

К. т. н. Ю. Э. ПАЭРАНД

Украина, г. Алчевск, Донбасский горно-металлургический институт
E-mail: paerand@mail.ru

Дата поступления в редакцию
23.05 2003 г.

Оппоненты
д. т. н. В. П. МАЛАХОВ (ОНПУ, г. Одесса),
О. П. БАСЮК ("Нептун", г. Одесса)

МАЛОГАБАРИТНЫЙ ПОЛОСОВОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ ФИЛЬТР

Предложенный фильтр, обеспечивая высокую избирательность, позволяет увеличить стойкость изделия к механическим воздействиям и на порядок уменьшить его объем.

Габаритные размеры и масса электронной аппаратуры в значительной степени определяются успехами в области создания компонентов, т. н. элементной базы. Ее совершенствование направлено на расширение функциональных возможностей, улучшение параметров, улучшение массогабаритных показателей. Последнее чаще всего достигается за счет некоторого ухудшения показателей качества. Однако в тех случаях, когда ухудшение параметров незначительное или наиболее важным требованием является снижение габаритных размеров и массы, технические решения, позволяющие минимизировать объем и массу элемента, становятся определяющими.

Одной из ответственных функций, выполняемых элементами в электронной аппаратуре, является фильтрация сигналов. Эта задача решается использованием различного рода фильтров, отличающихся как по принципу действия, так и по характеристикам. Достаточно распространенными устройствами, принцип работы которых основан на использовании явления механического резонанса, являются электромеханические фильтры.

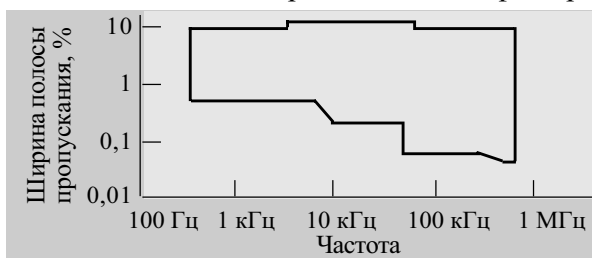


Рис. 1. Диапазон применимости электромеханических фильтров

Электромеханические фильтры характеризуются высокой избирательностью и стабильностью. Областью рационального применения электромеханических фильтров является диапазон частот от единиц до сотен кГц с обеспечением относительных полос пропускания от десятых долей и до единиц процентов (рис. 1) [1, с. 23]. Частотная область определяет вид колебаний, среди которых в равной мере используются изгибные, продольные и крутильные виды колебаний (рис. 2). При этом в области низких частот, как правило, применяются изгибные колебания.

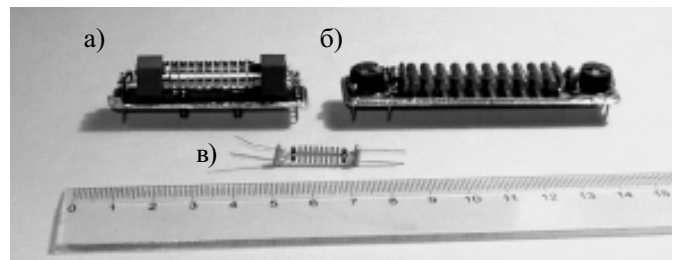


Рис. 2. Конструкции электромеханических фильтров с резонаторами, работающими на изгибных (а), крутильных (б) и продольных (в) колебаниях

При повышенных частотах более рациональным является применение продольных и крутильных колебаний. Исключение составляет конструкция, где используются резонаторы в виде дисков, соединенных между собой по образующим проволоками связей (рис. 2, а), однако в настоящее время она уже не используется ввиду больших габаритов и низкой механической прочности.

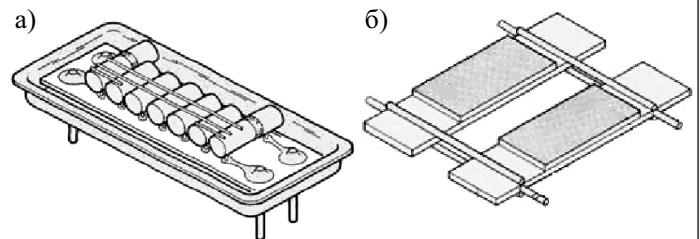


Рис. 3. Базовые конструкции ЭМФ фирмы Rockwell Collins, работающие на крутильных (а) и на изгибных (б) колебаниях

Фирма Rockwell Collins предлагает электромеханические фильтры (ЭМФ) в диапазоне частот от 5 до 525 кГц [2], обеспечивая полосу пропускания от 0,05 до 5 процентов. Указанный частотный диапазон реализуется двумя разновидностями конструкций (рис. 3). Фильтры на частоту до 100 кГц реализуют изгибные колебания (рис. 3, б), фильтры на частоту от 100 до 525 кГц — крутильные (рис. 3, а). При этом в конструкциях на частоту от 100 до 525 кГц на крутильных колебаниях работают как резонаторы, так и преобразователи.

С участием автора разработан и внедрен в серийное производство электромеханический фильтр на 128 кГц на полосу 3,1 кГц, удовлетворяющий 1/20 норм МККТТ (рис. 2, б). Данная конструкция использует крутильные колебания резонаторов и изгибные — преобразователей.

В предлагаемой статье приводятся результаты проработки технических решений, позволяющих создать серию малогабаритных электромеханических фильтров с высокой избирательностью и стойкостью к механическим воздействиям. Данный эффект получен для электромеханического фильтра на частоту 455 кГц с полосой пропускания 2,4 кГц за счет использования конструкции, резонаторы и преобразователи в которой выполнены в виде пластин и работают на продольных колебаниях растяжения-сжатия (рис. 2, в). Особенностью рассматриваемой конструкции является то, что ее резонансная система выполнена из монолитной пластины элинварного сплава и позволяет применить прогрессивную технологию, значительно снижающую стоимость изделия.

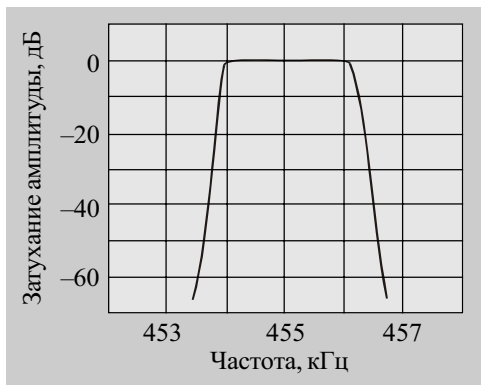


Рис. 4. Амплитудно-частотная характеристика малогабаритного электромеханического фильтра

На рис. 4 представлена амплитудно-частотная характеристика малогабаритного фильтра. Результаты сравнения с характеристиками фильтров фирмы Rockwell Collins [3] (рис. 5, а) показывают, что коэффициент прямоугольности, рассчитанный как отношение полос по уровням 60 и 6 дБ, для малогабаритного фильтра достигает значения 1,25, в то время как для лучшего из серии фильтров, предлагаемых фирмой Rockwell Collins, он равен 1,3. При этом малогабаритный фильтр реализован в объеме $2,2 \times 0,6 \times 0,3 = 0,4 \text{ см}^3$, в то время как наименьший из серии фильтров Rockwell Collins занимает объем $3,2 \times 1,25 \times 0,8 = 3,2 \text{ см}^3$.

Сравнение величин потерь в полосе пропускания для малогабаритного электромеханического фильтра и фильтров фирмы Rockwell Collins [4] показывает, что потери для обеих разновидностей фильтров близки и составляют величину порядка 4 дБ.

Среди параметров, определяющих возможность применения фильтров в аппаратуре, является наличие в полосе задерживания паразитных сигналов. Для электромеханических фильтров это является следствием проявления механических резонансов резонаторов на частотах, отличных от номинальной, рассчитанной как средней для полосы пропускания. По данным [5], представленным на рис. 5, б, для фильтров Rockwell Collins побочные резонансы с уровнем затухания менее 40 дБ появляются на частоте 150 кГц в низкочастотной области и на частоте 750 кГц в высокочастотной области. Для малогабаритного фильтра (рис. 2, в) характерно наличие побочных резонансов при меньших отстройках от центральной частоты. Так,

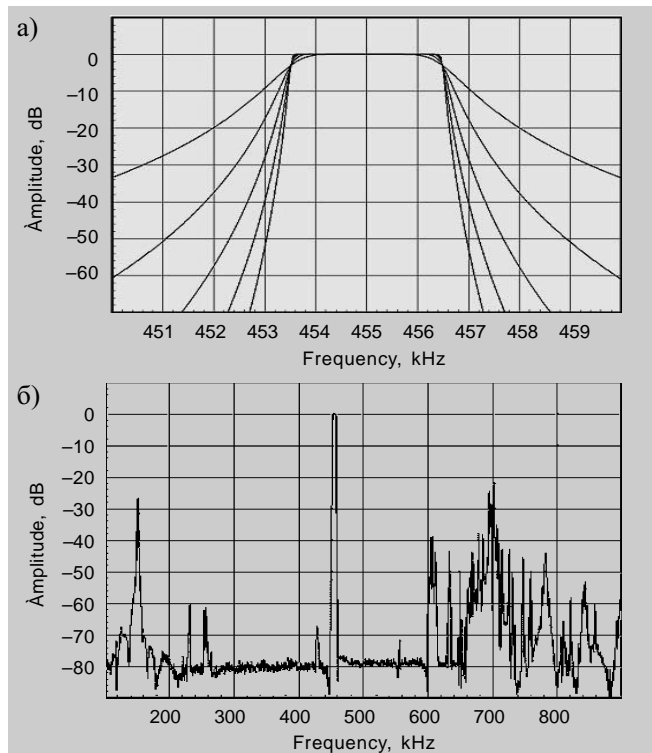


Рис. 5. Амплитудно-частотные характеристики электромеханических фильтров, предлагаемых фирмой Rockwell Collins

побочные резонансы с уровнем затухания менее 40 дБ появляются на частоте 180 кГц в низкочастотной области и на 605 кГц в высокочастотной области.

В целом, конструкция малогабаритного фильтра в монолитном исполнении, обеспечивая высокую избирательность, позволяет почти на порядок уменьшить объем изделия и создает предпосылки для повышения стойкости к механическим воздействиям. Последнее может позволить рассматриваемой конструкции не только удачно сочетаться с современной малогабаритной элементной базой, но и применяться на передвижных объектах, где эксплуатация связана с наличием значительных механических воздействий. Оценка стойкости малогабаритного электромеханического фильтра к механическим воздействиям показала, что конструкция фильтра выдерживает вибрационные нагрузки в диапазоне частот от одного до тысячи герц с ускорением 10g, однократные удары с ускорением 100g и многократные удары с ускорением 30g.

Несмотря на указанные преимущества малогабаритного фильтра, следует отметить более узкий диапазон частот, где он обеспечивает отсутствие побочных резонансов с уровнем затухания менее 40 дБ.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Джонсон Р. Механические фильтры в электронике.— М.: Мир, 1986.
2. <http://www.rockwellcollins.com/otherbusinesses/collins-filters/custom-designs/>
3. <http://www.rockwellcollins.com/otherbusinesses/collins-filters/notes/>
4. <http://www.rockwellcollins.com/otherbusinesses/collins-filters/products/>
5. <http://www.rockwellcollins.com/otherbusinesses/collins-filters/low-cost-series/index.asp?sp=526-8694-010>