

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ДИСКОВЫХ ЭМФ НА ЧАСТОТУ 500 кГц

Электромеханические фильтры появились более сорока лет назад, но до сих пор применяются в связной аппаратуре и, в частности, в радиолюбительских конструкциях. Об основных характеристиках наиболее распространенных фильтров на номинальную частоту 500 кГц на страницах журнала рассказывает один из основных создателей отечественных ЭМФ Константин Александрович Шульгин (UZDA). Приоритет его работ в этой области закреплен десятком авторских свидетельств и патентами семи зарубежных стран (в том числе и США).

В статье приведены данные серийно выпускавшихся электромеханических фильтров (ЭМФ) с дисковыми резонаторами на номинальную частоту 500 кГц. В настоящее время они встречаются в трех модификациях корпуса: цилиндрический диаметром 14 мм, цилиндрический диаметром 11 мм, прямоугольный шириной 11 и высотой 12,5 мм (без учета выводов). Длина корпуса определяется числом дисковых резонаторов, входящих в механическую колебательную систему фильтра. Параметры этих ЭМФ (они разделены на четыре группы по функциональному признаку) сведены в таблицу.

Обозначение фильтра	N	Граничные частоты		Средняя частота	Полоса пропускания	K
		Нижняя	Верхняя			
ЭМФ для однополосных систем связи.						
ЭМФ-Д-500-3В	9	500,3±0,15		501,85	3±0,15	1,6
ЭМФ-Д-500-3Н	9		499,7±0,15	498,5	3±0,15	1,6
ЭМФ-Д-500-3С	9			500,0±0,15	3±0,15	1,6
ЭМФ для специальной аппаратуры						
ЭМФД-5Р-500-0,3С	11			500,0±0,05	0,3±0,05	3,5
ЭМФД-5Р-500-0,5С	11			500,0±0,05	0,5±0,05	3,5
ЭМФД-5Р-500-0,5В	11	500,1±0,05		500,35	0,5±0,05	3,5
ЭМФД-5Р-500-0,5Н	11		499,9±0,05	499,65	0,5±0,05	3,5
ЭМФД-5Р-500-0,75С	11			500±0,05	0,75±0,075	3,5
ЭМФДП-5Р-500-1,0С	11			500±0,1	1,0±0,1	3
ЭМФДП-5Р-500-1,5С	11			500±0,1	1,5±0,1	3,5
ЭМФД-11Р-500-3,0С	11			500,0±0,15	3,0±0,3	
ЭМФД-11Р-500-3,5В	11	500,15±0,05		501,9	3,5±0,15	1,5
ЭМФД-11Р-500-3,5Н	11		499,85±0,05	498,1	3,5±0,15	1,5
ЭМФД-11Р-500-7,8С	11			500,0±0,15	7,8±0,3	1,5
Унифицированный ряд ЭМФ для широкого применения						
ЭМФДП-5Р-500-0,3С	11			500,0±0,05	0,3±0,05	3,5
ЭМФДП-5Р-500-0,5С	11			500,0±0,05	0,5±0,05	3,5
ЭМФДП-5Р-500-0,5В	11	500,1±0,05		500,35	0,5±0,05	3,5
ЭМФДП-5Р-500-0,5Н	11		499,9±0,05	499,65	0,5±0,05	3,5
ЭМФДП-5Р-500-0,75С	11			500±0,1	0,75±0,075	3,5
ЭМФДП-5Р-500-1,0С	11			500±0,1	1,1±0,1	3,5
ЭМФДП-5Р-500-1,5С	11			500±0,1	1,5±0,15	3,5
ЭМФДП-9Р-500-2,75В	9	500,3±0,05		501,67	2,75±0,15	1,6
ЭМФДП-9Р-500-2,75Н	9		499,7±0,05	498,3	2,75±0,15	1,6
ЭМФДП-9Р-500-3,1С	9			500,0±0,15	3,1±0,15	1,6
ЭМФДП-9Р-500-3,1В	9	500,3±0,05		501,85	3,1±0,2	1,6
ЭМФДП-9Р-500-3,1Н	9		499,7±0,05	498,15	3,1±0,2	1,6
ЭМФДП-9Р-500-6,0С	9			500,0±0,2	6,0±0,3	1,6
ЭМФДП-9Р-500-8,0С	9			500,0±0,2	8,0±0,3	1,6
ЭМФДП-5Р-500-9,0С	5			500,0±0,3	9,0±0,3	3
ЭМФДП-7Р-500-18,0С	5			500,0±1,5	18,0±1,5	3
ЭМФДП-7Р-500-35,0С	7			500,0±2	35,0±2	2
Термостатируемые ЭМФ для специальной аппаратуры						
ЭМФДЦ-5Р-500-0,3С	11			500,0±0,05	0,3±0,05	3,5
ЭМФДЦ-5Р-500-0,65С	11			500,0±0,05	0,65±0,075	3,5
ЭМФДЦ-5Р-500-1,1С	11			500±0,1	1,1±0,1	3,5
ЭМФДЦ-5Р-500-0,5В5	11	500,1±0,05		500,35	0,5±0,05	3,5
ЭМФДЦ-5Р-500-0,5Н5	11		499,9±0,05	499,65	0,5±0,05	3,5
ЭМФДЦ-11Р-500-3,0С	11			500,0±0,15	3,0±0,3	1,5
ЭМФДЦ-11Р-500-3,5В	11	500,15±0,05		501,9	3,5±0,15	1,5
ЭМФДЦ-11Р-500-3,5Н	11		499,85±0,05	498,1	3,5±0,15	1,5
ЭМФДЦ-11Р-500-7,8С	11			500,0±0,15	7,8±0,3	1,5

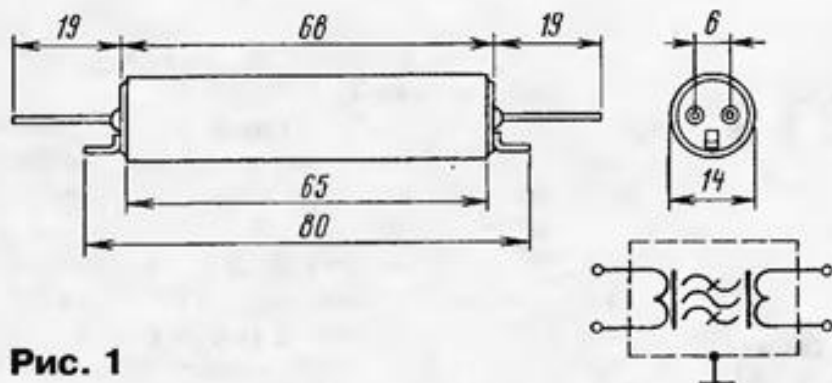


Рис. 1

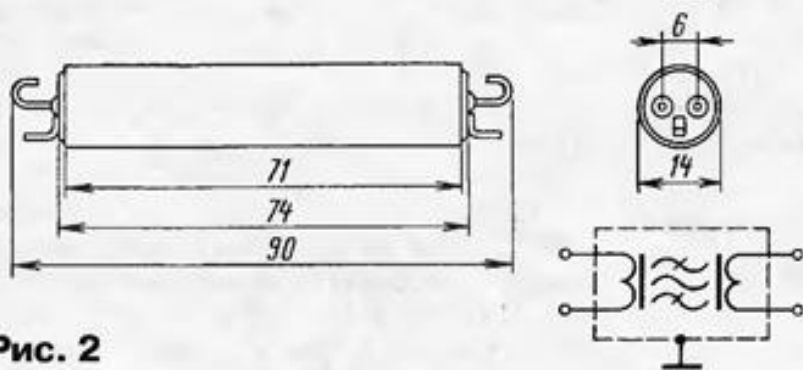


Рис. 2

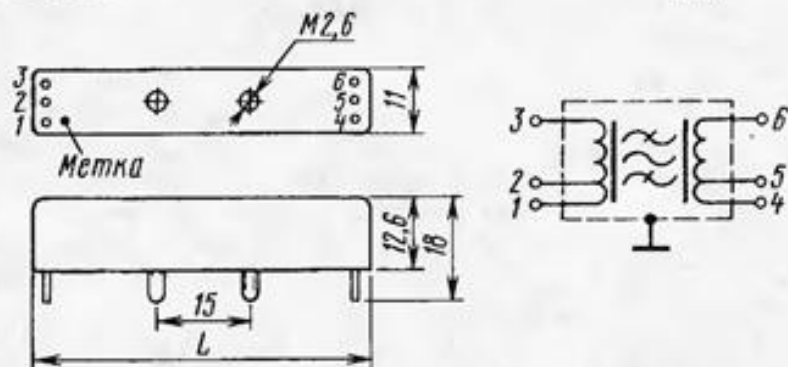


Рис. 3

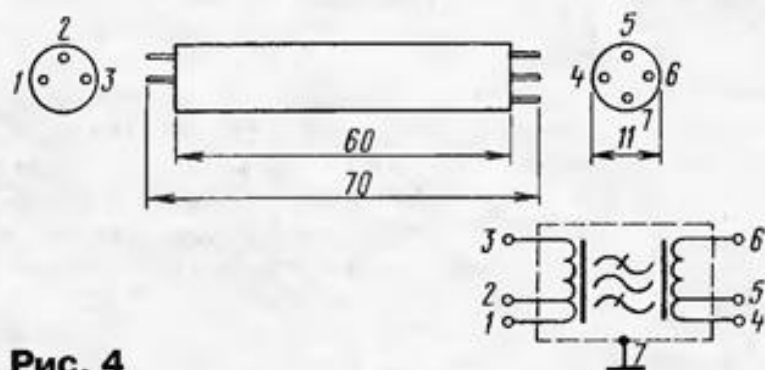


Рис. 4

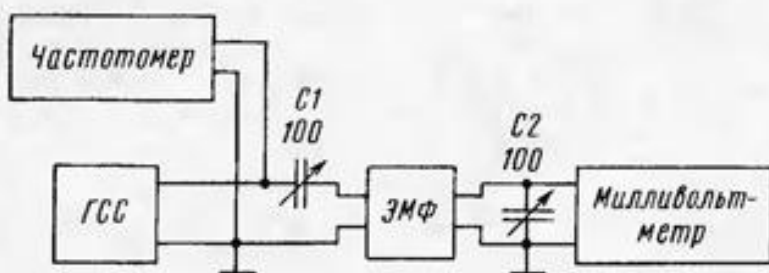


Рис. 5

Приведенная в таблице полоса пропускания ЭМФ измеряется на уровне - 6 дБ. Для всех фильтров затухание в полосе пропускания не превышает 15 дБ, а неравномерность затухания в полосе пропускания у первой группы ЭМФ не превышает 6 дБ, а у всех остальных ≈ 3 дБ. Коэффициент прямоугольности $K \approx$ это отношение полос пропускания фильтра по уровням - 60 и - 6 дБ.

Температурный коэффициент частоты ЭМФ не превышает $15 \cdot 10^{-6}$ в интервале температур от -60 до +30 °С и $10 \cdot 10^{-6}$ в интервале от -30 до +85 °С. Для второго интервала температур по абсолютной величине это будет не более 0,5 Гц на градус.

Входное и выходное сопротивления всех ЭМФ определяют при настройке их контуров на среднюю частоту фильтра. Средняя частота фильтров, предназначенных для выделения одной боковой полосы, не нормируется, и в таблице она приведена только для справки. Сопротивление нагрузки фильтра должно быть, по крайней мере, в 3...5 раз больше его выходного сопротивления.

Все фильтры герметизированы. Они могут использоваться при температуре окружающей среды от -60 до +85 °С и атмосферном давлении до 10 мм рт. ст.

В статье сохранены условные обозначения фильтров, которые им присвоили разработчики и которые они носят уже долгие годы. В этих обозначениях приняты следующие сокращения: ЭМФ \approx электромеханический фильтр; Д \approx дисковый; П \approx прямоугольный; Ц \approx цилиндрический; число с буквой Р \approx количество активных резонаторов в механической колебательной системе фильтра; 500 \approx номинальная частота (кГц); число с буквой Н, В или С \approx ширина полосы пропускания (кГц) и ее положение относительно номинальной частоты (соответственно ниже, выше или симметричное). Обозначения фильтров четвертой группы содержат дополнительно через дефис сочетание Т85, обозначающее температуру термостатирования (в таблице для краткости не указано). Число дисков N, содержащихся в фильтре, приведено в таблице для того, чтобы можно было оценить характер ЭМФ и определить его длину.

Например, рассмотрим четвертый фильтр третьей группы \approx ЭМФДП-5Р-500 0,5Н. Исходя из обозначения, о нем можно сказать следующее. Это электромеханический фильтр, дисковый, прямоугольной формы. Его колебательная система содержит 5 активных резонаторов, номинальная частота равна 500 кГц, ширина полосы пропускания составляет 500 Гц и расположена она ниже номинальной частоты.

Первая группа ЭМФ предназначена для однополосных систем связи и другой электронной аппаратуры. Корпус у них цилиндрический диаметром 14 мм. К торцевым сторонам корпуса приварены лепестки, служащие для его "заземления" (**рис. 1**). С корпусом вход и выход фильтра гальванически не связаны. Выводы от катушек выполнены в виде жестких проволочных отрезков диаметром 0,8 мм. При установке в аппаратуру их можно изгибать, но с предосторожностью, чтобы не повредить проходные изоляторы.

Все фильтры этой группы 9 резонаторные, симметричные, т. е. их вход и выход имеют одинаковые параметры. В качестве входа принято считать ту сторону ЭМФ, от которой начинается его условное обозначение. Активное сопротивление катушек составляет 105 ± 10 Ом, емкость подключаемых конденсаторов $\approx 60...100$ пФ. Входное и выходное сопротивления равны 20 ± 5 кОм, добротность контуров \approx около 10.

Рассмотренные фильтры интересны тем, что были первыми отечественными ЭМФ, внедренными в серийное производство как изделия широкого применения. Первым их производство освоил завод им. Н. Г. Козицкого (г Ленинград) в 1961 г. Летом 1962 г. был с соответствующими почестями выпущен юбилейный, 5-тысячный "ЭМФ-Д-500-3В", который заводчане вручили автору этой статьи.

Во вторую группу ЭМФ включены фильтры, создававшиеся для специальной аппаратуры. Все они 11-дисковые, симметричные. Среди них следует отметить комплект узкополосных ЭМФ на полосы пропускания от 0,3 до 1,5 кГц (разработка 1962 г.). От остальных фильтров они отличаются тем, что с целью повышения механической прочности колебательной системы связь между их активными резонаторами выполнена по сложной схеме, в которой используются расстроенные ("пассивные") дисковые резонаторы. Габаритные размеры фильтров показаны на **рис. 2**. Входные и выходные параметры у них такие же, как и у фильтров первой группы.

Третья группа ЭМФ представляет собой унифицированный ряд фильтров широкого применения на полосы пропускания от 0,3 до 35 кГц. Входящие в нее фильтры разработаны для печатного монтажа, поэтому их корпус имеет прямоугольную форму (**рис. 3**). Корпус ЭМФ с 11-ю дисками имеет длину 62 мм, с 9-ю и 7-ю дисками ≈ 54 мм, с 5-ю ≈ 47 мм.

Активное сопротивление катушек этой группы ЭМФ составляет 50 ± 5 Ом, емкость конденсаторов $\approx 60...150$ пФ. Для удобства согласования с транзисторными схемами от части витков катушек сделан отвод. В результате вход и выход данных ЭМФ имеют по три вывода. Вход обозначен точкой. Конденсаторы подключают к выводам 1 ≈ 3 и 4 ≈ 6 . Между этими же выводами измеряется полное входное и выходное сопротивление ЭМФ. Оно равно 16 ± 5 кОм. Входное сопротивление между выводами 1 и 2 составляет 20,6 кОм, выходное между выводами 4 и 5 $\approx 0,5 \pm 0,15$ кОм. Следует иметь в виду, что такое решение является частным. Поэтому не следует исключать возможность полного включения фильтров в схему посредством выводов 1 ≈ 3 и 4 ≈ 6 .

Фильтры четвертой группы ЭМФ (**рис. 4**) были разработаны для аппаратуры, эксплуатирующейся в широком диапазоне температур. Они предназначены для использования в термостатированной аппаратуре ($t=85$ °С). В таблице их параметры соответствуют именно такой температуре.

Все фильтры содержат по 11 дисков, имеют одинаковую длину и диаметр. Полосы пропускания узкополосных ЭМФ, входящих в эту группу, лежат в пределах от 0,3 до 1,1 кГц. Остальные фильтры имеют полосы пропускания от 3 до 7,8 кГц и отличаются повышенной избирательностью. Как и в третьей группе, их катушки выполнены с отводом. Вход фильтров имеет 3 вывода, выход \approx 4. Последний вывод сделан от корпуса и не имеет проходного изолятора. По входным и выходным параметрам эти фильтры идентичны прямоугольным.

Реально большинство фильтров всех групп имеют лучшие параметры, чем те, что указаны в таблице.

Различные фирмы, в том числе и разработчики, выпускали дисковые ЭМФ, несколько отличающиеся от рассмотренных по полосе пропускания, числу резонаторов, номинальной частоте, входному и выходному сопротивлению, внешнему оформлению и т. д. Если эти фирмы соблюдали предложенную разработчиками технологию и применяли рекомендованные ими специально разработанные для ЭМФ материалы, селективные свойства (при равном числе активных резонаторов), а также температурный коэффициент частоты для таких ЭМФ должны быть аналогичны приведенным в статье.

С течением времени некоторые ведомства и предприятия изменяли наименования выпускаемых ими ЭМФ. В результате до настоящего времени встречаются в обиходе одинаковые фильтры с разными наименованиями, что может вызывать определенные трудности. Остановимся кратко на этом вопросе.

Согласно прейскуранту Министерства электронной промышленности, были переименованы ЭМФ третьей группы. В новых обозначениях не показано число активных резонаторов и перенесена буква, указывающая местоположение полосы пропускания относительно номинальной частоты. Она поставлена сразу после нее. Так, например, фильтр ЭМФДП-9Р-500-2,75В переименован в ЭМФДП-500В-2,75. Подобные фильтры достаточно широко распространены среди радиолюбителей.

Обозначения ЭМФ, входящих в первую группу, не изменились. Фильтры второй и четвертой групп в прейскуранте отсутствуют.

Примерно 12 \approx 13 лет назад была введена новая ведомственная система условных обозначений, единая для ЭМФ четырех групп (ОСТ 11 206 801-87). Условные обозначения фильтров в этой системе состоят из следующих элементов: первый элемент \approx буквы ФЭМ (фильтр электромеханический); второй \approx цифра, характеризующая фильтр по типу примененных резонаторов; третий \approx регистрационный номер; четвертый \approx число, равное номинальной частоте фильтра в кГц; пятый \approx число, равное ширине полосы пропускания в кГц; шестой \approx буквы Н, В или С, показывающей положение полосы пропускания относительно номинальной частоты; седьмой \approx цифра, обозначающая вид преобразователя, и восьмой \approx буква В, обозначающая всеклиматическое исполнение фильтра. Между 2-м и 3-м, 3-м и 4-м, 4-м и 5-м, а также 6-м и 7-м элементами проставлен дефис.

Цифра 1 второго элемента показывает, что резонаторы гантельные, 2 \approx дисковые, 3 \approx камертонные, 4 \approx пластинчатые, 5 \approx цилиндрические. В седьмом элементе цифра 1 соответствует электромагнитным преобразователям, 2 \approx пьезокерамическим, 3 \approx магнитострикционным, 4 \approx комбинированным.

Рассмотренная система позволяет однозначно оценить имеющийся дисковый ЭМФ и, учитывая его габаритные размеры, с помощью настоящей статьи определить все данные фильтра. Например, фильтр ФЭМ2-045-500-2.75В-3 эквивалентен фильтру ЭМФДП-500-2,75В и относится к ЭМФ третьей группы.

Ряд ЭМФ с последней маркировкой приведен в справочнике А. И. Ладика и А. И. Сташкевича "Изделия электронной техники. Пьезоэлектрические и электромеханические приборы", выпущенном в 1993 г. издательством "Радио и связь". К сожалению, информации о дисковых ЭМФ в нем недостаточно для того, чтобы получить полное представление о конкретных фильтрах.

И в заключение \approx совет читателям журнала. Если в ваши руки попадет ЭМФ, на котором написано что-то непонятное или без маркировки, то попробуйте оценить его характеристики сами. Для решения задачи требуются ГСС с малым выходным сопротивлением (50...75 Ом), высокочастотный милливольтметр (МВЛ) с большим входным сопротивлением и два конденсатора переменной емкости по 100 пФ. Желательно иметь также и частотомер.

Соедините все так, как показано на **рис. 5**. Модуляцию у генератора выключите, уровень несущей установите около 1 В. Исходную емкость конденсаторов С1 и С2 установите равной 60...70 пФ. Далее, изменяя частоту настройки генератора в районе предполагаемой номинальной частоты, найдите отклик фильтра и с помощью конденсаторов настройте контуры ЭМФ по максимальному показанию МВЛ. Затем, насколько подробно позволят вам используемые приборы, снимите по точкам частотную характеристику фильтра. Она позволит вам оценить фильтр с учетом формы и размеров его корпуса, выяснить, к какой группе ЭМФ, описанных в статье, он относится и определить его параметры.