Г.В.ДАВЫДОВ[1], А.В.ПОТАПОВИЧ[2], В.А.ПОПОВ[3], Д.П.МАРКЕВИЧ[4]

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ АНАЛОГИИ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ВИБРОУСТОЙЧИВОСТИ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

[1]Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», г. Минск, Республика Беларусь, ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук, доцент

[2]Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», г. Минск, Республика Беларусь, заведующий научно-исследовательской лабораторией

[3]Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», г. Минск, Республика Беларусь, старший научный сотрудник

[4]Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», г. Минск, Республика Беларусь, студент

Устойчивость радиотехнических устройств к воздействию вибрации – это способность радиотехнических устройств сохранять свои параметры в пределах допусков и работоспособность в момент воздействия вибраций и после воздействия. Механизмы потери устойчивости радиотехнических систем к воздействию вибрации (виброустойчивости) в основном связаны с появлением виброшумов в электронных компонентах радиотехнических устройств, обусловленных пьезорезистивным эффектом, пьезочувствительностью керамических конденсаторов, микрофонным эффектом, изменением емкости между элементами конструкций, тензорезистивным эффектом, электромагнитными наводками. Оценка виброустойчивости радиотехнических устройств, содержащих большое число электронных компонентов, путем учета влияния вибраций на каждый электронный компонент и с применением метода синтеза практически не выполнимая задача. Так как большинство механизмов появления виброшумов проявляется при возбуждении резонансных колебаний в электронных компонентах, то представляется оценивать виброустойчивость по показателю изменения запасенной энергии резонансных колебаний электронных компонентов [1].

Для рассмотрения предлагаемого способа оценки виброустройчивости и его практической реализации будет использоваться метод электромеханических аналогий [2]. Суть метода заключается в установлении аналогий между электрическими параметрами колебательных контуров и механическими параметрами механических колебательных систем с сосредоточенными параметрами. Для описания резонансных явлений в электрических цепях в виде последовательного электрического колебательного контура параметрам напряжение U, индуктивность L, емкость C, сопротивление $R_Э$ ставиться в соответствие параметры механической колебательной системы с сосредоточенными параметрами силы F, массы M, упругости K, коэффициент вязкого сопротивления R_M. Дифференциальные уравнения для последовательного электрического контура и механической колебательной системы с сосредоточенными параметрами запишутся в виде

$$L\frac{d^2q}{dt^2}+R_Э\frac{dq}{dt}+\frac{1}{C}q=U\,, \tag{1}$$

где q – электрический заряд, t – время

$$M\frac{d^2x}{dt^2}+R_M\frac{dx}{dt}+\frac{1}{K}x=F\,, \tag{2}$$

где x – механическое смещение.

Умножив левую и правую часть дифференциального уравнения для механической колебательной системы с сосредоточенными параметрами на dx/dt получим

$$M\frac{d^2x}{dt^2}\cdot\frac{\mathrm{dx}}{\mathrm{dt}}+R_M\frac{dx}{dt}\cdot\frac{dx}{dt}+\frac{1}{K}x\cdot\frac{dx}{dt}=F\cdot\frac{dx}{dt}. \tag{3}$$

Проинтегрировав полученное выражение по времени на интервале от нуля до t_1 получим

$$\frac{1}{2}M\left(\left(\frac{dx}{dt}\right)^2_{t=t1}-\left(\frac{dx}{dt}\right)^2_{t=t0}\right)+\int_0^{t1}R_M\left(\frac{dx}{dt}\right)^2\cdot dt+\frac{1}{2}\cdot\frac{1}{K}\cdot\left(x^2_{t=t1}-x^2_{t=t0}\right)=\int_{x(t=0)}^{x(t=t1)}F\cdot dx. \tag{4}$$

Первое слагаемое правой части уравнения характеризует кинетическую энергию и при смещении X=0 оно имеет максимальное значение, а в тоже время третье слагаемое, характеризующее потенциальную энергию, равно нулю. Второе слагаемое, характеризует рассеяние энергии на сопротивления вязкого трения R_M. Правая часть уравнения характеризует работу, совершаемую внешней силой F. В случае гармонической внешней силы, работа за один период колебаний T будет равна

$$A_M=\int_0^T R_M\cdot\left(\frac{dx}{dt}\right)^2\cdot dt=\frac{1}{2}\cdot R_M\cdot V^2\cdot T \tag{5}$$

где V – амплитуда скорости.

Такое же преобразование можно выполнить и с уравнением (1) умножив его члены на множитель dq/dt и затем проинтегрировав на интервале времени от t=0 до t=t1.

По аналогии для электрического последовательного колебательного контура работа за один период равна

$$A_Э=\frac{1}{2}\cdot R_Э\cdot I^2\cdot T, \tag{6}$$

где I – амплитуда тока.

В случае вынужденных гармонических колебаний уравнение (2) после замены d/dt на jω запишется в виде

$$\left(j^2\cdot\omega^{2\cdot}\cdot M+j\cdot\omega\cdot R_M+\frac{1}{K}\right)\widetilde{x}=\widetilde{F}, \tag{7}$$

где ω – круговая частота гармонических колебаний, $\widetilde{x}$, $\widetilde{F}$ – комплексные величины.

Решение этого уравнения

$$j\cdot\omega\cdot\widetilde{x}=\frac{\widetilde{F}}{j\cdot\omega\cdot M+R+\dfrac{1}{j\cdot\omega\cdot K}}=\frac{\widetilde{F}}{\overline{Z}}, \tag{8}$$

где $\overline{Z}$ – волновое сопротивление контура.

Для радиотехнических устройств определение виброустойчивости выполняется в соответствии с [1] по формуле

$$K_V=\frac{|f|-m\cdot a_{\max}}{m\cdot a_{\max}}, \tag{9}$$

где K_V – коэффициент виброустойчивости, m – масса радиотехнического устройства, a_{max} – ускорение стола вибростенда, f – максимальное значение силы воздействия стола вибростенда на радиотехническое устройство на данной резонансной частоте.

Если предположить, что в радиотехническом устройстве нет механических резонансов в заданном диапазоне частот, то коэффициент виброустойчивости становится равным нулю. Коэффициент виброустойчивости показывает на сколько энергия, запасенная в колебательном элементе в момент резонанса, соотносится с энергией необходимой для поддержания колебаний радиотехнического устройства с заданным ускорением. Такой подход к оценке виброустойчивости радиотехнических устройств позволяет определить уровни энергии, запасаемой колеблющимися в резонансном режиме элементами конструкций и связать изменение электрических параметров испытываемого устройства с его прочностными и диссипативными характеристиками. Это позволяет более точно определить запас виброустойчивости, который имеет испытуемое устройство по отношению к определенному для группы однотипных устройств эталонному значению [1].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Давыдов Г.В. Способ испытания радиотехнических устройств на виброустойчивость // Г.В. Давыдов, В.Г. Латышев, Э.Г. Павлович, Ф.Д. Троян, Описание изобретения к авторскому свидетельству 1286919, опубл. 30.01.87, бюл. 9 4 (71), G01M7.

2. Скучик Е. Простые и сложные колебательные системы, пер. с англ., Москва, 1971, – 560 с.