

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

250/83

4/2-83

P13-82-801

В.Ф.Бобраков, В.Фодель

СИНХРОННЫЙ СЕТЕВОЙ ФИЛЬТР
ДЛЯ БИОМАГНИТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
С ПРИМЕНЕНИЕМ СКВИДА

Направлено в журнал
"Приборы и техника эксперимента"

1982

В настоящее время наиболее чувствительным прибором среди применяемых для биомагнитных исследований является сверхпроводящий квантовый интерферометр /СКВИД/. Собственные шумы магнитометра на основе СКВИДа составляют $\sim 10^{-14}$ Т/Гц^{1/2}. Такая чувствительность прибора позволяет изучать магнитные поля сердца, мозга, мышц, суставов и т.д.^{/1-4/}. Получение высокой чувствительности в настоящее время - преодоленный этап для многих лабораторий, в то время как борьба с промышленными и естественными магнитными помехами является технически сложной задачей, которая решена еще не во всех случаях.

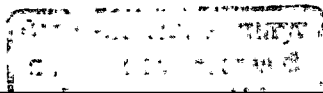
Использование экранированной комнаты позволяет, в принципе, решить эту проблему, однако создание ее - дело очень трудоемкое и дорогостоящее, поэтому желательно иметь аппаратуру, способную работать в обычной "открытой" лаборатории. В этих условиях основным видом помех является магнитная наводка на частоте промышленной сети 50 Гц и ее гармониках 100, 150 Гц и т.д. Для борьбы с этими помехами нами был разработан синхронный режекторный фильтр, эффективно подавляющий как помеху на частоте 50 Гц, так и ее гармоники вплоть до 16-й. Цель настоящей работы - описание принципа действия и конструкции этого фильтра.

По принципу действия фильтр относится к так называемым N-канальным. В таких фильтрах спектр входного сигнала переносится в область низких частот, подвергается обработке низкочастотными фильтрами, а затем производится обратное преобразование^{/5,6/}.

Функциональная схема фильтра представлена на рис.1. Сигнал, поступающий на его вход, подается через резистор на конденсаторы С1 ÷ С32. Эти конденсаторы последовательно коммутируются МОП-ключами S1 ÷ S32 со входом операционного усилителя. Период коммутации равен периоду частоты промышленной сети, то есть составляет 20 мс.

При наличии на входе постоянного напряжения или сигнала с частотой 50 Гц, а также гармоник этой частоты происходит заряд конденсаторов С1 ÷ С32 с постоянной времени $\tau = NRC$, где N - число конденсаторов, R - сопротивление входного резистора, C - емкость одного конденсатора. Для таких сигналов коэффициент передачи фильтра близок к нулю. Для сигналов с другими частотами, то есть полезных сигналов, коэффициент передачи фильтра равен 5.

Синхрогенератор, управляющий МОП-ключами, работает синхронно с промышленной сетью 50 Гц. Это достигнуто применением фазовой автоподстройки частоты /ФАПЧ/. Частота на выходе двоичного счетчика составляет 1/32 от частоты управляемого генератора 1600 Гц. Полученный сигнал подается на первый вход фазового детектора,



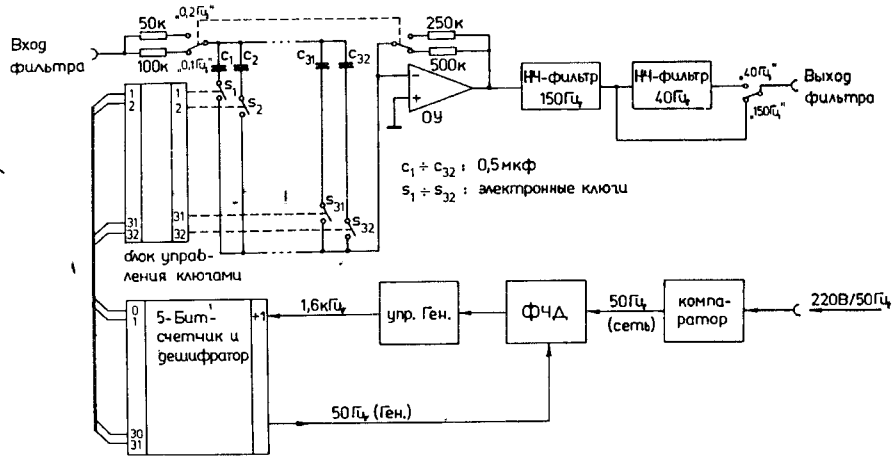


Рис.1. Блок-схема синхронного режекторного фильтра.

на второй вход которого подано опорное прямоугольное напряжение, сформированное из промышленного сетевого напряжения. Выходное напряжение ФД задает частоту управляемого генератора. В результате достигается синхронная работа фильтра на частоте сети. Полоса захвата ФАПЧ составляет 2 Гц, а полоса удержания - 6 Гц.

Управляющие импульсы для МОП-ключей вырабатываются дешифратором, к выходам которого подключены преобразователи логического уровня ТТЛ в уровни 0 ÷ -12 В. Выходной сигнал подвергается дополнительной фильтрации низкочастотными фильтрами с частотой среза 150 или 40 Гц.

Полоса режекции фильтра на уровне -3 дБ составляет:

$$\Delta f = \frac{1}{2\pi NRC} \quad /1/$$

Глубина подавления зависит от числа звеньев N и номера гармоники k:

$$a_{sk} = -20 \lg \left[1 - \left(\sin \frac{k\pi}{N} / \frac{k\pi}{N} \right)^2 \right] \quad /2/$$

В нашем случае N = 32. Зависимость глубины подавления помех фильтром от номера гармоники k приведена в таблице.

Принципиальная схема фильтра представлена на рис.2. Прямоугольное напряжение с частотой 50 Гц формируется из сетевого напряжения компаратором ДА10. На микросхеме ДД6 выполнен управляемый генератор на 1,6 кГц. Делитель частоты /1:32/ собран на микросхемах ДД3 и ДД4. Выходное напряжение с фазового детектора Д5/2 интегрируется цепочкой R73, C37, усиливается по мощности повторителем VT65 и управляет частотой генератора 1,6 кГц.

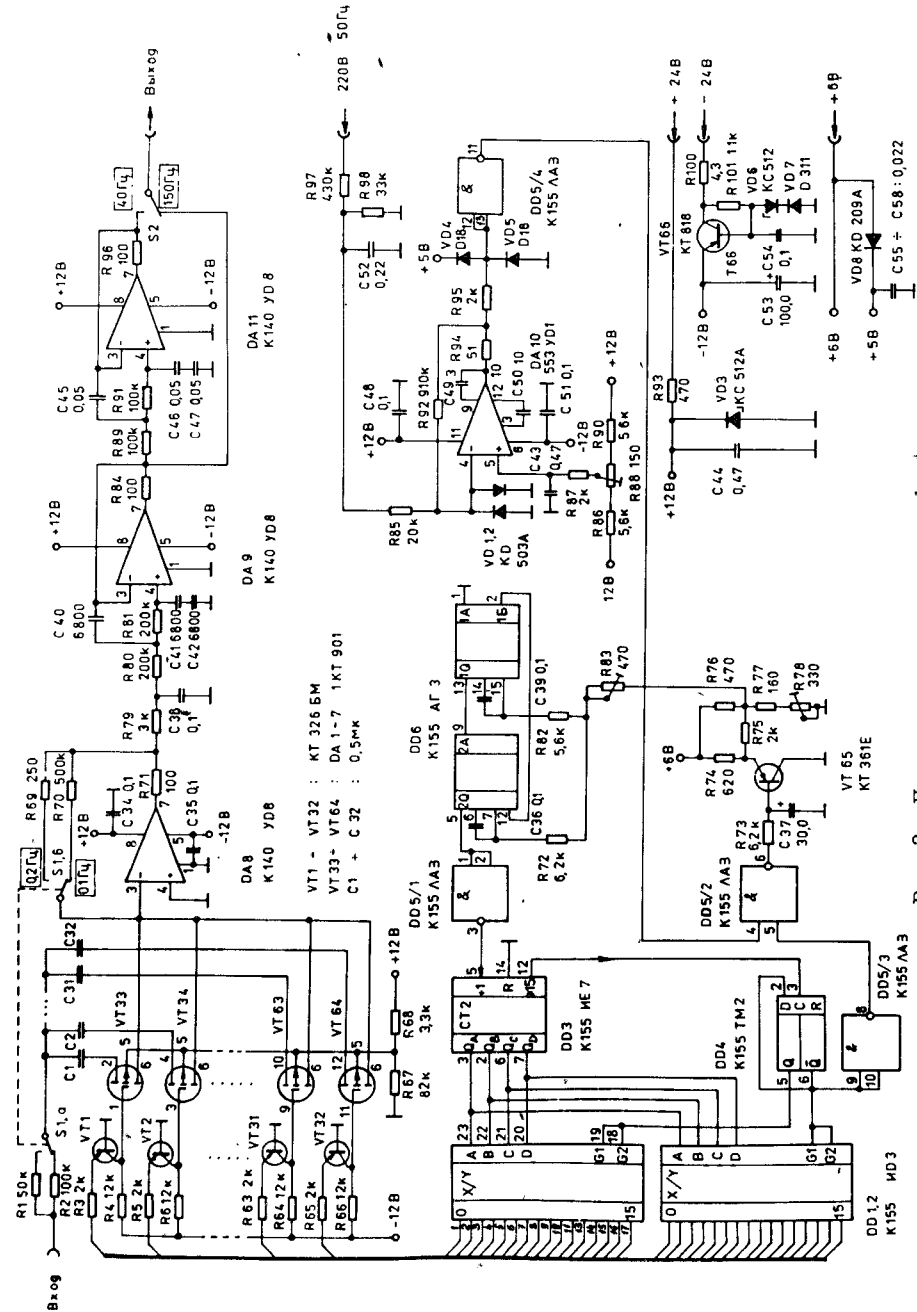


Рис.2. Принципиальная схема фильтра.

Таблица

Зависимость глубины подавления помех фильтром a_{sk} от номера гармоники k

k	1	2	3	4	5	6
f /Гц/	50	100	150	200	250	300
a_{sk} /дБ/	49,9	37,9	30,9	26,0	22,0	19,1

Двоичный дешифратор составляют микросхемы ДД1 и ДД2. На транзисторах VT1-VT32 собран преобразователь логических уровней ТТЛ в уровни $0 \div -12$ В для управления МОП-ключами VT33-VT64, которые входят в состав микросхем ДА1-7.

Фильтры низкой частоты с частотами среза 150 и 40 Гц выполнены на операционных усилителях ДА9 и ДА11 с полевыми транзисторами на входе.

Прибор занимает один модуль двойной ширины в стандарте КАМАК.

Измерения основных параметров фильтра показали, что величина подавления помехи с частотой 50 Гц составляет 49 дБ. Это значение близко к теоретическому 49,9 дБ, рассчитанному по формуле $2/$.

На рис. 3 показана полученная экспериментально частотная характеристика подавления помех фильтром на частотах вблизи первых трех гармоник сетевой частоты. Полоса режекции по уровню -3 дБ составляет $\Delta f = 0,2$ Гц.

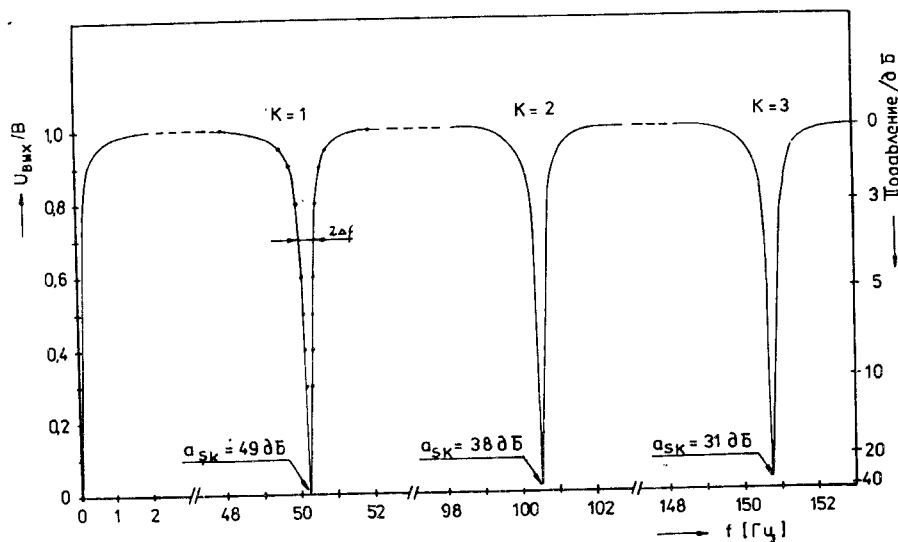


Рис. 3. Частотная характеристика фильтра.

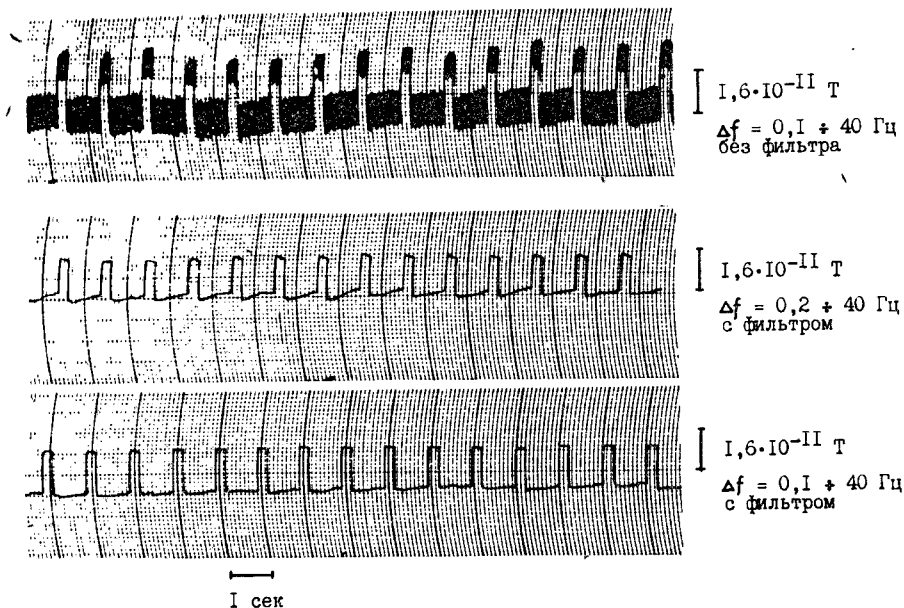


Рис. 4. Примеры записи сигнала магнитометра при выключенном и включенном фильтре.

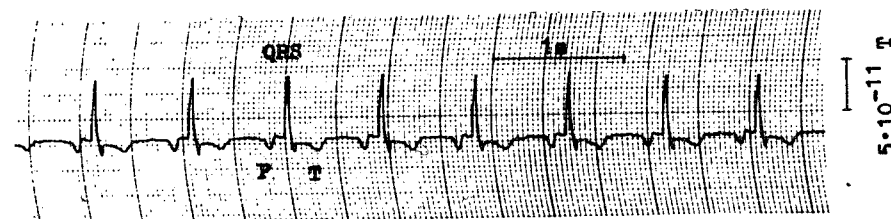


Рис. 5. Магнитокардиограмма здорового человека. Записана в реальном времени в полосе частот $0,1 \pm 40$ Гц в открытой лаборатории.

Фильтр применялся совместно со сверхпроводящим магнитометром-градиентометром для биомагнитных исследований.

Эффективность работы фильтра при измерении магнитного поля иллюстрирует рис. 4, на котором приведены примеры записи калибровочного сигнала $1,5 \cdot 10^{-11}$ Т при отключенном и включенном фильтре. При этом магнитометр был установлен в лаборатории с уровнем магнитной помехи $\approx 10^{-7}$ Т.

Балансировка градиентометра была выполнена с точностью 10^{-3} . Таким образом, суммарное подавление сетевой помехи для магнито-

кардиографа достигает 109 дБ. Пример магнитокардиограммы здорового человека, полученной с применением синхронного фильтра в лаборатории с уровнем помехи $10^{-8} \div 10^{-7}$ Т, приведен на рис. 5.

Авторы выражают глубокую благодарность Б.В. Васильеву и М. Михалису за интерес к работе и полезные обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Brenner D., Kaufmann L., Williamson S.J. IEEE TRANS. on Magnetism, 1977, vol. MAG-13, No. 1.
2. Barbanera S. et al. Sci. Instr., 1978, vol. 11.
3. Kariniemi V., Katila T., Laine H. TTK-F-A362, Dec. 1978.
4. Васильев Б.В., Колычева Е.В. "Медицинская техника", 1980, №2.
5. Щекотов А.Ю., Голявин А.М. ПТЭ, 1978, №4, с. 175.
6. Heinlein W.E., Holmes W.H. Active Filters for Integrated Circuits, New York, 1974.

Рукопись поступила в издательский отдел
24 ноября 1982 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

Д13-11182	Труды IX Международного симпозиума по ядерной электронике. Варна, 1977.	5 р. 00 к.
Д17-11490	Труды Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1977.	6 р. 00 к.
Д6-11574	Сборник аннотаций XV совещания по ядерной спектроскопии и теории ядра. Дубна, 1978.	2 р. 50 к.
Д3-11787	Труды III Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1978.	3 р. 00 к.
Д13-11807	Труды III Международного совещания по пропорциональным и дрейфовым камерам. Дубна, 1978.	6 р. 00 к.
	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
Д1,2-12036	Труды V Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1978	5 р. 00 к.
Д1,2-12450	Труды XII Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Приморско, НРБ, 1978.	3 р. 00 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
Д11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
Д4-80-271	Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979.	3 р. 00 к.
Д4-80-385	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.	5 р. 00 к.
Д2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
Д10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
Д1,2-81-728	Труды VI Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 60 к.
Д17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
Д1,2-82-27	Труды Международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 20 к.
Р18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

**ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика

Бобраков В.Ф., Фодель В. P13-82-801
Синхронный сетевой фильтр для биомагнитных исследований с применением СКВИДа

Описана конструкция синхронного режекторного фильтра, эффективно подавляющего помехи на частоте промышленной сети и ее гармониках. Величина подавления помехи на частоте 50 Гц составляет 49 дБ. Применение описанного фильтра совместно со сверхпроводящим магнитометром позволило реализовать чувствительность прибора к магнитному полю $10^{-13} \text{ T} / \sqrt{\text{Гц}}$ в лаборатории с уровнем магнитной помехи $\approx 10^{-7} \text{ T}$.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1982

Bobrakov V.F., Fodel V. P13-82-801
Synchronous Rejection Filter for Biomagnetic Investigations with Squid Application

The synchronous rejection filter design is described. Its efficiency suppresses noise at the mains frequency and its harmonics. The noise suppression for 50 Hz frequency is 49 dB. The use of filter with a superconductive magnetometer in the laboratory with the 10^{-7} T magnetic noise level has permitted to realize $10^{-13} \text{ T} / \sqrt{\text{Hz}}$ magnetic field sensitivity.

The investigation has been performed at the Laboratory of Neutron Physics, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1982

Перевод О.С.Виноградовой.