Электрический резонанс как эквивалент механического

С.В. Бегишев (ЗАО "ЭТМС")

Показана возможность использования электрического колебательного контура для симуляции механического резонанса, возникающего при работе реального вибростенда.

Ключевые слова: виброиспытания, системы управления виброиспытаниями, резонанс, моделирование, симуляция.

С развитием технократического общества увеличивается спектр и масштабы производства товаров, предназначенных для транспортировки на большие расстояния и эксплуатации в сложных условиях. Эти изделия подвергаются высоким перепадам температуры, изменению влажности и давления, тряске при транспортировке, возможным ударам при падении и пр. Соответственно изделия могут выйти из строя под воздействием различных внешних факторов. Для проверки потребительских характеристик товаров разработаны системы испытаний на различные внешние воздействия: температуру, влажность, вибрацию и пр. Всякий новый товар народного потребления проходит через систему испытаний, а промышленные и военные изделия проходят более жесткий контроль. Поэтому с расширением масштабов производства потребность в испытательных установках, например для виброиспытаний, также будет расти.

Испытаниям на стойкость к различным видам вибрации подвергается множество изделий. Основные виды виброиспытаний – это воздействие синусоидального сигнала с изменяющейся частотой, широкополосная случайная вибрация и виброудар. Для автоматизации процесса виброиспытаний создаются специальные системы управления виброиспытаниями (СУВ). При проведении виброиспытаний синусоидальным сигналом с качанием частоты испытатели сталкиваются с явлением резонанса, причиной которого может быть и вибростенд, и крепежный стол, и испытуемый объект. То есть при плавном увеличении (или уменьшении) частоты сигнала СУВ амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) системы резко возрастает (или уменьшается – явление атнирезонанса), а потом уменьшается (увеличивается). Временной интервал, на котором происходят резонансные явления, краток, и СУВ может не успеть среагировать и уменьшить напряжение. Следствием этого может стать разрушение опытного образца или самого вибростенда. Вне зависимости от причин резонанса СУВ должна обеспечивать выполнение программы виброиспытаний с допустимыми отклонениями.

Поскольку СУВ создано немало, встает вопрос о сравнении характеристик этих систем.

Одна из таких характеристик – удержание сигнала в коридоре допуска (±6 дБ) для заданного профиля во время прохождения резонанса с высокой добротностью при испытаниях синусоидальным сигналом с качанием частоты. Для заключения о том, справится ли СУВ с внезапно встретившимися резонансами, необходимы испытания ее самой. Использование эталонного вибростенда для испытания СУВ по удержанию сигнала в коридоре допуска требует значительных материальных и организационных затрат: эталонный вибростенд или эталонное изделие. Эталонный вибростенд будет на порядок дороже обычных вибростендов, которые сами по себе недешевы. Эталонное изделие изготовить легче и дешевле, но различные вибростенды и переходные столы внесут свои искажения в любую идеальную резонансную АЧХ. Однако известен способ, позволяющий провести эти испытания с меньшими затратами и более качественно.

Все СУВ получают данные не напрямую от самого вибростенда, а от различных вибропреобразователей, которые преобразуют механические вибрации в электрические сигналы. Поэтому можно использовать электрический колебательный контур для симуляции резонанса. Этот способ существенно дешевле и проще в реализации, поскольку теоретическая база электрического резонанса хорошо изучена, соответствующие элементы дешевы и доступны, и никаких искажений АЧХ не будет.

На рис. 1 представлена электрическая принципиальная схема последовательного колебательного контура, состоящего из конденсатора, катушки индуктивности и резистора. Поскольку катушка индуктивности, конденсатор и соединительные провода обладают активным сопротивлением, то для достижения максимально возможной добротности от резистора можно отказаться, а в расчетах использовать измеренное соответствующими приборами значение сопротивления.

Определим резонансную частоту электрического колебательного контура:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}},$$

и добротность электрического колебательного контура:

$$Q = \frac{1}{R}\cdot\sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{U_{\max}}{U_0}.$$

В табл. 1 и 2 приведены результаты расчета резонансной частоты и добротности колебательного

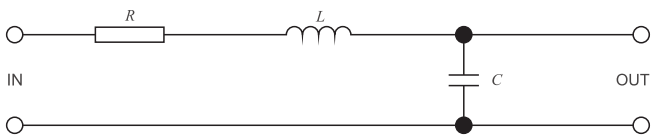

Рис. 1. Принципиальная электрическая схема последовательного колебательного контура

Таблица 1. Резонансные частоты колебательных контуров (Гц)

C, мкФ	L, мГн					
	10	12	15	18	20	22
0,10	5032,9	4594,4	4109,4	3751,3	3558,8	3393,2
0,22	3393,2	3097,5	2770,5	2529,1	2399,4	2287,7
0,33	2770,5	2529,1	2262,1	2065,0	1959,1	1867,9
0,47	2321,5	2119,2	1895,5	1730,4	1641,6	1565,2
0,56	2126,8	1941,5	1736,5	1585,2	1503,9	1433,9
0,68	1930,0	1761,9	1575,9	1438,6	1364,7	1301,2
1,00	1591,5	1452,9	1299,5	1186,3	1125,4	1073,0
1,50	1299,5	1186,3	1061,0	968,6	918,9	876,1
1,80	1186,3	1082,9	968,6	884,2	838,8	799,8
2,20	1073,0	979,5	876,1	799,8	758,7	723,4
2,70	968,6	884,2	790,8	721,9	684,9	653,0
3,30	876,1	799,8	715,3	653,0	619,5	590,7
3,90	805,9	735,7	658,0	600,7	569,9	543,3
4,70	734,1	670,2	599,4	547,2	519,1	494,9

Таблица 2. Добротность колебательного контура (при R = 1 Ом)

C, мкФ	L, мГн					
	10	12	15	18	20	22
0,10	5032,9	4594,4	4109,4	3751,3	3558,8	3393,2
0,22	3393,2	3097,5	2770,5	2529,1	2399,4	2287,7
0,33	2770,5	2529,1	2262,1	2065,0	1959,1	1867,9
0,47	2321,5	2119,2	1895,5	1730,4	1641,6	1565,2
0,56	2126,8	1941,5	1736,5	1585,2	1503,9	1433,9
0,68	1930,0	1761,9	1575,9	1438,6	1364,7	1301,2
1,00	1591,5	1452,9	1299,5	1186,3	1125,4	1073,0
1,50	1299,5	1186,3	1061,0	968,6	918,9	876,1
1,80	1186,3	1082,9	968,6	884,2	838,8	799,8
2,20	1073,0	979,5	876,1	799,8	758,7	723,4
2,70	968,6	884,2	790,8	721,9	684,9	653,0
3,30	876,1	799,8	715,3	653,0	619,5	590,7
3,90	805,9	735,7	658,0	600,7	569,9	543,3
4,70	734,1	670,2	599,4	547,2	519,1	494,9

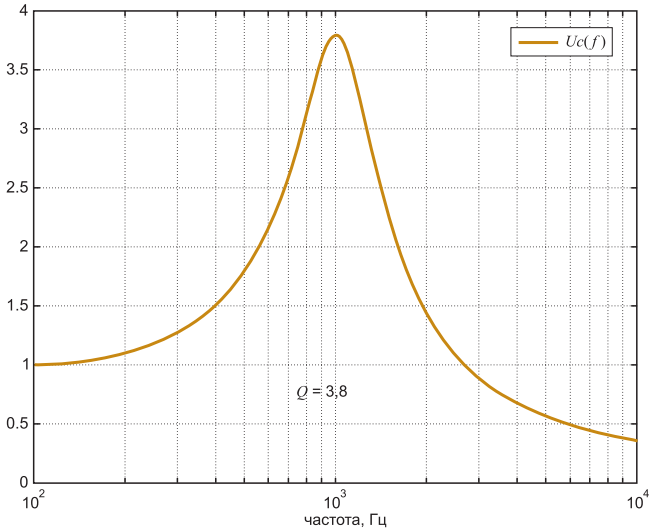

Рис. 2. График напряжения на конденсаторе с резонансом

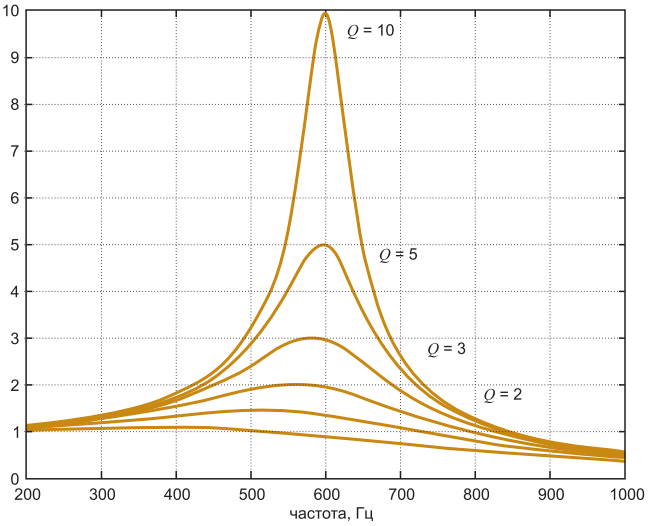

Рис. 3. Графики резонансов с различной добротностью

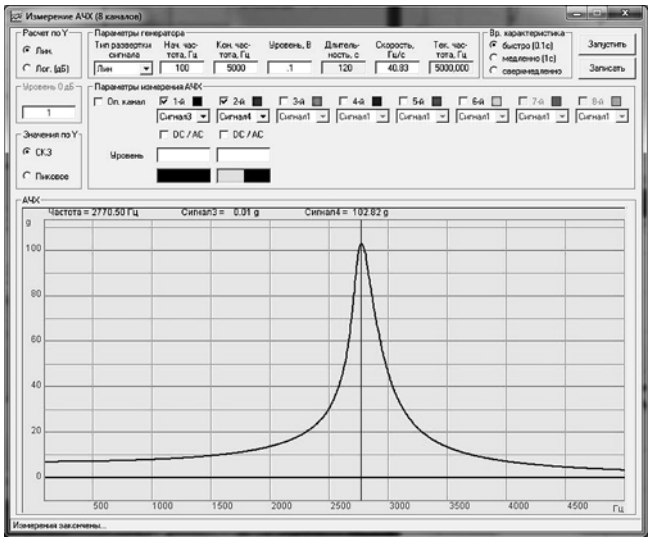

Рис. 4. Измеренная АЧХ реального колебательного контура

контура соответственно. Значения емкости конденсатора и индуктивности катушки взяты для расчета в соответствии с маркировкой реальных элементов. Добротность рассчитывается для значения сопротивления 1 Ом.

На рис. 2 приведен график зависимости напряжения на конденсаторе от частоты, а на рис. 3 – графики резонансов с различной добротностью. Чем больше добротность резонанса, тем острее и выше пик на графике, тем сложнее СУВ удержать сигнал в заданном диапазоне.

Чтобы получить электрическую схему с требуемыми параметрами можно воспользоваться данными, приведенными в табл. 1 и 2.

На рис. 4 приведена АЧХ электрического колебательного контура, измеренная с помощью виртуальных приборов ZETLab. Параметры элементов, использованных в схеме колебательного контура (измеренные мультиметром): $C = 0{,}19$ мкФ, $L = 18$ мГн ($R_L = 16{,}5$ Ом), $R = 0$ Ом.

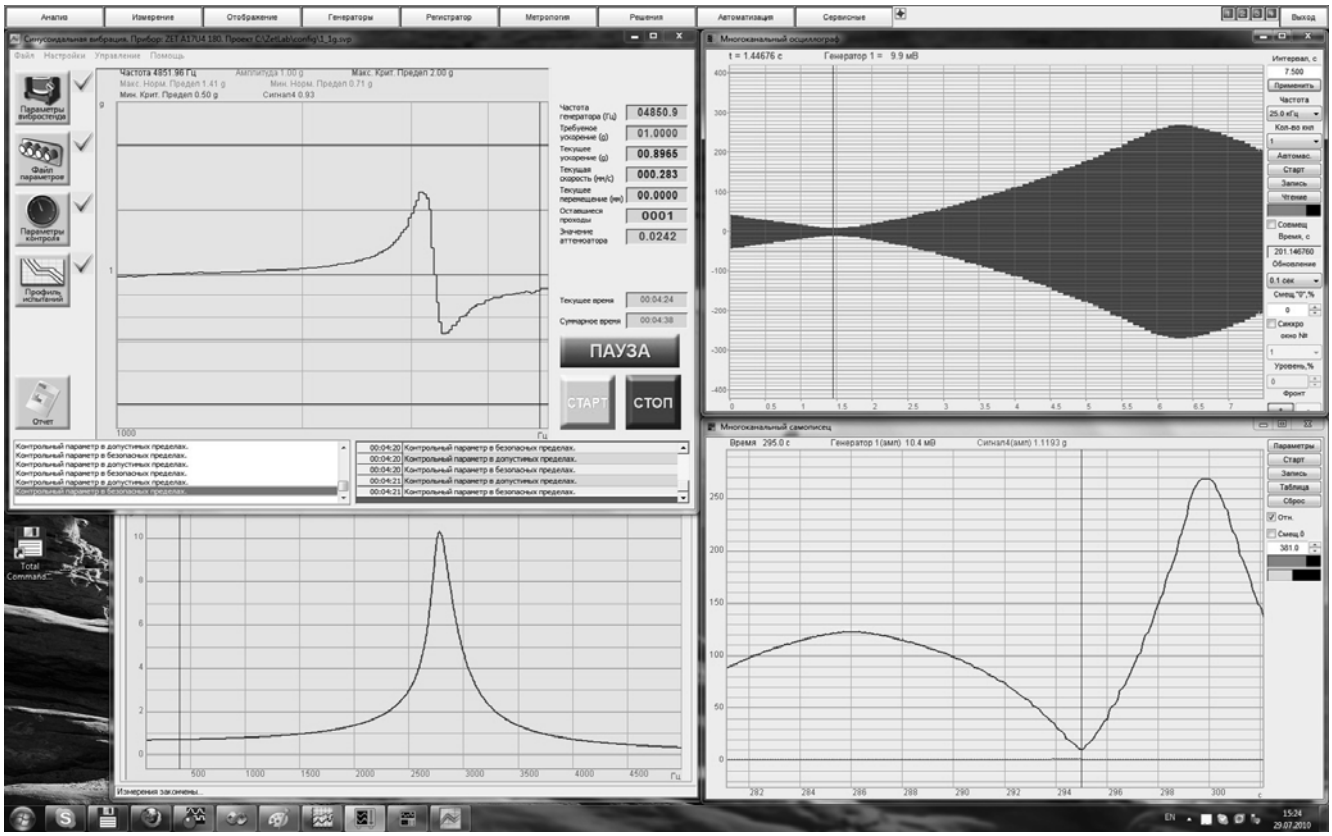

Рис. 5. Прохождение резонанса СУВ ZETLab

Рассчитанные параметры колебательного контура: $f_0 = 2721$ Гц, $Q = 18{,}6$.

Измеренные по графику АЧХ параметры колебательного контура: $f_0 = 2770$ Гц, $Q = 15$.

На рис. 5 представлена ситуация прохождения СУВ на базе ZETLab профиля 1...5 КГц с удержанием значения сигнала 1 g с предельными допусками ±6 дБ. Скорость развертки – 10 октав/мин.

С помощью небольшого прибора, включенного между входом и выходом СУВ, можно симулировать работу вибростенда с самой неприятной ситуацией для виброиспытаний – резонансом. Для сравнения характеристик различных СУВ необходимо в дальнейшем выбрать несколько вариантов схем с определенной резонансной частотой и добротностью, чтобы обеспечить единство испытаний. В будущем производители СУВ могли бы среди перечня характеристик своих систем указать, какие резонансы их система удерживает, а потребители могли бы с легкостью сравнивать.

Кроме последовательного колебательного контура можно использовать более сложные электрические схемы для симуляции других процессов и испытания различных режимов работы СУВ.

Бегишев Сергей Владимирович *– программист ЗАО "Электронные технологии и метрологические системы".*

Контактный телефон (495) 228-01-11.

E-mail: sergey_begishev@mail.ru Http:// www.zetms.ru

Обновленный планшетный компьютер Getac E100, предназначенный для работы в полевых условиях

Компания Getac, признанный лидер в производстве защищенных ноутбуков, представила новую улучшенную версию компактного и полностью защищенного планшетного компьютера E100. При весе всего в 1,4 кг новинка является одним из самых легких переносных устройств для работы в экстремальных условиях. Защищенный корпус из магниевого сплава надежно предохраняет внутренние элементы компьютера, обеспечивая максимальную защиту от неблагоприятного воздействия окружающей среды. Кроме этого, новый компьютер предлагает более высокую производительность и возможность сетевого подключения в полевых условиях.

Возможности и преимущества нового ПК: более производительный центральный процессор с частотой 1,6ГГц; расширенный объем памяти, облегчающий работу с большими файлами; твердотельный накопитель (SSD) большой емкости; поддержка беспроводной сети 3G Network; возможность использования двух смарт-карт для специальных приложений; функция горячей замены батареи; пятилетняя гарантия производителя.

Компания Getac существенно модернизировала дисплей компьютера E100: светодиодная подсветка, матовое покрытие, увеличенная контрастность 800 нит, позволяющая работать при прямых солнечных лучах, установленный сенсорный экран. Модель E100 получила сертификат соответствия военному стандарту MIL-STD-810G и стандарту IP65, что гарантирует защиту от пыли, грязи, воды, тряски, вибрации, экстремальных температур и других неблагоприятных факторов, которые могут серьезно повредить и даже сделать неработоспособным обычный планшетный компьютер.

Http://www.nnz-ipc.ru