УДК 621.317.39

А.Ф. Белоусов[1], И.Ю. Филиппов[2], И.О. Яшков[2]

[1] *Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А.Н. Бекетова, Украина*
[2] *Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Украина*

РЕГИСТРАТОР-СИГНАЛИЗАТОР ВИБРАЦИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

В статье рассмотрены два варианта датчиков, преобразующих механические колебания в сигнал переменного напряжения с дальнейшим усилием и детектированием. При увеличении амплитуды вибраций выше установленного заранее уровня срабатывает компаратор, который включает аварийную сигнализацию или отключает электрическую машину от источника энергии.

Ключевые слова: механические вибрации, масса ротора, магнитоэлектрический и пьезоэлектрический датчики, амплитуда и частота вибраций, операционный усилитель, детектор, компаратор.

Введение

Быстро вращающиеся роторы электрических двигателей и генераторов вызывают механические вибрации как самих машин так и фундаментов на которых они установлены. Электрические машины изготавливаются горизонтальным и вертикальным расположением ротора. Амплитуда и частота вибраций зависит от скорости вращения ротора, нагрузки, неравномерности распределения массы ротора по его объему и степени износа опорных подшипников. два последний фактора определяются временем работы машины. Машины с горизонтальным ротором генерируют преимущественно вертикальную составляющую вибраций, а с вертикальным ротором – горизонтальную. Вибрации большой амплитуды вызывают аварии.

Анализ последних исследований и публикаций. Постановка задания и цель статьи

Анализируя материалы изложенные в научно-технической литературе [1-7], которые посвящены вопросам преобразования неэлектрических величин в электрические фирмами США, Германии и Японии, было установлено, что они занимаются преобразованиями: влажности, звуковых и магнитных полей, анализом газов, температуры, перемещения, давления, ИК-излучения и др., но преобразованиями механических вибраций в электрические сигналы не занимаются. На этом основании авторы разработали две разновидности таких датчиков.

Изложение основного материала

Для организации эффективного контроля и защиты необходим датчик-преобразователь механических колебаний в эквивалентный электрический сигнал. Такой датчик можно изготовить используя явление электромагнитной индукции или пьезоэлектрический эффект.

Рассмотрим устройство магнитоєлектрического датчика вибраций, который показан на рис. 1.

Внутри цилиндрической катушки 4, выполненной из диэлектрического материала, помещают постоянный магнит 1 массой m и подвешивают его на пружинах 3 жесткостью K так, что перемещаясь под действием вибраций не касался стенок. Определим линейную скорость з перемещения магнита, используя закон сохранения механической энергии:

$$E_M = \frac{k \cdot X_m^2}{2}; \quad E_K = \frac{m \cdot з^2}{2},$$

где X_m – амплитуда вибраций;

E_M, E_K – механическая и кинематическая энергии.

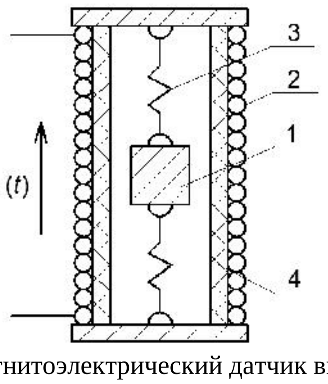

Рис. 1. Магнитоэлектрический датчик вибраций:
1 – магнит; 2 – обмотка катушки;
3 – демпфирующие пружины; 4 – катушка

Так как $\frac{k \cdot X_m^2}{2} = \frac{m \cdot з^2}{2}$,то линейная скорость равна

$$з = X_m\sqrt{\frac{k}{m}}\,.$$

Постоянный магнит создает внутри катушк магнитное поле с индукцией B, создающий магнитнй поток

$$\Phi = BS\cos\sim\,,$$

где S – площадь поперечного сечения катушки;

$\sim$ – угол между нормалью плоскости витка катушки и линиями вектора магнитной индукции.

Под давлением вибрации магнит начинает перемещаться вдоль витков W катушки 2, наводя в них э.д.с. согласно закону электромагнитной индукции

$$£ = -W\frac{d\Phi}{d\,t}\,.$$

Когда магнит находится в верхнем положении в катушке возникает магнитный поток

$$\Phi_1 = BS\cos\sim_1\,,$$

а в нижнем $\Phi_2 = BS\cos\sim_2$

$$\Delta\Phi_1 = \Phi_2 - \Phi_1 = BS\left(\cos\sim_2 - \cos\sim_1\right),$$

$\Delta t = \frac{l}{з}$ – время перемещения магнита из верхнего положения в нижнее,

где l – путь, который проходит магнит внутри катушки.

Следовательно

$$£ = -W\frac{з\,BS\left(\cos\sim_2 - \cos\sim_1\right)}{l}\,.$$

Более простой в изготовлении датчик можно выполнить, применив широко распространенные пьезоакустические излучатели типа ЗП, основой которых является диск с пьезокерамики, обладающий способностью преобразовать механические колебаний в электрические. Пьезокерамический диск с двух сторон покрыт серебренным токопроводящим слоем. Диаметр и толщина диска определяют частоту электрических колебаний, возникающих при нажатии на него. Конструкция датчика показана на рис. 2.

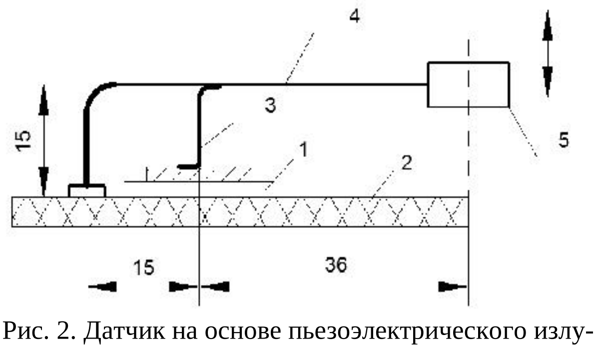

Рис. 2. Датчик на основе пьезоэлектрического излучателя

Излучатель 1 неподвижно крепят к плате 2 изготовленной из фольгированного стеклотекстолита толщиной 2 мм, а затем к открытому серебренному слою припаивают – образную опору 3 изготовленную из стального провода ∅ 1 мм. Второй конец опоры неподвижно соединяют с Г-образной консолью, короткий конец которой припаивают к плате, а на второй, более длинной, закрепляют груз массой 5 г.

Короткими монтажными проводами, помещенными в металлическую оплетку, подсоединяют преобразователя к электрической части, которая показана на рис. 3.

Пьезоэлектрический преобразователь BM1 подключается к неинвентирующему входу 3 операционного усилителя DA1 с высокоомным входом, а частотозависимая отрицательная обратная, образованная цепью R4, R5, C2 к инвертирующему входу 2. Отношение R4/R5 определяют коэффициент усиления DA1, он примерно равен 100. Делителем напряжения R1, R2 устанавливается начальное смещение по неинвентирующему входу DA1. Электрический сигнал с выхода 6 DA1 через конденсатор C3 подается на детектор VD2, VD3 работающий в режиме удвоения напряжения.

Выпрямленный и отфильтрованный сигнал U_0 через резистор R9 поступает на инвертирующий вход 4 операционного компаратора DA2. На неинвертирующий вход компаратора с делителя R10, R11, R12 подается сигнал задания уровня срабатывания $U_{ср}$.

Если амплитуда сигнала пропорциональная величине вибраций будет такой, что будет выполняться условие $U_0 < U_{ср}$, то на выходе 9 DA2 будет высокий потенциал, следовательно, транзистор VT1 будет закрыт и реле K1 будет находиться в выключенном состоянии. При этом сигнала тревоги не будет.

Увеличение вибраций по ранее указанным причинам приведет к тому, что $U_{ср} < U_0$. Это приведет к уменьшению напряжения на выходе 9 компаратора DA2, включению VT1 и срабатыванию K1. Замкнутся контакты K1.1 и сигнализатор выполнит включение защиты агрегата.

При необходимости детального исследования процесса возникновения вибраций при различных режимах работы электрической машины к гнездам XS1 и XS2 подсоединяют запоминающий осциллограф. На основании анализа полученных осциллограм принимают решения о дополнительной балансировки ротора или замене опорных подшипников.

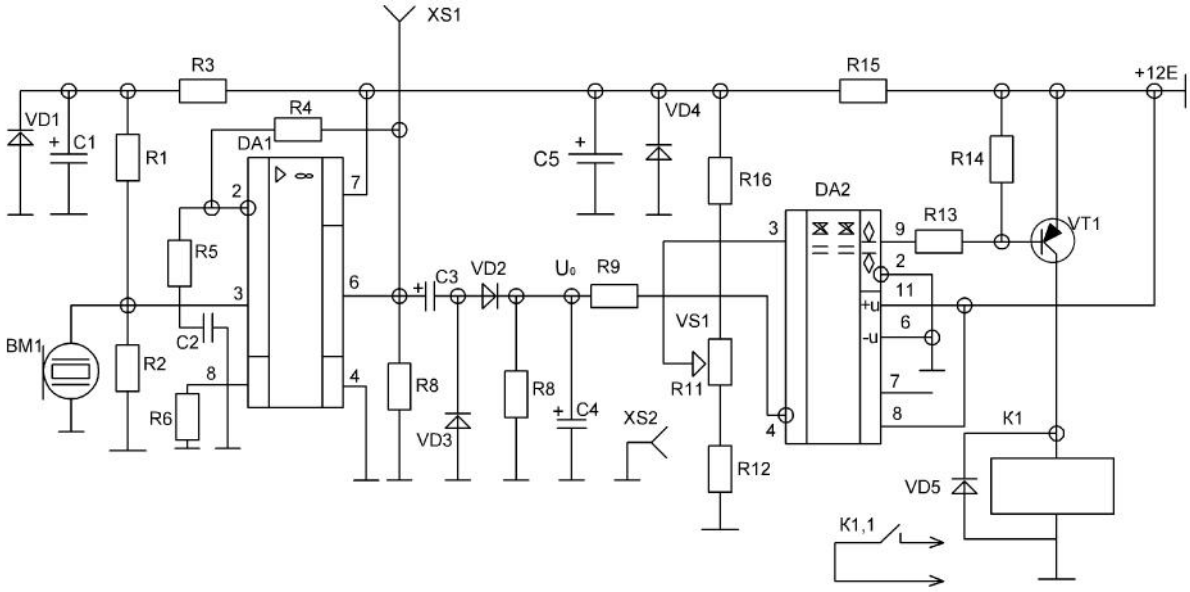

Рис. 3. Электрическая часть датчика вибраций

Литература

1. Бэрк Г. Справочное пособие по магнитным явлениям / Г. Бэрк; пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 384 с.

2. Виглев Г. Датчики / Г. Виглев; пер. с анг. – М.: Мир, 1989. – 190 с.

3. Туричин А.М. Электрические измерения неэлектрических величин / А.М. Туричин, Е.С. Новицкий, Е.С. Левшина / под ред. П.В. Новицкого. – Л.: Энергия, 1975. – 576 с.

4. Хоровиц П. Искусство схемотехники / П. Хоровиц, У. Хилл; пер. с англ. – 5-е изд, перераб. – М. : Мир, 1998. – 698 с.

5. Dibbern U. Magnetoresistive Sensoren and ihre Anwendung Industrie Elektrik u. Elektronik. – 28 Jg (1983), Nr. 6.

6. Bethe K. Zur Situation auf dem Sensor Markt. Regelungstechnische. – Praxis 26(1984), Heft 2. Seite 51.

7. Бэрк Г. Справочное пособие по магнитным явлениям / Г. Бэрк; пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 384 с.

References

1. Berk G. (1991). Reference manual on magnetic phenomena. 384.

2. Viglev G. (1989). Sensors. Mir 190 p.

3. Turichin A.M., Novitsky E.S., Levshina E.S. (1975) Electrical measurements of non-electrical quantities. 576.

4. Horovits P., Hill U. (1998) The art of circuitry. 698.

5. Dibbern U. (1983). Magnetoresistive Sensoren and ihre Anwendung Industrie Elektrik u. Elektronik. 28 Jg (1983), 6.

6. Bethe K. (1984). Zur Situation auf dem Sensor Markt. Regelungstechnische. 26(1984), Heft 2. Seite 51.

7. Burke G. (1991). Handbook on magnetic phenomena; Per. With the English. - Moscow: Energoatomizdat, 1991. 384.

Рецензент: СОСКОВ Анатолий Георгиевич
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедры теоретической и общей электротехники Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А.Н. Бекетова.

Автор: БЕЛОУСОВ Александр Федорович,
кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической и общей электротехники, Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А.Н. Бекетова
ORCID ID - orcid.org/0000-0003-3791-0561
E-mail – unf@ukr.net

Автор: ФИЛЛИПОВ Илья Юрьевич
студент, Харьковский национальный университет радиоэлектроники
E-mail – unf@ukr.net

Автор: ЯШКОВ Игорь Олегович,
ассистент, Харьковский национальный университет радиоэлектроники
E-mail – unf@ukr.net

РЕГІСТРАТОР-СИГНАЛІЗАТОР ВІБРАЦІЙ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН

О.Ф. Білоусов[1], І.Ю. Філіпов[2], І.О. Яшков[2]

[1] Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна
[2] Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна

В статті розглянуті два варіанта датчиків, що перетворюють механічні коливання в сигнал змінної напруги з подальшим підсиленням та детектуванням. При збільшенні вібрацій більше встановленого рівня включається компаратор, який включає аварійну сигналізацію і відключає електричну машину від джерела енергії.

Ключові слова: механічні вібрації, маса ротора, магнітоелектричний та п'єзоелектричний підсилювач, амплітуда та частота вібрацій, операційний підсилювач, детектор, компаратор.

REHYSTRATOR-ELECTRICAL MACHINERY VIBRATION ALARM

A.F. Belousov[1], I.O. Yashkov[2], I.Yu. Filippov[2]

[1] O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine
[2] Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine

Mechanical vibrations of electrical machines occur during operation and start-up. Their magnitude and frequency are due to the uneven distribution of the rotor mass by volume, and when the machine is operated for a long time, the wear of the bearing bearings continues. To prevent accidents of machines and bearing foundations, it is necessary to control the amplitude and frequency of vibrations by means of sensors that convert mechanical vibrations into electrical signals that can be registered and, if necessary, build on them a protection that, when vibrations exceed a specified norm, disconnects from the energy source.

In the article two types of sensors are considered: magnetoelectric, working on the basis of the law of electromagnetic induction and direct piezoelectric effect. In the first sensor inside the hollow coil with a large number of turns, a cylindrical permanent magnet is suspended on the damping springs, which under the action of vibrations moves along the turns, finding in them an e.d.s. to $e=-W\frac{³BS(\cos\sim_1-\cos\sim_2)}{l}$*, where W – is the number of turns of the coil;* ³ *– linear velocity of magnet motion; B – is the magnitude of the magnetic induction; S is the cross-sectional area of the coil;* $\sim_1$ *and* $\sim_2$ *– the angles between the normal of the plane of the coil winding and the lines of the vector of magnetic induction.*

The other sensor uses a piezoceramic plate rigidly fixed on the base of the plate. On the other hand, the plate is connected to the console. At one end of the console is suspended a load of mass m. Mechanical vibrations force the load to move up and down. The other end of the console is connected to the back of the piezoceramic plate. This design allows you to act on the plate by squeezing and stretching, resulting in an electrical signal. The signal power is very low, so an amplifier with a large input resistance is installed at its output.

The voltage at the input of the amplifier will be equal to $U_{вх}=\frac{d_{П}F}{C_{вх}+C_0}$*, where* $d_{П}$ *– the proportionality coefficient, called the piezomodule; F – is the force acting on the plate;* C_0 *– is the capacitance between the faces of the converter;* $C_{вх}$ *– the capacity of the outgoing cable and the input capacitance of the amplifier.*

The sensor inputs are connected to the DA1 operational amplifier with a frequency-dependent negative feedback with a gain of 100. The amplified signal from the DA1 output through the capacitor C3 is applied to the detector VD2, VD3 operating in the voltage doubling mode. The rectified and filtered signal is fed to the comparator input DA2 and compared with the reference signal taken from the divider R10, R11, R12.

If the amplitude of the signal proportional to the magnitude of the vibration is such that condition $U_0<U_{ср}$ *is fulfilled, then the output of DA2 will have a high potential, therefore, the transistor VT1 will be closed and relay K1 will be off. There will be no alarm. Excessive vibration increase leads to the fact that* $U_{ср}<U_0$*, which leads to the unlocking of VT1, and consequently to the activation of protection.*

Keywords: mechanical vibration, the mass of the rotor magneto and piezoelectric amplifier, the amplitude and frequency of vibration, operational amplifier, detector, comparator.