

## Разработка измерительного блока интеллектуальной системы охраны территории

*В.В. Фадеев*

*Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)  
им. М. И. Платова, Новочеркасск*

**Аннотация:** Автором проведена разработка измерительного блока интеллектуальной системы охраны территории. На основе проведенного обзора устройств аналогичного назначения была произведена разработка структурной схемы устройства. Разработана и описана функциональная схема разрабатываемого устройства на основе структурной схемы. Приведено описание машинного эксперимента по моделированию работы входного блока схемы в Micro-Cap, его результаты и анализ.

**Ключевые слова:** измерительный блок, интеллектуальная система, моделирование, вибрация, трибоэлектрический датчик.

Измерительный блок интеллектуальной системы охраны – это электронное устройство, реагирующее на явления вибрации, преобразующее их в пропорциональные электрические сигналы и устанавливающее их параметры для последующей цифровой обработки [1 – 3].

В настоящей работе рассматривается измеритель вибрации в схеме для постановки периметра в охраняемый режим, состоящий из пьезоэлектрического [4 – 6] и трибоэлектрического [7, 8] механизма преобразования механических воздействий (в случае с пьезоэлектрическим датчиком – деформация чувствительного материала; с трибоэлектрическим датчиком, представляющим собой кабель – трения внутренней проводящей жилы с экраном кабеля).

Состав конструкции измерительного блока:

1) Преобразователь вибрации – блок, предназначенный для преобразования механического вибрационного движения в электрический сигнал [9, 10];

2) Электронный блок для принятия, расшифровки и обработки сформированного сигнала и вывода информации по внешнему интерфейсу;

на нынешний момент, как правило, включает аналого-цифровой преобразователь (далее по тексту – АЦП), и микроконтроллер.

Была разработана структурная схема измерительного блока интеллектуальной системы охраны территории (рисунок 1).

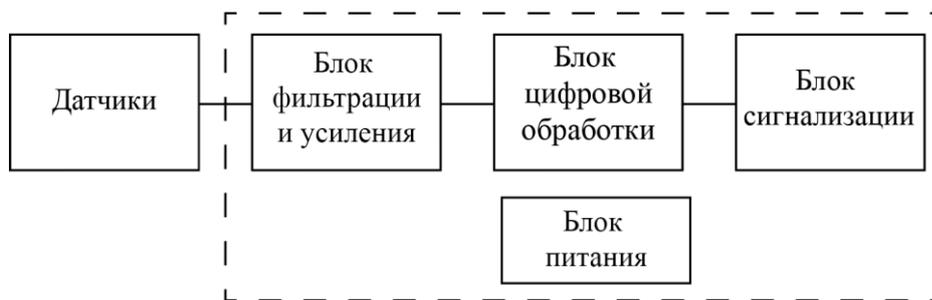


Рисунок 1. Структурная схема охранного устройства с цифровым измерителем вибрации

В область питания не включены датчики генераторного типа, поскольку они являются пассивными и генерируют напряжение в малых долях. Это генерируемое напряжение фильтруется на оптимальный диапазон и усиливается для последующей цифровой обработки в блоке фильтрации и усиления (далее по тексту – БФУ) [10 – 12]. В блоке цифровой обработки (БЦУ) происходит оцифровка с помощью АЦП и оперирование посредством микроконтроллера. Блок сигнализации включает в себя ключевой элемент, коммутирующий сигнализационную нагрузку с питанием постоянного напряжения. Блок питания включает в себя преобразователи в биполярное напряжение для подблока усиления в БФУ, преобразование в цифровое и аналоговое питание для топологии АЦП в БЦУ. Для микроконтроллера в том же блоке происходит преобразование в понижение напряжения для входа через цепь питания коллектора транзистора микропроцессора  $V_{CC}$ .

Схема электрическая функциональная измерительного блока интеллектуальной системы охраны территории представлена на рисунке 2. Датчики ПД и ТД генерируют сигнал от поступающих механических вибраций, сигналы поступают в БФУ на фильтры нижних частот и из их

спектра срезаются частоты выше 1кГц. В этом же блоке отфильтрованные сигналы попадают на дифференциальные усилители, которые усиливают сигналы в заданное последующими расчётами число раз (в зависимости от величины выходных характеристик датчиков), далее сигналы поступают на мультиплексорные входы АЦП, где поочередно с высокой скоростью считываются последним и оцифровываются.

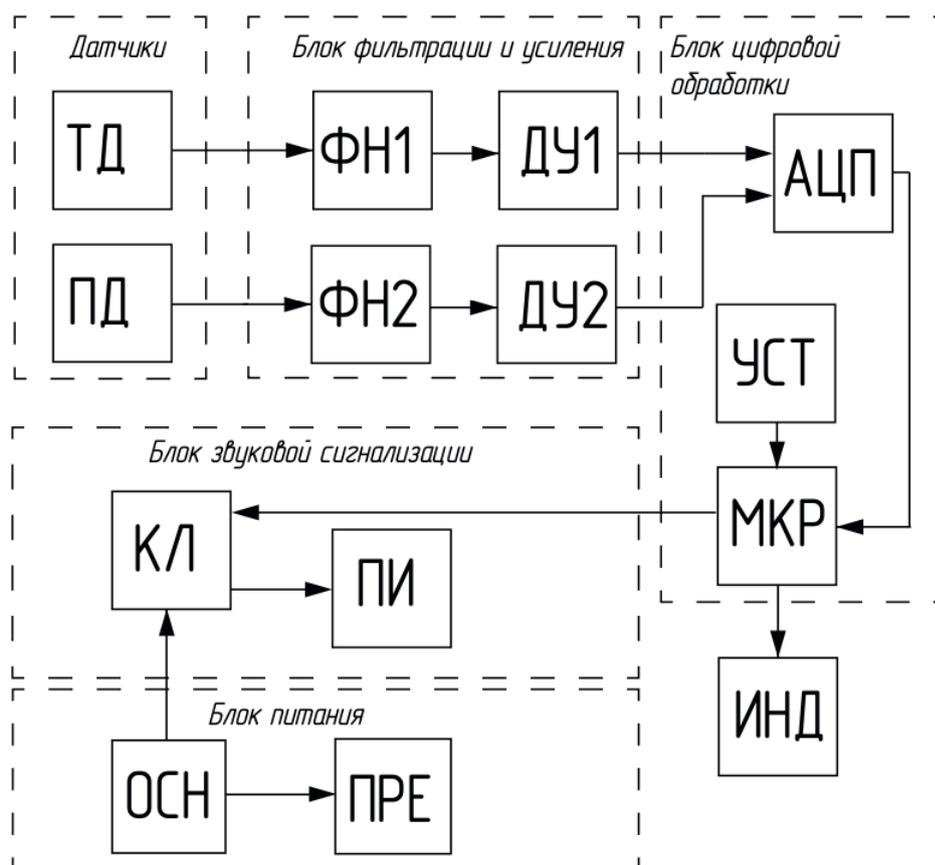


Рисунок 2. Функциональная схема измерительного блока интеллектуальной охранной системы территории

Оцифрованный сигнал поступает на МКР и в зависимости от параметра программно заданной уставке УСТ, происходит или не происходит посыл сигнала на коммутационный элемент КЛ к нагрузке ПИ через основное питание ОСН. ОСН преобразуется в различные необходимые источники напряжения для участков схем. Индикация ИНД выполняется МКР на запрограммированной основе.

Моделирование работы участка электронной схемы будет проводиться в программной среде *Micro-Cap* 12 версии. С помощью встроенных математических моделей реальных элементов было произведено моделирование входной цепи датчика, содержащей пассивный фильтры низких частот с частотой среза 1кГц, а также дифференциальные усилители *INA132*.

Поступающий сигнал с выхода пьезоэлектрического датчика усиливается посредством дифференциального усилителя в 12,5 раз. Сигнал с выхода трибоэлектрического датчика усиливается посредством дифференциального усилителя в 25 раз.

Сигнал в обеих цепях подавляется полосой заграждения на частоте среза 1 кГц. На рисунке 3 изображена моделируемая принципиальная схема входного блока.

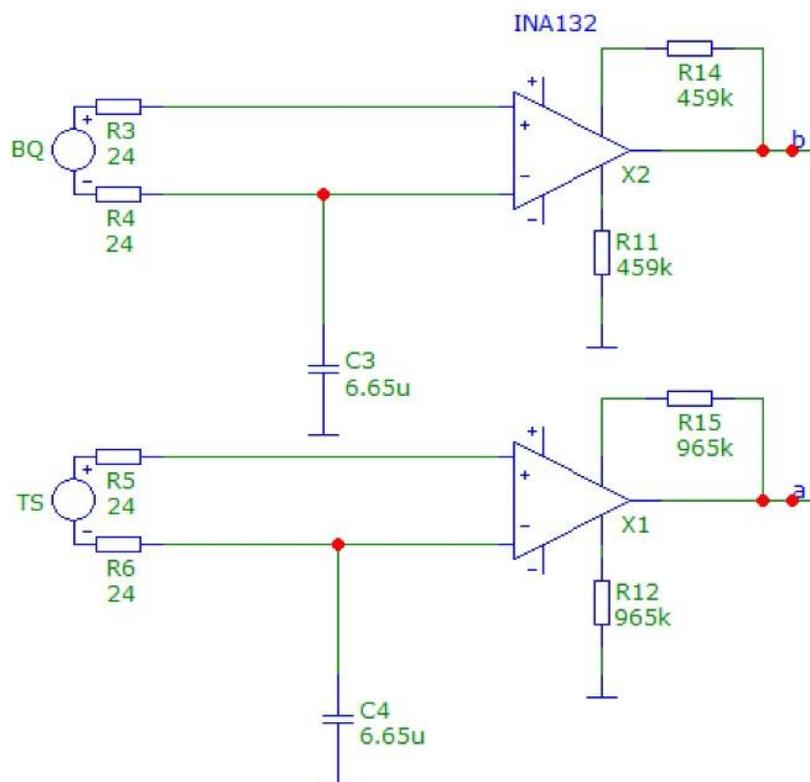


Рисунок 3. Модель входной цепи

Результаты эксперимента продемонстрированы на рисунках 4 – 6. На рисунке 4 изображена осциллограмма работы ДУ по усилению сигнала

датчиков.

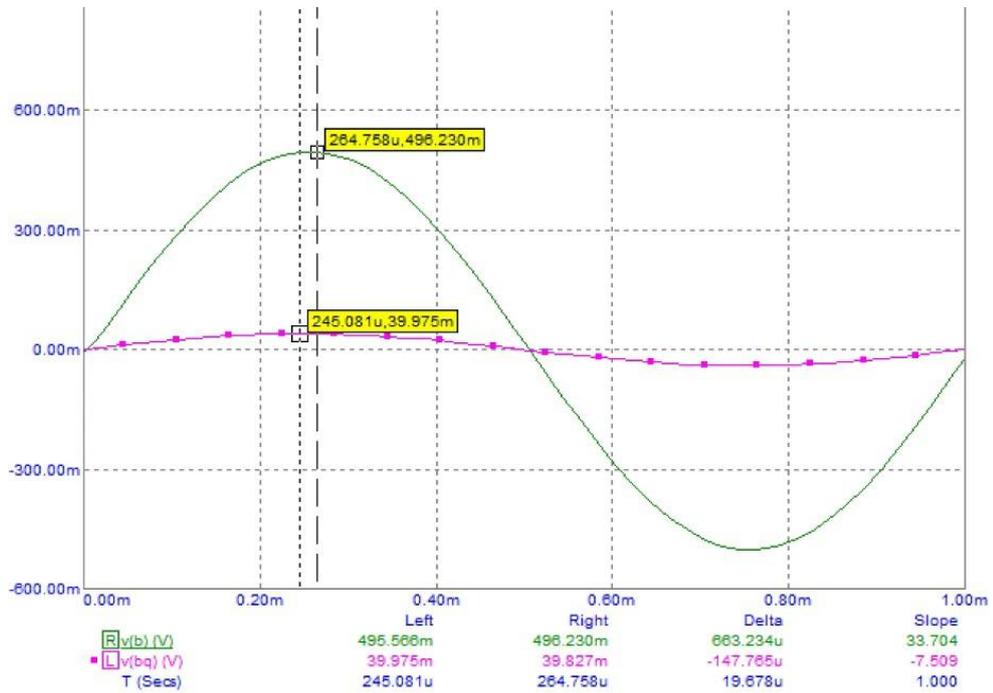


Рисунок 4. Осциллограмма-сопоставление входного и выходного напряжения ДУ сигнала пьезоэлектрического датчика

Погрешность эксперимента по усилению сигнала:

$$\delta_{\text{exp}(bq)} = \left| \frac{497230 - 500000}{497230} \right| \cdot 100 = 0,557\%$$

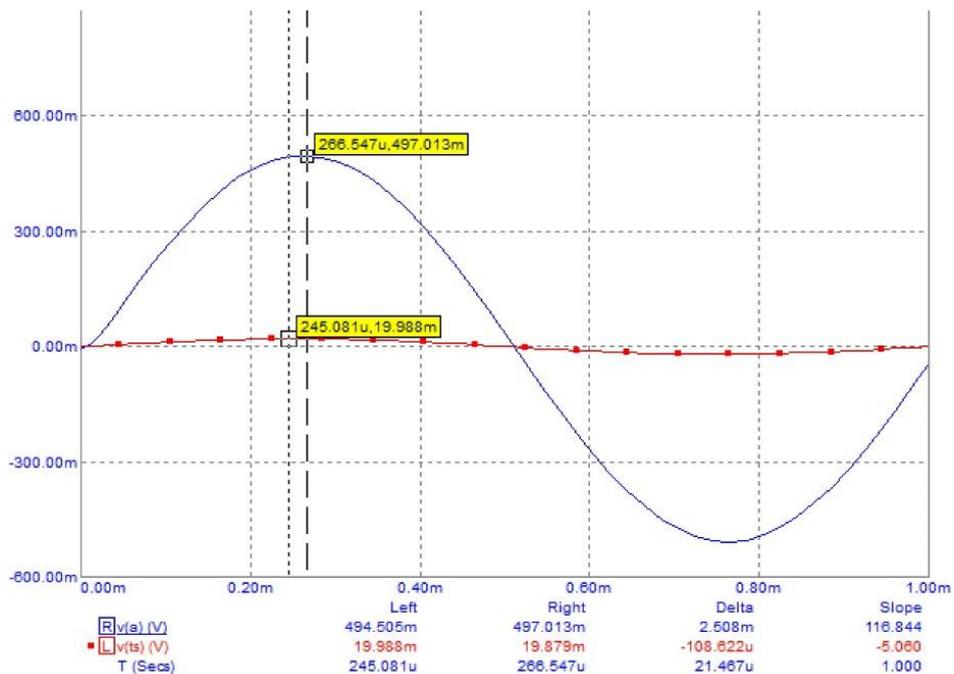


Рисунок 5. Осциллограмма-сопоставление входного и выходного напряжения ДУ сигнала трибоэлектрического датчика

В соответствии с графиком осциллограммы рисунка 5, погрешность подобранных элементов усиления сигнала составляет:

$$\delta_{exp(tr)} = \left| \frac{497013 - 500000}{497013} \right| \cdot 100 = 0,6009\%$$

На рисунке 6 представлен график АЧХ фильтрации низких частот входного сигнала в цепях обоих датчиков.

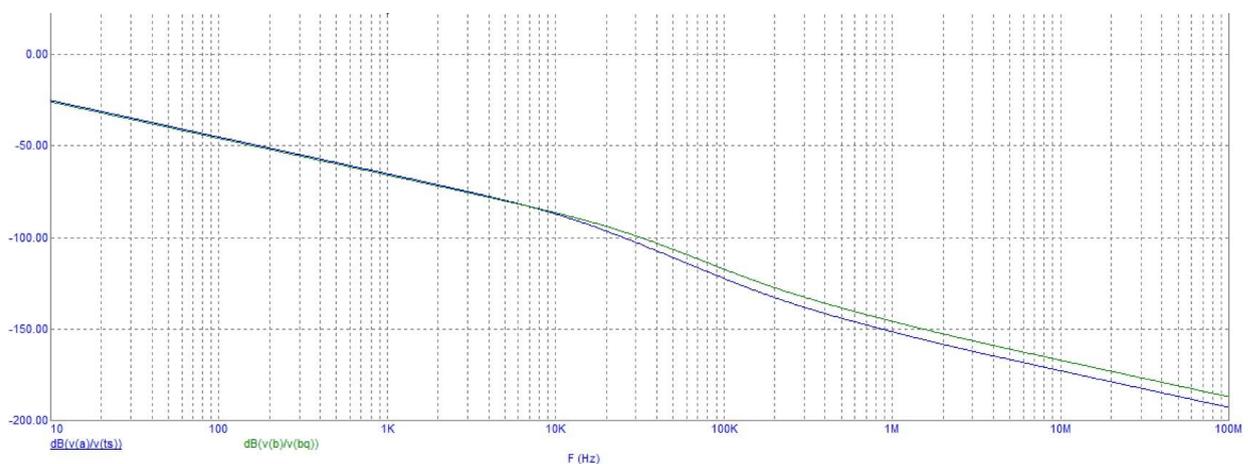


Рисунок 6. АЧ характеристики ФНЧ в измерительном блоке в цепях обоих датчиков

Погрешности машинного эксперимента не превосходят допустимые заданием, следовательно, элементы измерительного блока подобраны правильно.

### Литература

1. Thomas L.N. Integrated Security Systems Design: A Complete Reference for Building Enterprise-Wide Digital Security Systems. UK: Elsevier Science, 2014. 400 p.
2. Серенков В.Ю., Рак А.О., Баранов В.В. Датчики электронных систем безопасности. Лабораторный практикум: пособие: в 2 частях. Минск: Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2015. 60 с.

3. Миронов Э.Г., Бессонов Н.П. Метрология и технические измерения: Учебное пособие для студентов вузов. Москва: Компания КноРус, 2015. 422 с.

4. Якубович В.А., Горбунов С.Г. Вибрационный контроль и диагностика: учебное пособие для подготовки специалистов по методу неразрушающего контроля. Москва: МАКС Пресс, 2007. 195 с.

5. Feng K., Smith W.A., Borghesani P., Randall R.B., Peng Z. Use of cyclostationary properties of vibration signals to identify gear wear mechanisms and track wear evolution. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 2021. Vol. 150, №107258. doi: 10.1016/j.ymssp.2020.107258.

6. Liang Q., Yan X., Liao X., Cao S., Lu S., Zheng X., Zhang Y.. Integrated active sensor system for real time vibration monitoring. *Scientific reports* 5, 2015. №16063. pp. 1-9.

7. Васильева Р.В., Гречинский Д.А., Клюев В.В., и др. Приборы и системы для измерения вибрации, шума и удара: Справочник. В 2-х книгах. Книга 1. Москва: Научно-техническое издательство "Машиностроение", 1978. 448 с.

8. Орехов В.С., Маляров С.В. Унифицированный компьютеризированный комплекс для испытаний датчиков вибрации // *Инженерный вестник Дона*, 2007, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2007/25](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2007/25).

9. Li X., Guo M., Dong S. A flex-compressive-mode piezoelectric transducer for mechanical vibration/strain energy harvesting. *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, 2011. Vol. 58. №4. pp. 698-703. doi: 10.1109/TUFFC.2011.1862.

10. Уткин А.В., Евсеев И.В., Голиков Р.Ю., Тарасов О.А. Экспериментальное исследование стойкости и устойчивости функционирования трибоэлектрических вибрационных периметровых

---

средств обнаружения в условиях воздействия электромагнитных полей молниевых разрядов // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ, 2011. Т. 125. №6. С. 45-48.

11. Crocker M.J., Sommerfeldt S.D. Handbook of noise and vibration control. John Wiley & Sons, 2007. 1584 p. doi: 10.1121/1.2973236

12. Липатников К.А., Сахабутдинов А.Ж., Нуреев И.И., Кузнецов А.А., Морозов О.Г., Феофилактов С.В. Волоконно-оптический датчик вибрации "ВИБ-А" // Инженерный вестник Дона, 2018, №4, URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5207.

### References

1. Thomas L.N. Integrated Security Systems Design: A Complete Reference for Building Enterprise-Wide Digital Security Systems. UK: Elsevier Science, 2014. 400 p.

2. Serenkov V.Yu., Rak A.O., Baranov V.V. Datchiki elektronnykh sistem bezopasnosti. Laboratornyy praktikum: posobie: v 2 chastyakh [Sensors of electronic security systems. Laboratory workshop: manual: in 2 parts]. Minsk: Belorusskiy gosudarstvennyy universitet informatiki i radioelektroniki, 2015. 60 p.

3. Mironov E.G., Bessonov N.P. Metrologiya i tekhnicheskie izmereniya: Uchebnoe posobie dlya studentov vuzov [Metrology and technical measurements: Textbook for university students]. Moskva: Kompaniya KnoRus, 2015. 422 p.

4. Yakubovich V.A., Gorbunov S.G. Vibratsionnyy kontrol' i diagnostika: uchebnoe posobie dlya podgotovki spetsialistov po metodu nerazrushayushchego kontrolya [Vibration control and diagnostics: a textbook for training specialists in the method of non-destructive testing]. Moskva: MAKS Press, 2007. 195 p.

5. Feng K., Smith W.A., Borghesani P., Randall R.B., Peng Z. Mechanical Systems and Signal Processing, 2021. Vol. 150, №107258. doi: 10.1016/j.ymssp.2020.107258.
6. Liang Q., Yan X., Liao X., Cao S., Lu S., Zheng X., Zhang Y.. Scientific reports 5, 2015. №16063. pp. 1-9.
7. Vasil'eva R.V., Grechinskiy D.A., Klyuev V.V., i dr. Pribory i sistemy dlya izmereniya vibratsii, shuma i udara: Spravochnik. V 2-kh knigakh. Kniga 1 [Devices and systems for measuring vibration, noise and shock: a Handbook. In 2 books. Book 1]. Moskva: Nauchno-tehnicheskoe izdatel'stvo "Mashinostroenie", 1978. 448 p.
8. Orekhov V.S., Malyarov S.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2007, №2, URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2007/25](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2007/25).
9. Li X., Guo M., Dong S. IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, 2011. Vol. 58. №4. pp. 698-703. doi: 10.1109/TUFFC.2011.1862.
10. Utkin A.V., Evseev I.V., Golikov R.Yu., Tarasov O.A. Voprosy elektromekhaniki. Trudy VNIIEEM, 2011. T. 125. №6. pp. 45-48.
11. Crocker M.J., Sommerfeldt S.D. Handbook of noise and vibration control. John Wiley & Sons, 2007. 1584 p. doi: 10.1121/1.2973236
12. Lipatnikov K.A., Sakhabutdinov A.Zh., Nureev I.I., Kuznetsov A.A., Morozov O.G., Feofilaktov S.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2018, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5207](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5207).