- рама; 4- ползунок (массивный скользящий контакт); 5-реохорд; 6-нерастяжимая нить; $y(t)$ -координатная функция входного колебания (измеряемая величина); $x(t)$ - координатная функция выходного колебания; U -источник питания (батарейка); U_v – преобразованная выходная величина (в виде напряжения).

Рисунок 3 - Схема измерительного устройства

Материалы и методы.

Методика расчета конструктивных параметров измерительного устройства.
Для устойчивой работы измерительной системы, необходимо выполнение условия натянутости нерастяжимой нити, связывающее колебательную систему с массивным подвижным контактом (ползунком) в процессе колебания. Эти условия могут нарушаться, если имеет место следующее неравенство

$$\dot{y}(t) > \dot{x}(t), \quad (1)$$

где $\dot{y}(t)$ – производная от функции $y(t)$, определяющая скорость перемещения нерастяжимой нити (скорость колебательного движения);

$\dot{x}(t)$ – производная от функции $x(t)$, определяющая скорость перемещения ползунка.

Поскольку величина $\dot{x}(t)$ пропорциональна массе, то массу ползунка необходимо выбирать исходя из условия

$$\dot{y}(t) = \dot{x}(t), \quad (2)$$

а необходимая длина реохорда определяется исходя из передаточного числа k , определяемого отношением радиуса шкивов

$$k = \frac{R}{r}, \quad k > 1, \quad (3)$$

где R – радиус большего шкива, r – радиус маленького шкива.

При расчете предполагаем, что колебательный процесс в системе подчиняется гармоническому закону

$$y(t) = A \sin \omega t, \quad (4)$$

где A – амплитуда колебания; ω – круговая частота.

В этом случае скорость колебательного движения определяется согласно формуле:

$$\dot{y}(t) = A \omega \cos \omega t. \quad (5)$$

Для определения скорости перемещения ползунка составляем дифференциальное уравнение для системы «шкиф – ползунок» [7]. При этом пренебрегаем трениями в различных узлах механической части измерительного устройства

$$(J_r + J_R) \ddot{\varphi}(t) = mgr, \quad (6)$$

где $\ddot{\varphi}(t)$ – ускорение углового движения шкифов;

J_r, J_R – массовые моменты инерций шкифов соответствующих радиусов (r и R);

m – масса скользящего контакта;

g – ускорение силы тяжести.

Массовые моменты инерции шкифов определяются соответствующими формулами:

$$J_r = \frac{m_r r^2}{2}; \quad J_R = \frac{m_R R^2}{2}, \quad (7)$$

где m_r, m_R – массы шкифов соответствующих радиусов.

Решив дифференциальное уравнение (6) относительно угловой скорости шкифов, получим

$$\dot{\varphi}(t) = \frac{2mgr}{r^2m_r + R^2m_R} t + C.$$

Частное решение при условии $\dot{\varphi}(0) = 0$ имеет вид:

$$\dot{\varphi}(t) = \frac{2mgr}{r^2m_r + R^2m_R} t. \quad (8)$$

Учитывая соотношения между угловой и линейной скоростью

$$\dot{\varphi}(t) = r^{-1} \dot{x}(t) \quad (9)$$

находим искомую линейную скорость движения ползунка

$$\dot{x}(t) = \frac{2mgr^2}{r^2m_r + R^2m_R} t. \quad (10)$$

Согласно условию (2), приравниваем правые части выражений (5) и (10)

$$A\omega \cos \omega t = \frac{2mgr^2}{r^2m_r + R^2m_R} t.$$

Решив относительно искомой массы ползунка, получим

$$m = \frac{A\omega \cos \omega t (r^2m_r + R^2m_R)}{2gr^2t}.$$

Необходимая масса выбирается исходя из максимальной скорости перемещения нерастяжимой нити. Максимум скорости достигается при условии $\cos \omega t = 1$, откуда $t = 2\pi/\omega$. С учетом этого, расчетная формула для массы преобразуется к виду

$$m = \frac{A\omega^2 (r^2m_r + R^2m_R)}{4g\pi^2}. \quad (11)$$

Массу шкифов выразим через объемные плотности материала следующим образом

$$m_r = \rho\pi r^2 h; \quad m_R = \rho\pi R^2 h; \quad (12)$$

где ρ – объемная плотность материала шкифа; h – толщина шкифа.

С учетом (12), расчетная формула (11) преобразуется к виду (при преобразовании учтена формула (3))

$$m = \frac{\rho hr^2 A\omega^2 (1 + k^4)}{4g}. \quad (13)$$

Рабочая длина реохорда L определяется согласно формуле:

$$L = \frac{2A}{k}. \quad (14)$$

Таким образом, масса скользящего контакта при постоянной амплитуде и частоте колебаний (независимые параметры), зависит от объемной плотности и линейных размеров шкифа. Поэтому шкиф необходимо изготавливать, по возможности, из легких и в то же время прочных материалов.

Недостатком данного измерительного устройства является то, что введенные дополнительные элементы (шкиф и ползунок) в измерительное устройство, могут оказать некоторые влияния на колебательный процесс, следовательно на результат измерения. Если энергия в колебательной системе будет намного больше накопленной энергии измерительного устройства, то влиянием на колебательный процесс дополнительных элементов можно пренебречь. Это условие можно представить следующим неравенством

$$M \gg \frac{\rho h r^2 A \omega^2 (1 + k^4)}{4g} \quad (15)$$

Например, приведенная масса провода в пролете воздушной линии электропередачи, определяется согласно формуле [9]

$$M = \frac{\rho_n \ell}{2}, \quad (16)$$

где ρ_n - линейная плотность провода; ℓ - длина пролета.

Результаты и обсуждение.

В качестве примера рассматривается низкочастотное колебание провода в пролете с частотой $\omega=2$ рад/с и с амплитудой соответственно $A=0,5$ м и $A=1,0$ м.

Исходные данные для расчета: материал шкифа – органическое стекло с объемной плотностью $\rho=1200$ кг/м³ [8], толщина шкифа $h=0,01$ м. Расчеты выполнены для $r=0,05$ м.

Результаты выполненных расчетов приведены на рисунках 3 и 4.

Данные рисунка 4 показывают, что увеличение передаточного коэффициента приводит к увеличению массы скользящего контакта.

Данные рисунка 5 показывают, что с увеличением передаточного коэффициента уменьшается необходимая рабочая длина реохорда.

Таким образом, при уменьшении массы скользящего момента, уменьшается коэффициент передачи и в то же время, увеличивается рабочая длина реохорда, что нежелательно

Следовательно, при выборе этих параметров должны поддерживаться, в какой-то мере, уступки между ними. Чтобы максимально уменьшить массу скользящего контакта и измерительную длину реохорда, необходимо использовать легкие материалы для изготовления шкифов и, по возможности, уменьшить радиус шкифа, приводящий в движение скользящий контакт

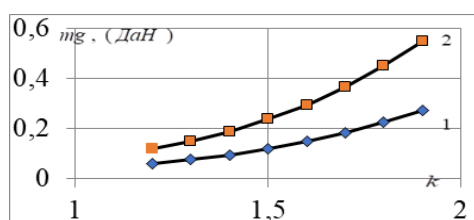


Рисунок 4 - Изменения веса ползунка в зависимости от передаточного коэффициента. Частота колебаний $\omega=2$ рад/с и амплитуды колебаний $A=0,5$ м (кривая 1), $A=1,0$ м (кривая 2)

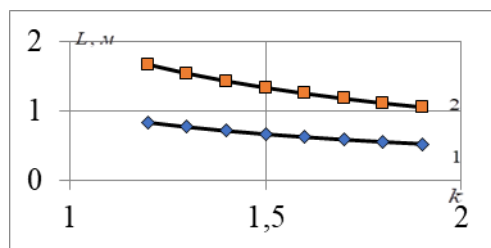


Рисунок 5 - Изменения рабочей длины реохорда в зависимости от передаточного коэффициента. Частота колебаний $\omega=2$ рад/с и амплитуды колебаний $A=0,5$ м (кривая 1), $A=1,0$ м (кривая 2)

Заключение.

В данной статье рассмотрены вопросы приспособления стандартных потенциометрических датчиков, предназначенных для измерения амплитуды больших колебаний. Решение проблемы осуществляется путем включения, между датчиком и колебательной системой, дополнительной конструкционной детали (передаточный механизм), который позволяет расширить предел измерения потенциометрического датчика.

Установлена аналитическая взаимосвязь между параметрами колебательного процесса (амплитуды и частоты) и конструктивными характеристиками передаточного механизма.

Предлагаемое измерительное устройство имеет простую конструкцию и невысокие расходы при изготовлении. Устройство может быть использовано при измерении больших линейных перемещений, не требующих высоких точностей измерений. В частности, при изучении пляски (автоколебания) проводов воздушных линий электропередач (при оценке эффективности гасителей пляски на участке линий). [9,10]

При включении в состав измерительного устройства дифференцирующих контуров представляется возможность также измерить скорости и ускорения колебательных процессов.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Потенциометрические датчики - Школа для электрика ... <http://electricalschool.info> > main > drugoe > 458-poten...
- [2] Потенциометрические датчики <https://portal.tpu.ru> > Tab1 > Tab4 > Rezistivnye
- [3] Потенциометрические датчики - Википедия <https://ru.wikipedia.org> > wiki > Потенциометрически...
- [4] Технические средства автоматизации и управления. Учебник для академического бакалавриата /под. общ. редакцией О.С. Колосова. - М.: Юрайт, 2017.- 289 стр.
- [5] Алиев Т. М., Тер-Хачатуров А. А. Измерительная техника. - М.: «Высшая школа», 1991.-384 стр.
- [6] Агейкин Д.И., Балашов М.А., Колосов С.П. и др. Руководства по проектированию элементов и систем автоматики. - М.: «Оборонгиз», 1959.-248 стр.
- [7] Светлицкий В.А., Стасенко И.В. Сборник задач по теории колебаний. Учебное пособие для вузов. - М.: «Высшая школа», 1973.-456 стр.
- [8] Енохович А.С. Справочник по физике и технике. Учебное пособие для учащихся. 2-е изд. перераб. и доп. - М.: Просвещение, 1983. - 255 стр.

[9] Бекметьев Р.М., Жақаев А.Ш., Ширинских Н.В. Пляска проводов воздушных линий электропередачи. - изд. «Наука» КазССР, Алма-ата, 1979.-153 стр.

[10] М.А. Djamanbayev, J.E. Karataeva, Z.A. Dzhumabekova Auto-oscillations of wires of high – voltage power lines (anchor span). - Вестник АТУ. Алматы, Выпуск 2(127). 2020 № 2. стр. 54 – 60

REFERENCES*

- [1] Potenciometricheskie datchiki - Shkola dlja jelektrika ...
<http://electricalschool.info> > main > drugoe > 458-poten...
- [2] Potenciometricheskie datchiki <https://portal.tpu.ru> > Tab1 > Tab4 > Rezistivnye
- [3] Potenciometricheskie datchiki - Vakipedija <https://ru.wikipedia.org> > wiki > Potenciometricheski...
- [4] Tehnicheskie sredstva avtomatizacii i upravlenija. Uchebnik dlja akademicheskogo bakalavriata /pod. obshh. redakciej O.S. Kolosova. - M.: Jurajt, 2017.- 289 str.
- [5] Aliev T. M., Ter-Hachaturov A. A. Izmeritel'naja tehnika. - M.: «Vysshaja shkola», 1991.-384 str.
- [6] Agejkin D.I., Balashov M.A., Kolosov S.P. i dr. Rukovodstva po proektirovaniju jelementov i sistem avtomatiki. - M.: «Oborongiz», 1959.-248 str.
- [7] Svetlickij V.A., Stasenko I.V. Sbornik zadach po teorii kolebanij. Uchebnoe posobie dlja vuzov. - M.: «Vysshaja shkola», 1973.-456 str.
- [8] Enohovich A.S. Spravochnik po fizike i tehnike. Uchebnoe posobie dlja uchashhihsja. 2-e izd. pererab. i dop. - M.: Prosveshhenie, 1983. - 255 str.
- [9] Bekmet'ev R.M., Zhakaev A.Sh., Shirinskih N.V. Pljaska provodov vozdushnyh linij jelektroperedachi. - izd. «Nauka» KazSSR, Alma-ata, 1979.-153 str.
- [10] М.А. Djamanbayev, J.E. Karataeva, Z.A. Dzhumabekova Auto-oscillations of wires of high – voltage power lines (anchor span). - Vestnik ATU. Almaty, Vypusk 2(127). 2020 № 2. str. 54 – 60

Мұратқали Джаманбаев, ф-м.ғ.к., доцент, Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан, dzhamanbaev@mail.ru

Нұржан Жұмахан, магистр, Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан, n.zhumahan@atu.edu.kz

Ержан Ильясов, магистр, Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан, ilyassov.yerjan@gmail.com

ПОТЕНЦИОМЕТРЛІК ДАТЧИКТЕРДІҢ ӨЛШЕУ ШЕКТЕРІН КЕҢЕЙТУ

Аңдатпа. Электр энергиясын тасымалдауда әуе желілері кеңінен қолданыс тапқан. Егерде желідегі сымдарға мұз қатқан жағдайда, желдің екпінімен сымдар тербеле бастайтыны белгілі. Мұндай тербелістерді сымдардың билеулері деп атайды. Сымдардың билеулері барысында желі элементтері зақымданады, қысқа тұйықталу орын алады. Мұндай келеңсіздіктерді болдырмас үшін сым билеулерін теориялық және тәжірибелік тұрғыда зерттеу қажет. Тәжірибелік зерттеу барысында сым тербелістері параметрлерін өлшеу қажеттілігі туындайды. Осы мақсатта конструкциясы күрделі емес және жоғары дәлдікті қажет етпейтін өлшеу құралдарын пайдаланған жөн. Мысал ретінде потенциометрлік датчиктерді алуға болады.

Осыған орай мақалада потенциометрлік датчиктердің өлшеу диапазоңдарын ұлғайту мәселесі қарастырылған. Бұл мәселе тербелмелі жүйе мен датчиктің араларына

берліс механизмін ендіру арқылы шеліледі. Мақалада біріліс механизмнің конструкциялық сипаттамалары және де тербеліс параметрлерінің араларындағы өзара байланыс аналитикалық түрде айқындалған.

Ұсынылған өлшеу құрылғысы елеулі сызықтық орын ауыстыруларды, сондай-ақ үлкен тербелістердің параметрлерін өлшеуде қолданыс табады.

Түйінді сөздер. Потенциометриялық датчиктер, тербеліс параметрлері, өлшеу құрылғысы, конструктивтік параметрлер, өлшеу шегінің ұзаруы, беріліс механизмі, тұрақты жұмыс жағдайы.

Muratkal Dzhamanbayev, candidate of physical and mathematical sciences, docent, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, dzhamanbaev@mail.ru

Nurzhan Zhumakhan, master, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, n.zhumahan@atu.edu.kz

Yerzhan Ilyasov, master, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, ilyassov.yerjan@gmail.com

EXTENDING MEASUREMENT LIMITS OF POTENTIOMETRIC SENSORS

Abstract. In practice, one has to deal with the measurement of large displacements, in particular, the amplitude of oscillations of the wires of overhead power lines. Such fluctuations occur when the wind and the deposition of ice on the wires (dance of wires). For this purpose, it is desirable to use measuring devices that are not complex in design and do not require high accuracy. This is the potentiometric linear displacement sensor.

The article presents the results of a study on expanding the measurement limits of potentiometric linear displacement sensors. The expansion of the measurement limits of the sensor is carried out by introducing a transmission mechanism between the potentiometric sensor and the oscillatory system (wires of overhead power lines). The task of the study in this case is to establish the relationship between the parameters of the oscillatory process and the design characteristics of the measuring device.

The proposed measuring device is designed to measure significant linear displacements, as well as parameters of large oscillations.

Keywords. Potentiometric sensors, oscillation parameters, measuring device, design parameters, extension of the measurement limit, transmission mechanism, stable operation condition.
