

Подсистема контроля крутильных колебаний АСКВМ «Вибробит 300»

**Пример реализации для турбоагрегата
ст.№9 ТЭЦ 22 ПАО «Мосэнерго»**

Зайцев Александр Александрович
инженер ООО НПП «Вибробит»

Аппаратура «Вибробит 300»

Основные сведения

- Построение ИС вибрационного контроля и диагностики состояния агрегатов
- Измерение переменных сигналов методом спектрального анализа
- Начало серийного производства - 2005 год
- Оснащено более 400 турбоагрегатов мощностью от 25 до 800МВт
- Непрерывная модернизация аппаратных средств и алгоритмов ЦОС

Аппаратура «Вибробит 300»

Другие виды измерений в промышленном исполнении

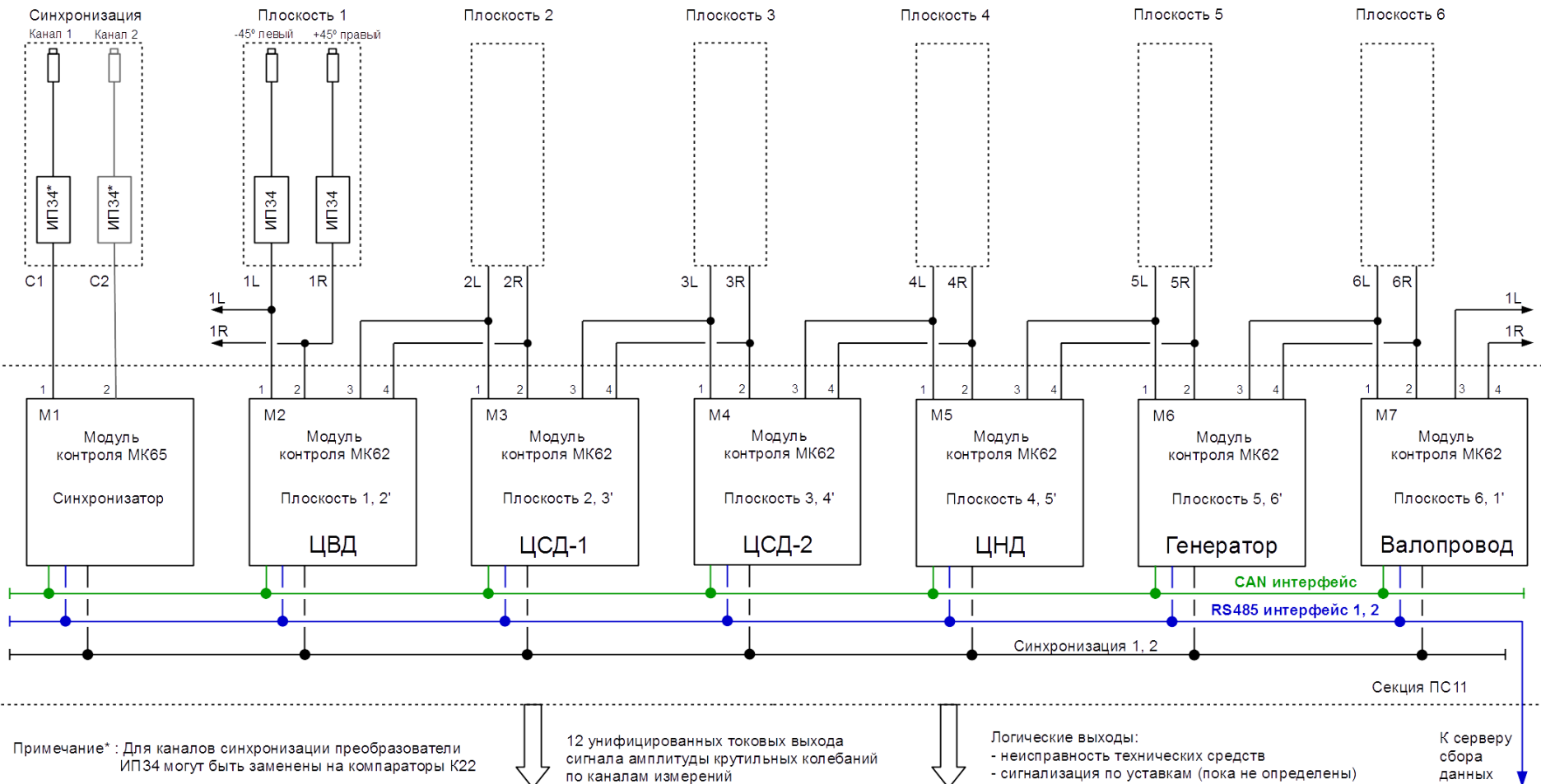
- ОРР для угловых поясков на роторе
- Положение бойка противоразгонного АБ
- Прогиб ротора, изгибная форма во всем диапазоне частот вращения
- Абсолютное виброперемещение ротора
- Крутильные колебания ротора

Подсистема контроля крутильных колебаний

Исходные данные

- В составе АСКВМ «Вибробит 300» для турбоагрегата Т-295/335-23,5, изготавливаемый ЗАО «УТЗ» для ст.№9 ТЭЦ-22 ПАО «Мосэнерго»
- Дискретно-фазовый метод измерения
- Контрольные поверхности - по 16 меток на полумуфтах роторов
- Количество контрольных поверхностей - 6
- Частотный диапазон - от 0 до 200 Гц
- Дискретность измерения размаха КК - 0,001°

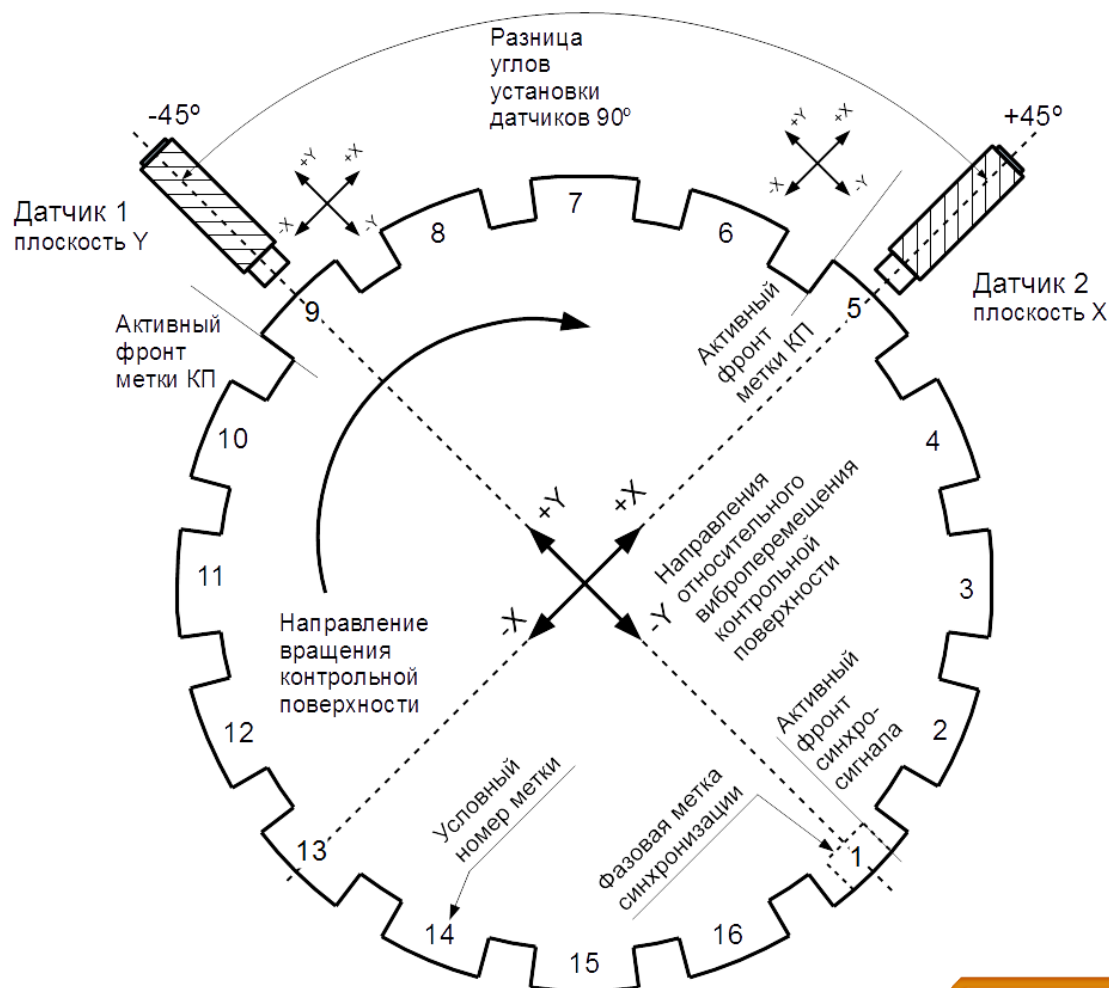
Структурная схема подсистемы КК



Перечень измерительных каналов КК

Код	Место установки	Ориентация датчика	Канал измерения основной	Канал измерения дополнит.
КК 1L	Свободный конец РВД	-45° левый	М2 - МК62 - 1	М7 - МК62 - 3
КК 1R	Свободный конец РВД	+45° правый	М2 - МК62 - 2	М7 - МК62 - 4
КК 2L	Муфта РВД-РСД1	-45° левый	М3 - МК62 - 1	М2 - МК62 - 3
КК 2R	Муфта РВД-РСД1	+45° правый	М3 - МК62 - 2	М2 - МК62 - 4
КК 3L	Муфта РСД1-РСД2	-45° левый	М4 - МК62 - 1	М3 - МК62 - 3
КК 3R	Муфта РСД1-РСД2	+45° правый	М4 - МК62 - 2	М3 - МК62 - 4
КК 4L	Муфта РСД2-РНД	-45° левый	М5 - МК62 - 1	М4 - МК62 - 3
КК 4R	Муфта РСД2-РНД	+45° правый	М5 - МК62 - 2	М4 - МК62 - 4
КК 5L	Муфта РНД-РГ	-45° левый	М6 - МК62 - 1	М5 - МК62 - 3
КК 5R	Муфта РНД-РГ	+45° правый	М6 - МК62 - 2	М5 - МК62 - 4
КК 6L	Свободный конец РГ	-45° левый	М7 - МК62 - 1	М6 - МК62 - 3
КК 6R	Свободный конец РГ	+45° правый	М7 - МК62 - 2	М6 - МК62 - 4
ОС С1	Муфта РНД-РГ	-45°	М2 - МК65 - 1	нет

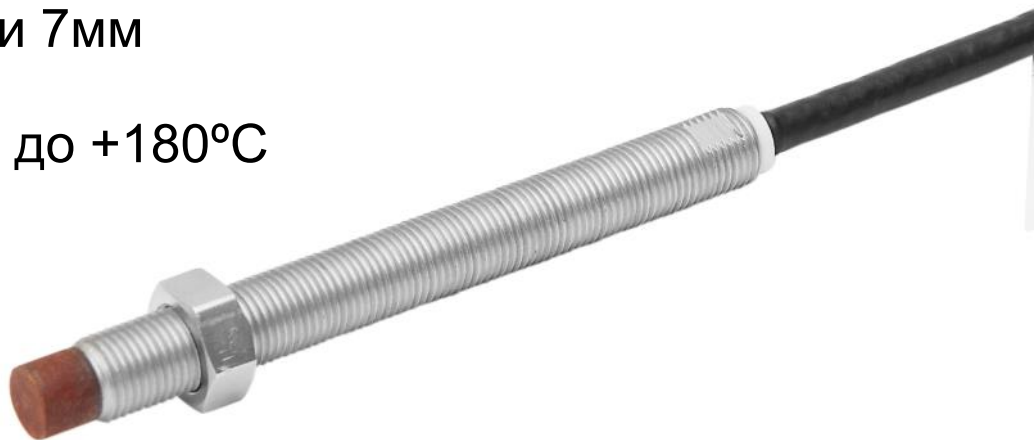
Установка датчиков в плоскости измерения



Аппаратные средства

Цилиндрический датчик ДВТ10

- Диапазон измерения перемещения 0 - 2000мкм
- Установочный зазор 500 мкм
- Диаметр датчика - М10
- Диаметр измерительной катушки 7мм
- Температурный диапазон от -40 до +180°С



Аппаратные средства

Измерительный преобразователь ИП34

- Частотный диапазон DC - 15кГц
- Выходной сигнал - ток 4-20мА
- Напряжение питания +24В DC
- Температурный диапазон от -40 до +70°C



Аппаратные средства

Модуль контроля МК65 - синхронизатор

- Измерение частоты вращения ротора
- Измерение зазора до КП
- Расчет угла компенсации фазового сигнала
- Контроль исправности канала измерения
- Формирование сигнализации
- Передача результатов по цифровым каналам связи



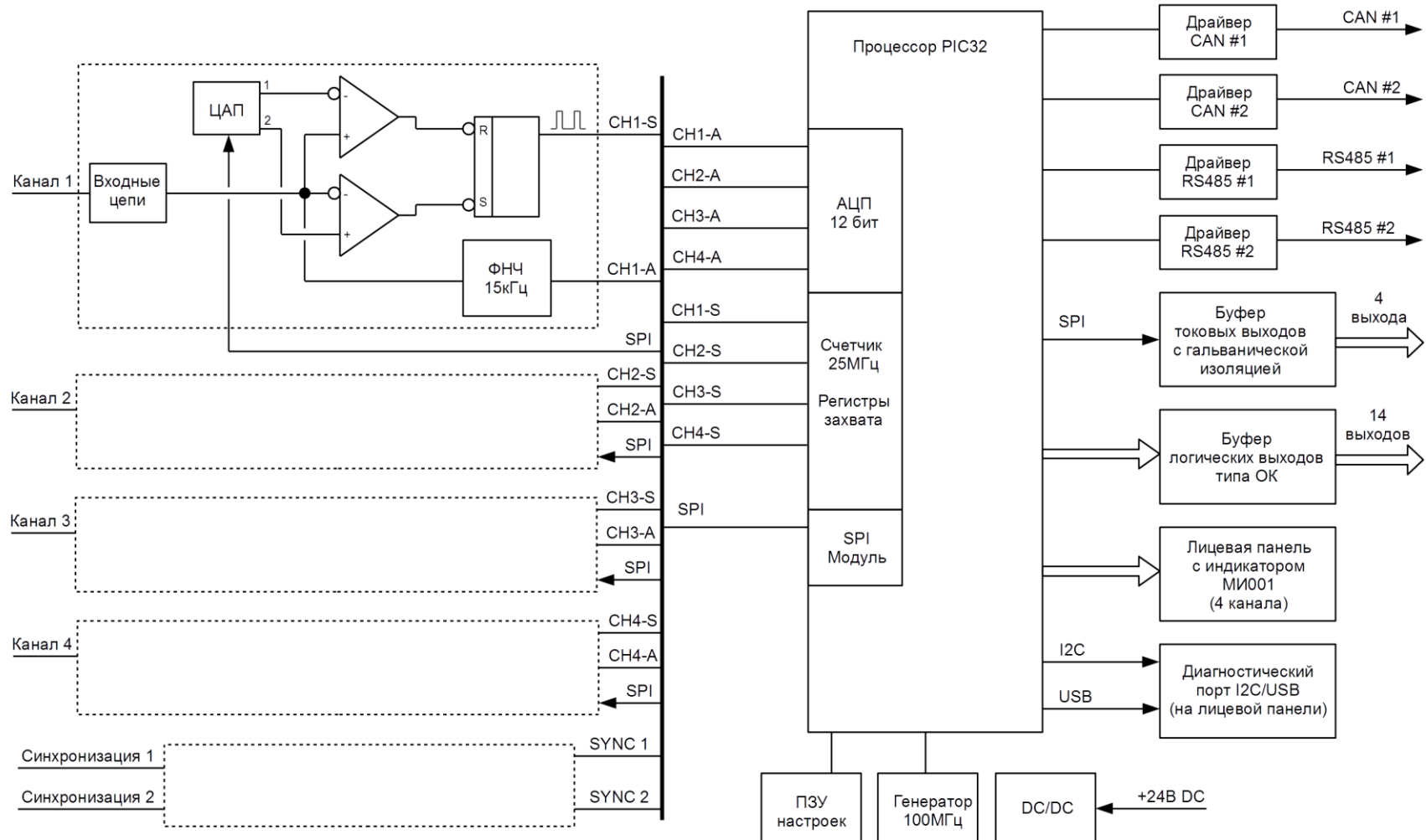
Аппаратные средства

Модуль контроля МК62 - измеритель КК

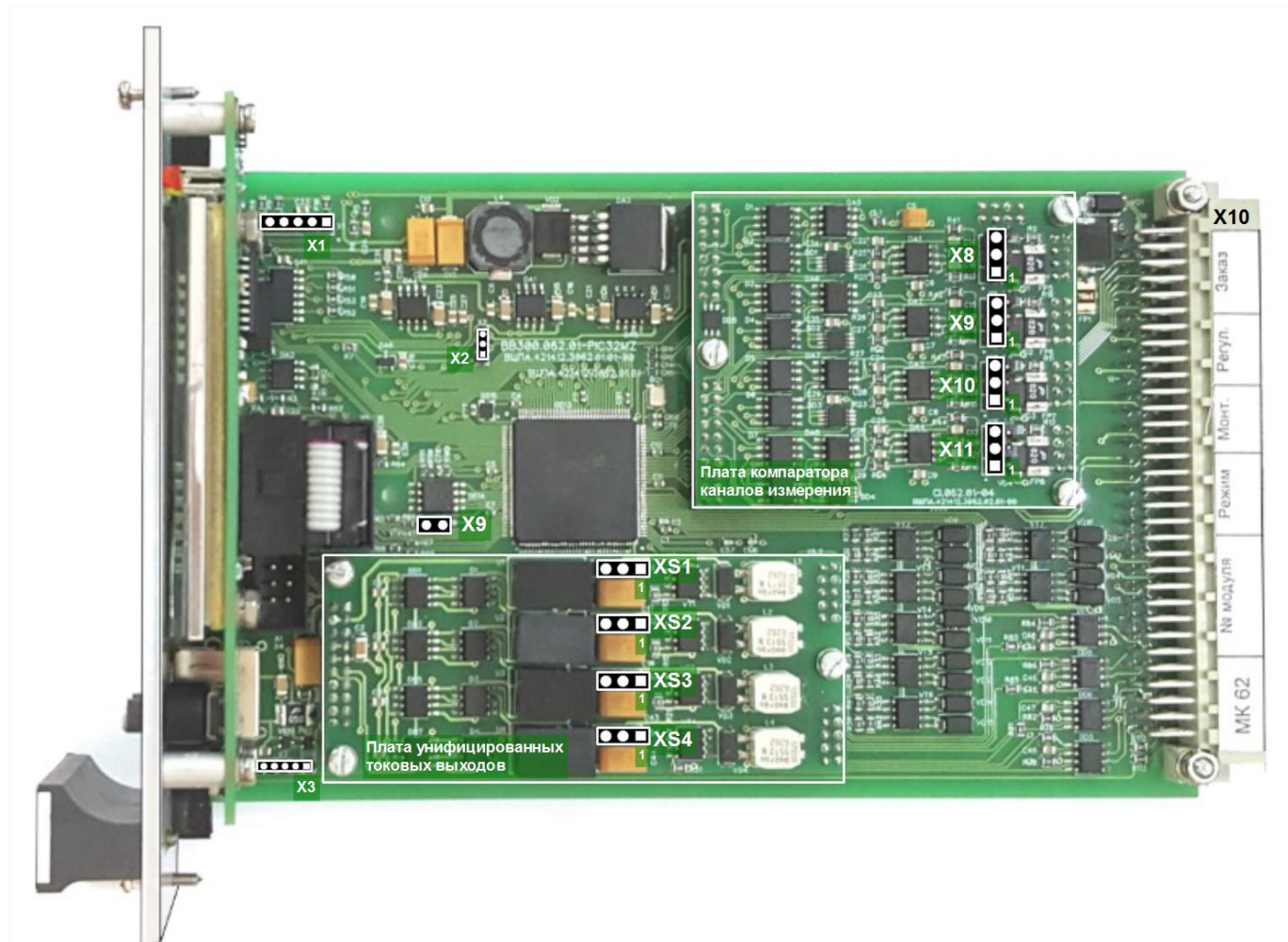
- Измерение размаха КК
- Измерение зазора и относительного перемещения КП
- Измерение статического угла
- Измерение частоты вращения КП
- Контроль исправности канала измерения
- Формирование сигнализации
- Передача результатов по цифровым каналам связи



Структурная схема модуля МК62



Внешний вид платы модуля МК62



Аппаратные средства

Микроконтроллера ЦОС - PIC32MZ

- 32-разрядный процессор с функциями ЦОС
- Поддержка математики с плавающей запятой
- Тактовая частота до 250МГц
- Аппаратные 32-разрядные счетчики с функцией захвата
- 12-разрядное быстродействующее АЦП
- Поддержка интерфейсов связи CAN, USB, Ethernet
- Низкое энергопотребление



Измерение крутильных колебаний

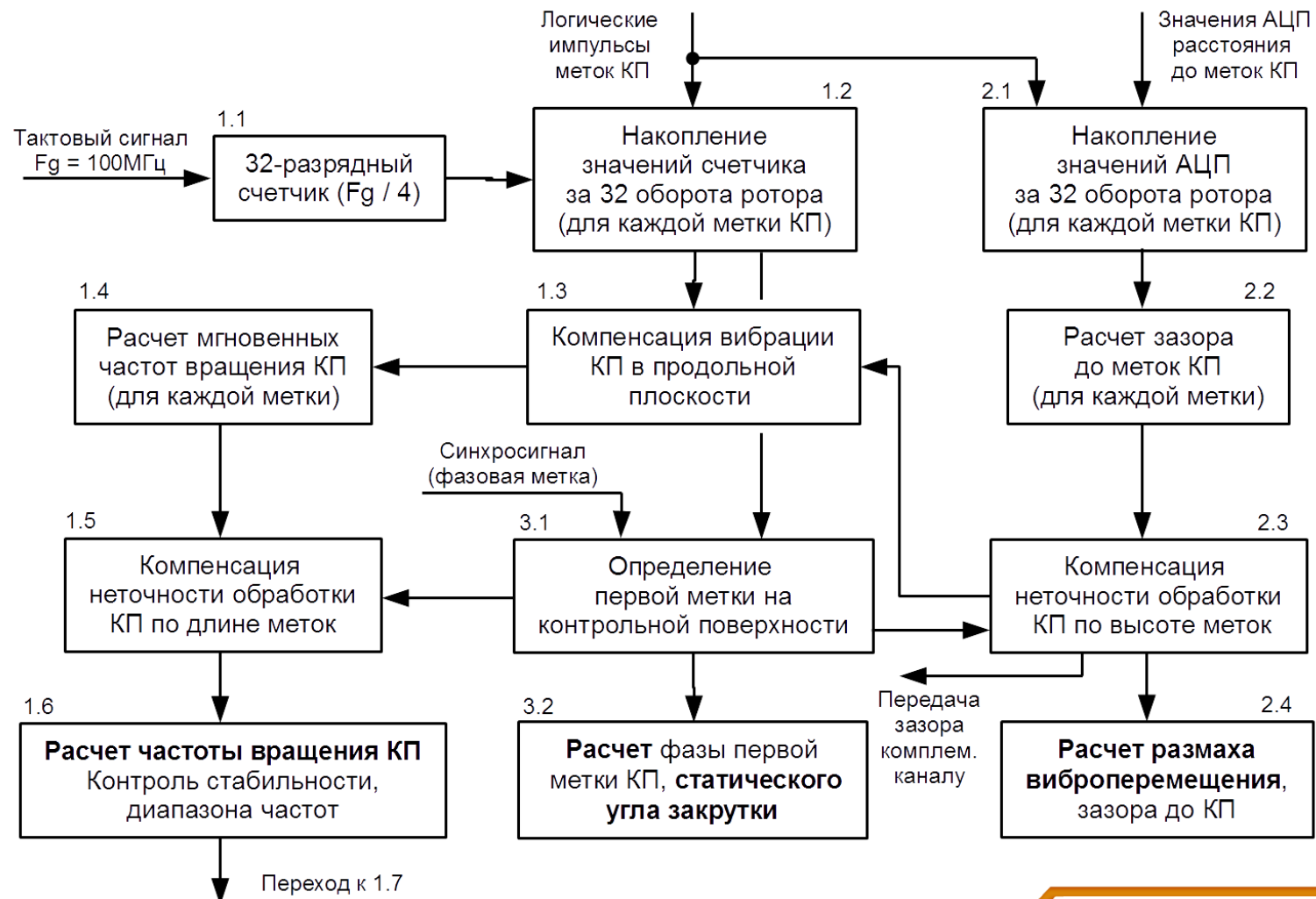
Перечень измеряемых параметров и компенсаций

- Измерение и контроль частоты вращения КП
- Измерение относительного виброперемещения и зазора до КП
- Компенсация неточности механической обработки меток КП
по длине и высоте
- Компенсация вибрации КП в поперечной и продольной плоскости
- Расчет спектра размаха крутильных колебаний
- Расчет результирующего размаха крутильных колебаний

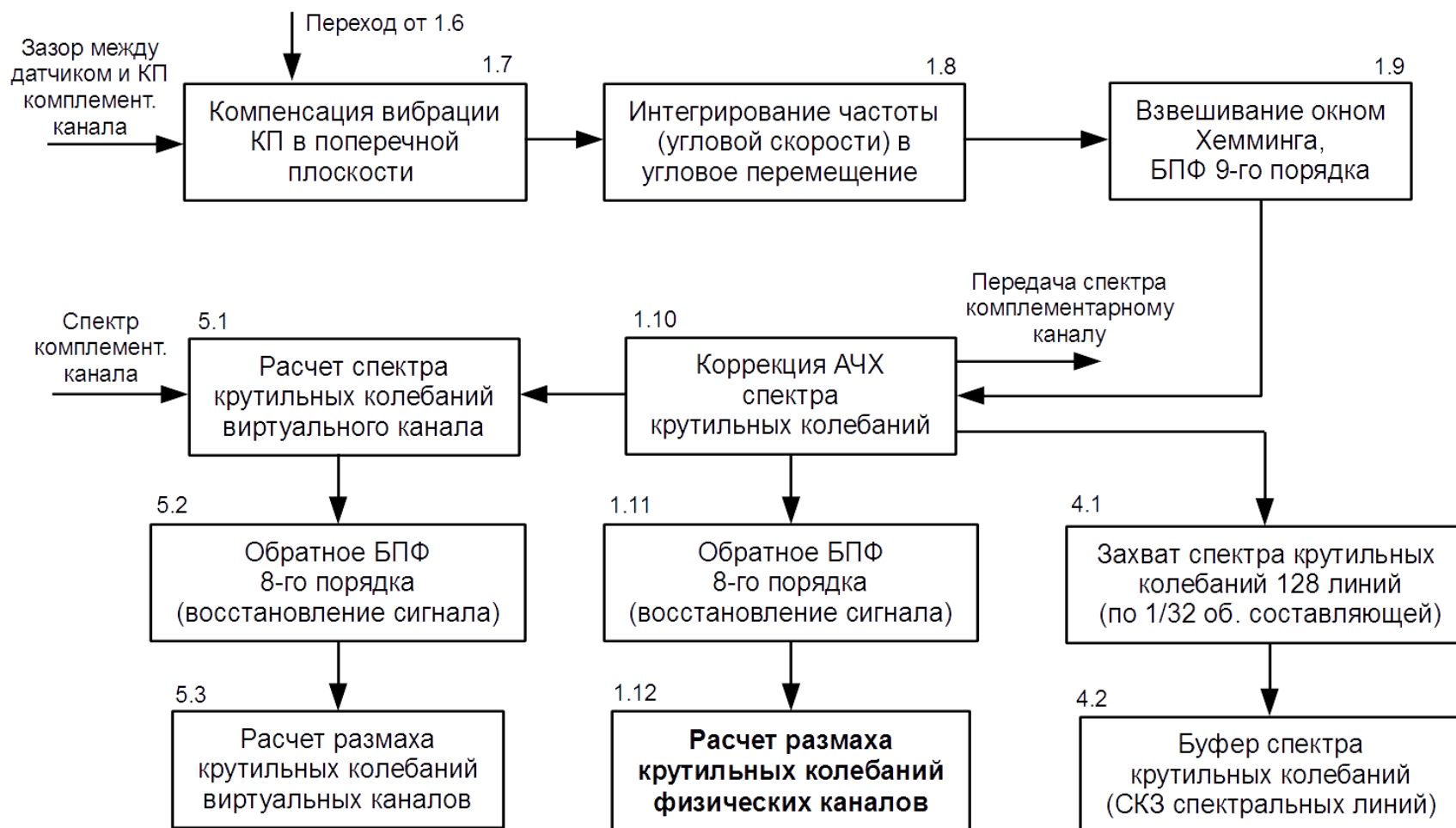
Технические характеристики канала измерения КК

Наименование параметра	Значение
Диапазон измерения и сигнализации, гр	0,01 - 1,99
Дискретность измерений, гр	0,001
Диапазон частот измерения (от и до включ.), оборотных составляющих	1/8 – 4
Диапазон измерения фазы синусоидального сигнала (от и до включ.), гр.	0 – 360
Базовая частота измерения, номер оборотной составляющей	1
Неравномерность амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) в диапазонах частот, %	±5,0
Предел допускаемой основной относительной погрешности измерения на базовой частоте по дисплею и унифицированному выходу, %	±5,0
Спектральное разрешение измерения оборотных составляющих	1/32 оборотной составляющей
Период измерений, оборотов ротора	32
Предельный диапазон частоты вращения КП, об/мин	10 – 12 000
Число меток КП	от 1 до 64

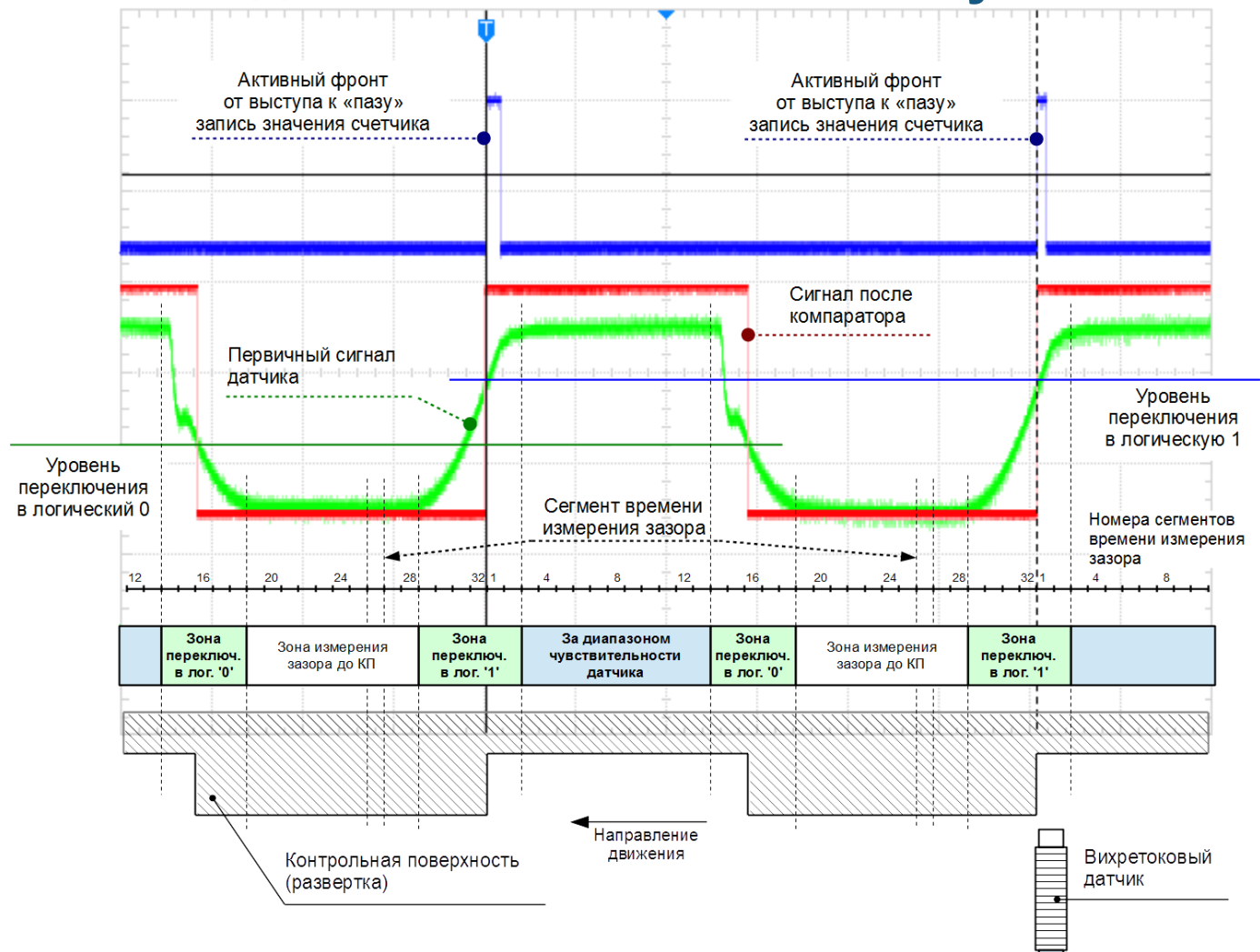
Алгоритм вычисления КК - Часть 1



Алгоритм вычисления КК - Часть 2



Выделение логических импульсов



Влияние виброперемещения, смещения КП

Периодические колебания

- Проявляются в виде ошибочных значений размаха КК
- Чем меньше диаметр КП, тем больше влияние относительного виброперемещения

Смещение (изменение зазора)

- Создает постоянное смещение фазы переключения компараторов
- На размах КК влияния не оказывает

Компенсация неточности обработки меток КП по высоте

Влияние:

- Недостоверное вычисление размаха относительного виброперемещения КП
(наличие постоянной величины, даже при отсутствии вибрации)
- Недостоверная компенсация относительной вибрации КП
в продольной и поперечной плоскостях

Компенсация неточности обработки меток КП по высоте

Методика компенсации:

1. Вычисляется фактический зазор между датчиком и каждой меткой КП
2. Вычисляется отклонение от среднего значения введенных данных зазора/высоты меток КП
3. Значение отклонений добавляются (вычитаются) к фактическому зазору по каждой метки КП с учетом определения первой метки в выборке данных

Компенсация неточности обработки КП по длине меток

Влияние:

- Ложная девиацию размаха угловой скорости, повторяющуюся каждый оборот КП и синхронно с первой (условно) меткой КП

Методика компенсации:

1. Вычисляется отклонение от среднего значения введенных данных длины меток КП
2. Значение относительного отклонения умножаются на угловую скорость каждой метки КП с учетом определения первой метки в выборке данных

Компенсация неточности обработки КП

	Длина, мкм		Высота, мкм		
Метка 1	98 199	<i>i</i>	385	<i>i</i>	
Метка 2	98 199	<i>i</i>	383	<i>i</i>	
Метка 3	98 186	<i>i</i>	387	<i>i</i>	
Метка 4	98 164	<i>i</i>	386	<i>i</i>	
Метка 5	98 152	<i>i</i>	384	<i>i</i>	
Метка 6	98 152	<i>i</i>	391	<i>i</i>	
Метка 7	98 168	<i>i</i>	385	<i>i</i>	
Метка 8	98 186	<i>i</i>	385	<i>i</i>	
Метка 9	98 202	<i>i</i>	386	<i>i</i>	
Метка 10	98 199	<i>i</i>	385	<i>i</i>	
Метка 11	98 186	<i>i</i>	387	<i>i</i>	
Метка 12	98 164	<i>i</i>	384	<i>i</i>	
Метка 13	98 152	<i>i</i>	383	<i>i</i>	
Метка 14	98 152	<i>i</i>	382	<i>i</i>	
Метка 15	98 168	<i>i</i>	387	<i>i</i>	
Метка 16	98 186	<i>i</i>	382	<i>i</i>	

Отображение результатов измерения длины,
высоты меток КП канала измерения #01 в ПО ModuleConfigurator

Компенсация неточности обработки КП

	01. Канал #1	02. Канал #2	03. Канал #3	04. Канал #4
01.1 Компенсация неточности обработки КП (активное состояние)	☒	☐	☐	☐
01.2 Параметры компенсации неточности обработки КП корректны	☒	☒	☐	☐
02.0 Частота вращения контрольной поверхности, об/мин	3000,1	375,0	0,0	0,0
03. Характеристика КП до компенсации				
03.1 Средняя длина метки КП, мкм	98 174	0	0	0
03.2 Увеличение от среднего (пик), мкм	308	0	0	0
03.2 Уменьшение от среднего (пик), мкм	148	0	0	0
03.2 СКЗ отклонения от среднего, мкм	112,707	0,000	0,000	0,000
04. Характеристика КП после компенсации				
04.1 Средняя длина метки КП, мкм	98 177	0	0	0
04.2 Увеличение от среднего (пик), мкм	28	0	0	0
04.2 Уменьшение от среднего (пик), мкм	28	0	0	0
04.2 СКЗ отклонения от среднего, мкм	18,586	0,000	0,000	0,000

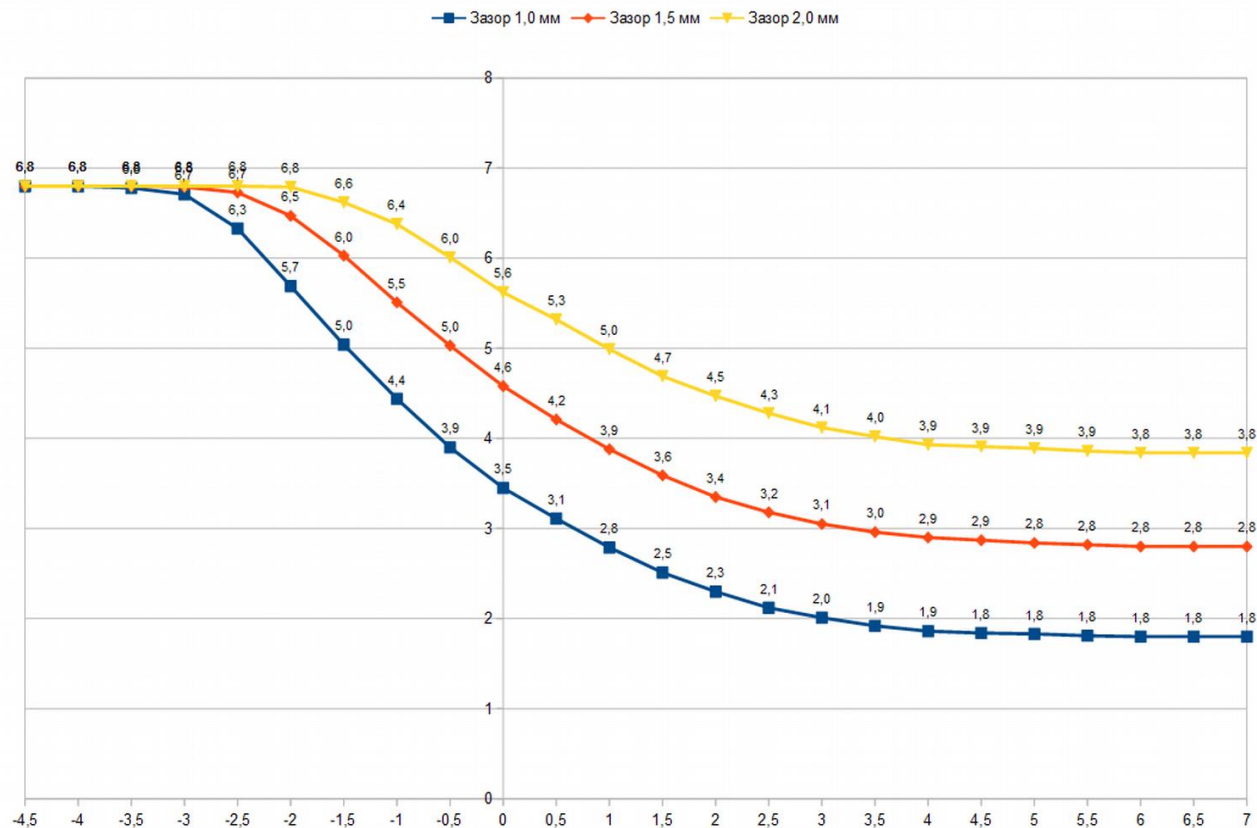
Отображение отчета работы алгоритма компенсации неточности обработки КП
по длине меток канала измерения #01 в ПО ModuleConfigurator

Компенсация относительного виброперемещения КП вдоль оси датчика

Влияние:

- Вызывает смещение точки компарирования активного фронта сигнала
- Проявляется в смещении значения тактового счетчика, фиксируемого по активному фронту метки КП
- Появление ложных спектральных составляющих КК

Компенсация относительного виброперемещения КП вдоль оси датчика



Передаточная характеристики вихретокового датчика ДВТ10 с преобразователем ИПЗ4

Компенсация относительного виброперемещения КП вдоль оси датчика

Методика компенсации:

1. Не требуется наличие импульсов синхронизации
2. Для положительного и отрицательного отклонений от рабочего положения предусмотрены разные коэффициенты влияния
3. При неправильной настройки алгоритма возможна перекомпенсация, появление ложных спектральных составляющих в сигнале КК

Компенсация относительного виброперемещения КП перпендикулярно оси датчика

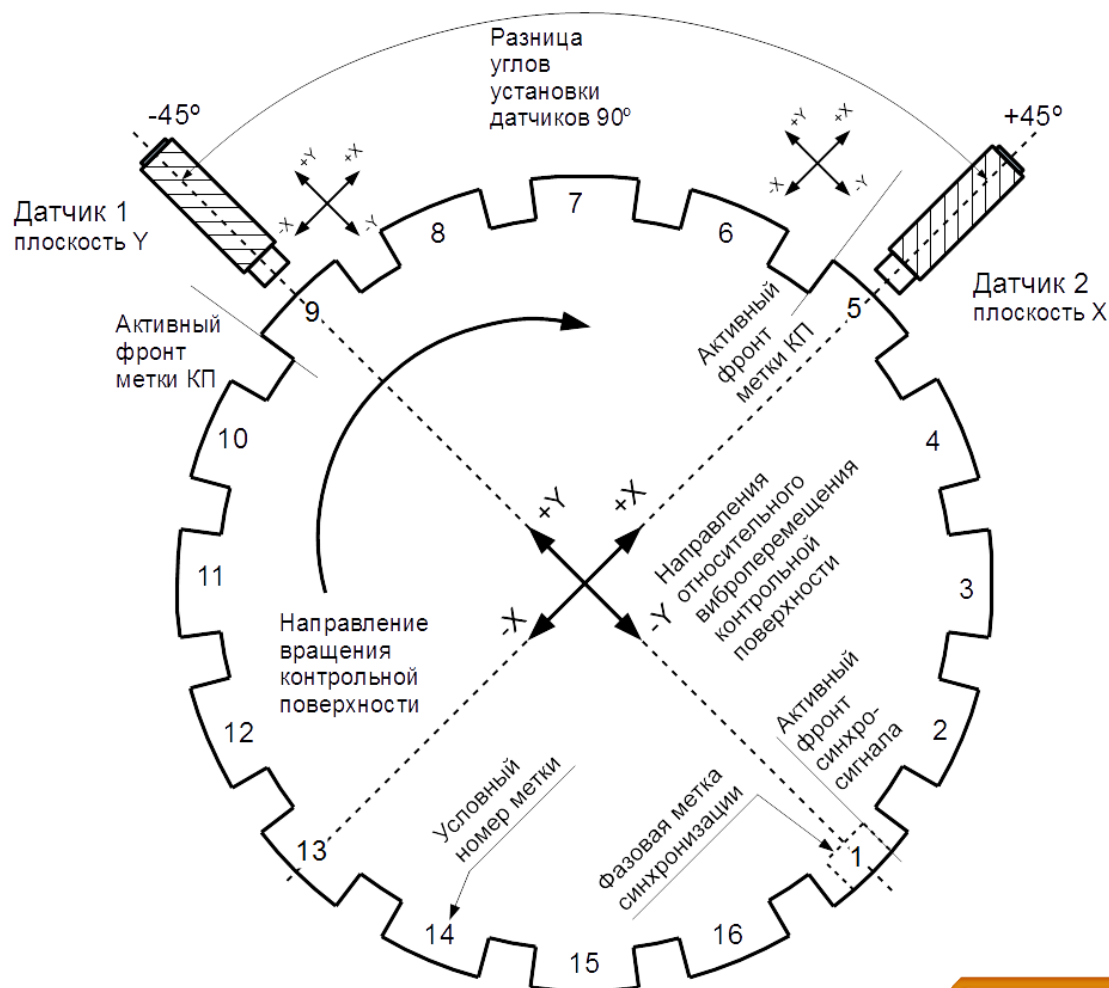
Влияние:

- Смещение активного фронта логического сигнала, выделяемого компаратором
- Появление ложных спектральных составляющих КК

Методика компенсации:

1. Не требуется наличие импульсов синхронизации
2. Наличие комплементарного датчика измерения мгновенного зазора до КП
3. Компенсация выполняется для каждой метки КП с учетом разницы углов установки датчиков

Установка датчиков в плоскости измерения



Виртуальные каналы

Назначение:

- Оценка механической нагрузки на элементы конструкции контролируемого агрегата

Вычисляемые параметры:

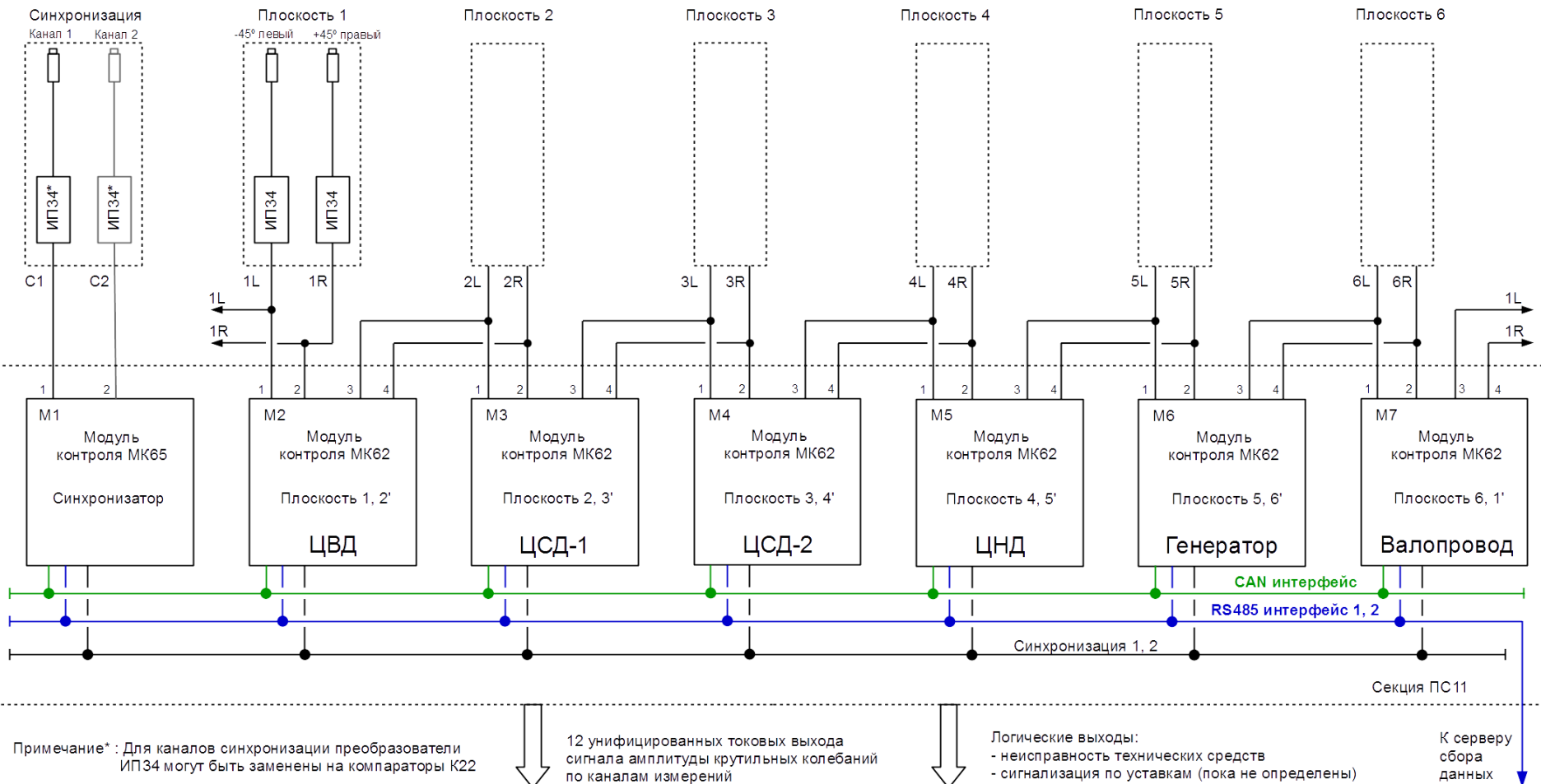
- Размах крутильных колебаний
- Результирующий спектр КК
- Статическое скручивание

Виртуальные каналы

	Вирт. канал #01	Вирт. канал #02
01. Режим работы	2 - Вычитание арг. 2 из 1 ▼ <i>i</i> ✕	2 - Вычитание арг. 2 из 1 ▼ <i>i</i> ✕
02.1 Аргумент 1 (канал измерения)	1 - Спектр канала #01 ▼ <i>i</i> ✕	2 - Спектр канала #02 ▼ <i>i</i> ✕
02.2 Аргумент 2 (канал измерения)	3 - Спектр канала #03 ▼ <i>i</i> ✕	4 - Спектр канала #04 ▼ <i>i</i> ✕
03. Усреднение переменного угла КК	4 цикла ▼ <i>i</i> ✕	4 цикла ▼ <i>i</i> ✕
04. Блокировка работы. Маска, логика 'ИЛИ'	04.CHER 01; 06.CHER 03; ✎ <i>i</i> ✕	05.CHER 02; 07.CHER 04; ✎ <i>i</i> ✕
05. Коэффициент коррекции амплитуды спектральных линий	1 <i>i</i> ✕	1 <i>i</i> ✕

Пример настройки виртуальных каналов в ПО ModuleConfigurator

Структурная схема подсистемы КК



Виртуальные каналы

Перечень узлов контроля КК для турбоагрегата ст.9 ТЭЦ-22 ПАО «Мосэнерго»

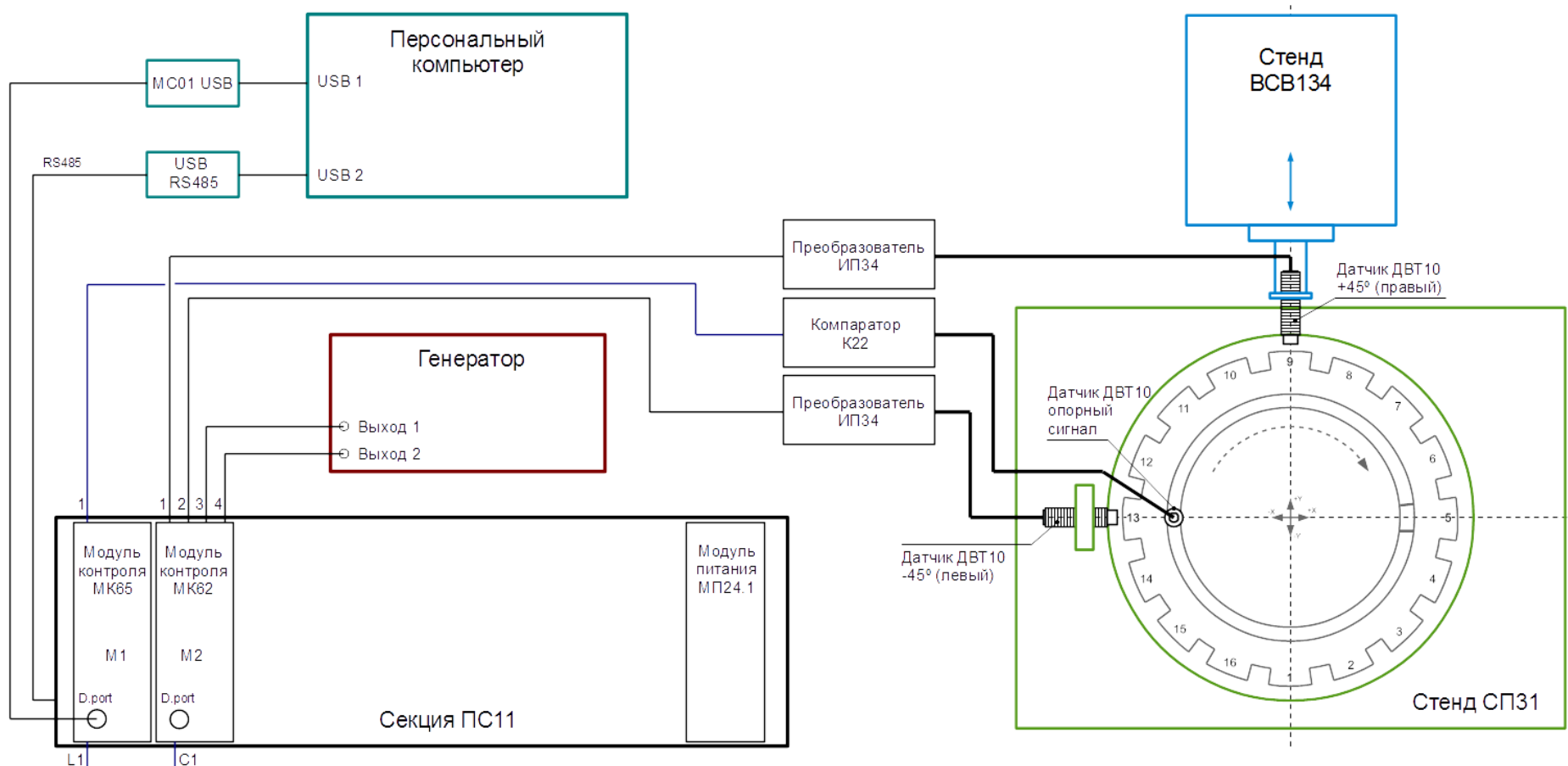
- Ротор высокого давления (РВД)
- Ротор среднего давления №1 (РСД1)
- Ротор среднего давления №2 (РСД2)
- Ротор низкого давления (РНД)
- Ротор генератора (РГ)
- Валопровод ТГ

Испытательная установка

Состав:

- Стенд СП31, содержащий диск с 16 метками
- Датчики контроля КК, размещенные во взаимно-перпендикулярном направлении
- Датчик опорного сигнала (фазовой метки)
- Вибростенд имитации относительного виброперемещения КП
- Цифровой генератор сигналов произвольной формы
- Персональный компьютер
- Модули МК65, МК62 аппаратуры «Вибробит 300»

Испытательная установка



Заключение

Проведен полный цикл исследовательских и опытно-конструкторских работ по разработке аппаратных средств и ПО построения систем контроля КК

Испытания, проведенные на испытательном стенде и с применением цифровых генераторов сигналов, показали положительные результаты

После монтажа и наладки подсистемы КК непосредственно на турбоагрегате будет принято решение о утверждении типа СИ

Информационные материалы

Сборник докладов ОАО «ВТИ»

IX Международной научно-технической конференции

- Разработка подсистемы контроля крутильных колебаний АСКВМ «Вибробит 300» для турбоагрегата ст.№9 ТЭЦ-22 ПАО «Мосэнерго»

Документация ООО НПП «Вибробит», инструкции по настройке:

- ВШПА.42.1412.3062 Модуль контроля МК62
- ВШПА.42.1412.3065 Модуль контроля МК65
- ВШПА.421412.318.10 И1 Подсистема КК

Спасибо за внимание!