

УДК 621.3.049.77

ИССЛЕДОВАНИЕ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕРКОНОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ДАТЧИКАХ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ВАЛА

© Д.Г. Грязин, В.Л. Ткалич

Санкт-Петербургский Государственный институт точной механики и оптики
(Технический Университет)

Поступила в редакцию в марте 1999 г.

Предлагаются результаты теоретических исследований частотных характеристик герконов, используемых в датчиках скорости вращения вала. Рассматривается математическая модель, включающая нелинейные гидродинамические коэффициенты. Сделаны рекомендации по определению этих коэффициентов. Изложенный материал может служить основой для инженерных расчётов герконных датчиков скорости потока жидкости или газа.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в устройствах автоматики широкое распространение получили герконы. К их достоинствам относятся простота конструкции и высокая эксплуатационная надёжность. Эти элементы используются не только как органы управления в системах автоматики, но и как чувствительные преобразователи датчиков для измерения механических величин, например, датчиков скорости вращения вала. К числу приборов, имеющих герконы в составе датчиков следует отнести анеморумбометр М62 [1], а также вертушечный волномерный буй [2], в которых измеряемая скорость потока воздуха или воды, при помощи крыльчатки, преобразуется в скорость вращения вала. Принципиальная схема указанного датчика представлена на рис. 1.

Датчик состоит из крыльчатки 1, постоянного магнита 2 и герконов 3, импульсы которых поступают на счётчики вычислительного устройства. В указанном датчике, информацию о направлении вращения крыльчатки получают в зависимости от последовательности срабатывания герконов. Количество импульсов от каждого геркона, отнесённое к единице времени, определяет скорость вращения крыльчатки и соответствующую ей скорость потока газа или жидкости.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Очевидно, что увеличение чувствительности датчика приводит к увеличению числа оборотов крыльчатки, что выдвигает требования к обеспечению необходимых динамических характеристик

самих герконов. По виду внутренней среды (наполнителя) герметизированного баллона герконы подразделяются на вакуумные, газонаполненные и жидкосмачиваемые (ртутные). Вакуумные герконы имеют худшие электрические и механические характеристики, по сравнению с газонаполненными и ртутными элементами. Внутреннее давление в газонаполненных герконах может достигать до 10^5 Па [3], в связи с чем наполнитель приобретает значительную вязкость. В качестве наполнителя могут использоваться инертные газы, азот, водород и различные газовые смеси.

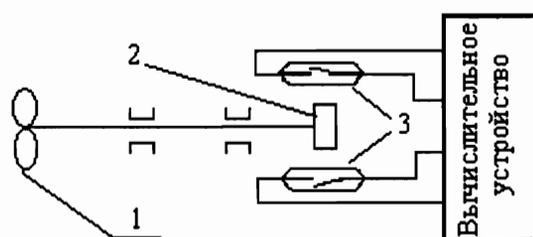


Рис. 1. Датчик скорости вращения вала на основе герконов. 1 - крыльчатка, 2 - вращающийся магнит, 3 - герконы

Каждый из токоподводов геркона представляет собой консольную балку 1 (рис.2), называемую контакт-деталью, на конце которой расположена контактная зона 2. Замыкание контакт-деталей происходит под действием силы постоянного магнита, вращающегося на валу датчика.

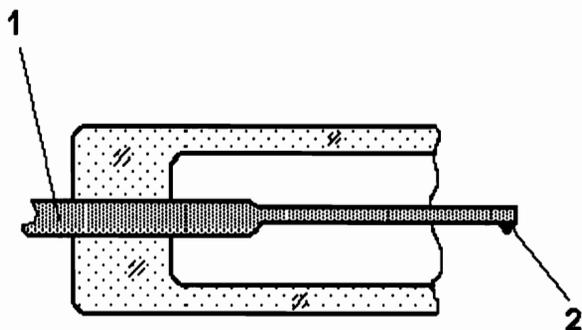


Рис. 2. Контакт геркона.

1 – контакт-деталь геркона, 2 – контактная зона

Колебания каждой контакт-детали могут быть описаны линейным дифференциальным уравнением второго порядка

$$(m + \lambda)\ddot{\zeta} + W\dot{\zeta} + C\zeta = F_T \cos \omega t, \quad (1)$$

где m – масса той части контакт-детали геркона, которая находится внутри колбы, λ – присоединённая масса, обусловленная плотностью газа или жидкости, находящихся внутри колбы геркона, ζ – перемещение конца контакта, C – угловая жёсткость пружины контакт-детали, W – коэффициент

сопротивления, $F_T = \frac{\Phi^2}{2\mu_0 S_B}$ – тяговое усилие,

развиваемое однородным магнитным полем в рабочем зазоре, Φ – магнитный поток в рабочем зазоре, S_B – площадь поперечного сечения рабочего зазора, $\mu_0 = 1,256 \cdot 10^{-6}$ Гн/м – магнитная постоянная.

Решение уравнения (1) ищется в форме $\zeta(t) = a \sin \omega t + b \cos \omega t$. Выражение для амплитуды ζ_0 перемещения конца контакт-детали геркона имеет вид:

$$\zeta_0 = \sqrt{a^2 + b^2},$$

где:

$$\begin{cases} a = \frac{DA\omega}{A^2\omega^2 + (B - \omega^2)^2}, \\ b = \frac{D(B - \omega^2)}{A^2\omega^2 + (B - \omega^2)^2}, \end{cases}$$

$$A = \frac{W}{m + \lambda}, \quad B = \frac{C}{m + \lambda}, \quad D = \frac{F_T}{m + \lambda}.$$

В том случае, если контакты геркона находятся в вязкой среде, то сопротивление при колебаниях контакт-детали будет находиться в квадратичной зависимости от скорости [4], тогда значение W может быть рассчитано по формуле

$$W = \rho S V^2 C_K, \quad (2)$$

где ρ – плотность жидкости или газа, S – площадь контакт-детали геркона, V – абсолютное значение средней скорости конца контакт-детали за период колебания, C_K – квадратичный коэффициент сопротивления.

Для расчёта W по формуле (2) необходимо иметь значения коэффициента C_K , полученные экспериментально. В том случае, если эти значения отсутствуют, то для определения W следует квадратичную силу аппроксимировать линейной. Для этого примем допущение о том, что действительная нелинейная сила сопротивления и эквивалентная ей линейная демпфирующая сила излучают одинаковое количество энергии за одно колебание. Тогда коэффициент W может быть определён из выражения:

$$W = \frac{4}{3\pi} \rho C S r \omega,$$

где r – амплитуда колебаний, C – линейный коэффициент сопротивления.

Значение C при значительном удалении контактов от стенок составит 0,77 [5], в том случае, когда колебания происходят вблизи стенок коэффициент следует увеличить в 1,5 раза по аналогии с задачей, рассмотренной в [6]. В том случае, если плотность вещества, заполняющего колбу геркона, близка к плотности воды, то для расчётов можно воспользоваться значениями W , приведёнными в работе [7]. Величина присоединённой массы может быть найдена из справочника [8], где приводится выражение для расчёта λ консольных пластин, там же даются рекомендации для введения поправок в случае, если колебания тел происходят вблизи жёстких стенок сосуда.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБСУЖДЕНИЕ

Предложенная математическая модель и сделанные рекомендации позволяют выполнить ориентировочный инженерный расчёт амплитудно-

частотных характеристик герконов, используемых в датчиках скорости вращения вала. В том случае, если колба геркона заполнена жидкостью, или газом под большим давлением, то в расчёте необходимо учитывать соответствующие присоединённую массу и силу сопротивления, если же колба заполнена газом при малом давлении (до 10^{-2} Па.) или вакуумирована, то указанными составляющими уравнения (1) при расчёте можно пренебречь.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Протопопов Н.Г.* Проектирование ветроизмерительных приборов. 1976. Л. Гидрометеиздат 192 с.
2. *Гирс И.В., Русецкий А.А., Нецветаев Ю.А.* Испытания мореходных качеств судов. 1977. Л. Судостроение. 191 с.
3. *Харазов К.И.* Устройства автоматики с магнитоуправляемыми контактами. 1990. М. Энергоатомиздат. 255 с.
4. *Девнин С.И.* Аэрогидромеханика плохообтекаемых конструкций. Справочник. 1983. Л. Судостроение. 331 с.
5. *Каменков Г.В.* Избранные труды. Т.1. 1971. М. Наука. 258 с.
6. *Черказьянов В.Г.* Гидродинамические реакции, измеренные на колеблющемся крыле в покоящейся жидкости. Препринт. 1987. Сибирское отд. АН СССР. Новосибирск. 20 с.
7. *Береговенко А.Ю.* Поперечные колебания стержней с учётом гидродинамического демпфирования. Препринт. 1988. Институт проблем прочности АН УССР. Киев. 26 с.
8. *Короткин А.И.* Присоединённые массы судна. Справочник. 1986. Л. Судостроение 312 с.

STUDYING AMPLITUDE-FREQUENCY CHARACTERISTICS OF HERMETIC CONTACTS USED IN SPEED SENSORS OF ROTATING SHAFTS

D.G. Gryazin, V.L. Tkalich

St. Petersburg State Institute of Fine Mechanics and Optics (Technical University)

The results from theoretical studies of the hermetic contact frequency response are given. A mathematical model including nonlinear hydrodynamic factors is considered. This can be used as a basis for engineering calculations of hermetic contacts-based flowrate sensors for liquids and gases.