

Релейная защита и автоматика энергосистем



Средства измерений электрических величин
Комплексное проектирование электроэнергетических объектов
Энергетические обследования

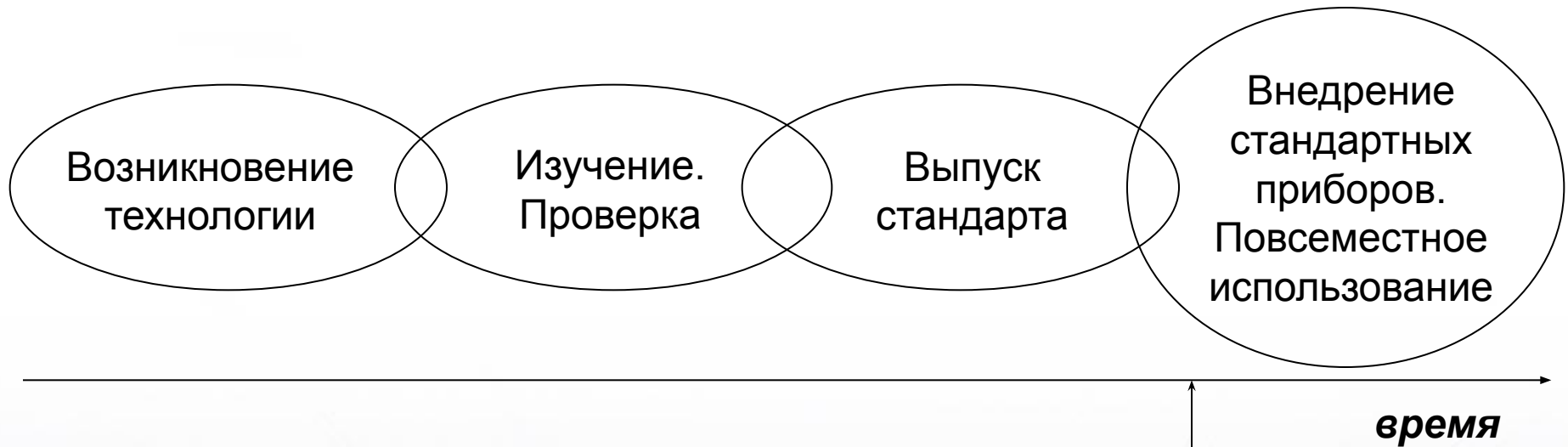
Технология измерения синхронизированных векторных параметров электрического режима

Андрей Николаевич Покидышев

Москва, 29-31 мая 2012 г.

Технология измерения синхронизированных векторных параметров электрического режима

Жизненный цикл технологии (упрощённая схема)



IEEE Standard for Synchrophasor Measurements for Power Systems

IEEE Power & Energy Society

Sponsored by the
Power System Relaying Committee

IEEE
3 Park Avenue
New York, NY 10016-5997
USA

IEEE Std C37.118.1™-2011
(Revision of
IEEE Std C37.118™-2005)

28 December 2011

Содержание стандарта

- I. Определения параметров
(синхрофазор, частота, скорость изменения частоты)
- II. Набор испытаний
 - статические сигналы
 - динамические сигналы
- III. Базовая модель
Призвана подтвердить выполнимость требований



I. Определения параметров

Скорость изменения частоты = $\frac{d}{dt}$ частоты

Частота = $\frac{d}{dt}$ (угла синхрофазора)

Синхрофазор ?



I. Определения параметров

Соотношения между частотным составом синхрофазора и его угла

Пусть синхрофазор – сумма двух гармонических колебаний с частотами f_1 и f_2 .

Тогда угол синхрофазора (в общем случае) представляет сумму гармонических колебаний комбинационных частот

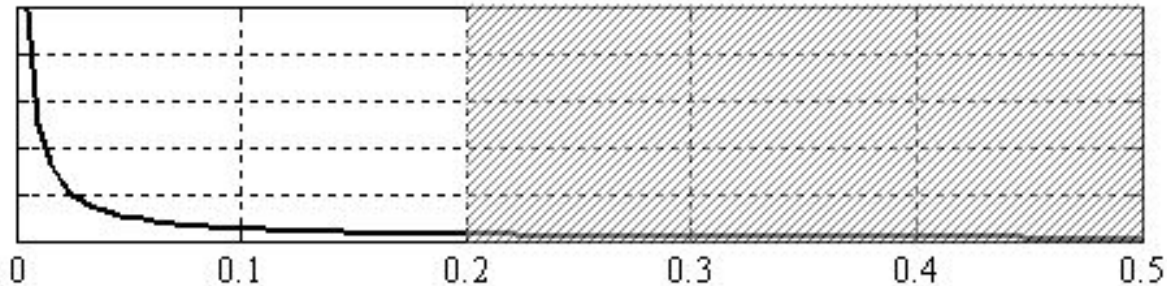
$$n \cdot f_1 + m \cdot f_2, \text{ где } n, m \in \mathbb{Z}.$$



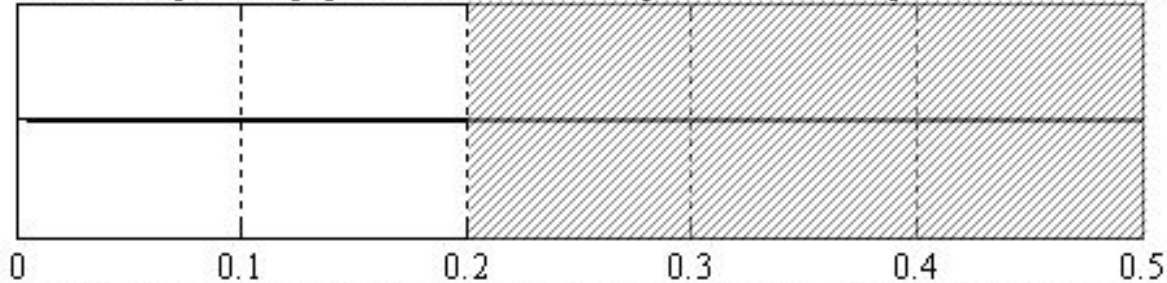
I. Определения параметров

Соотношения между частотными спектрами угла, частоты и скорости изменения частоты

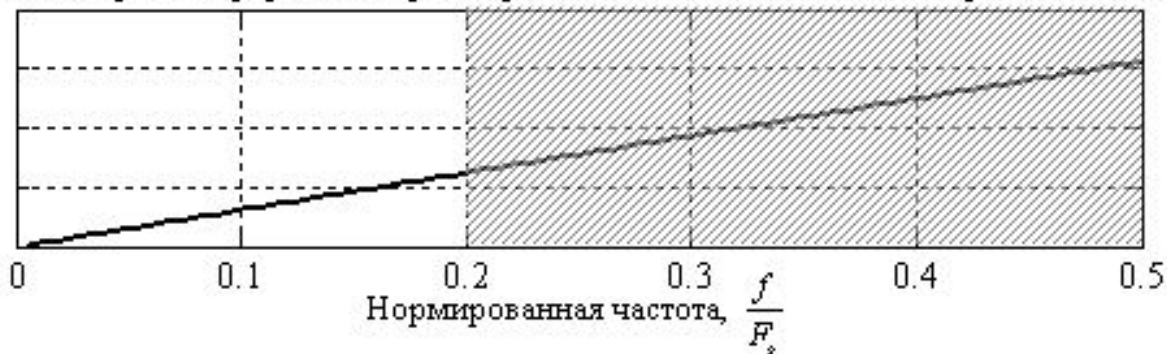
Форма спектра колебаний угла электрического сигнала



Соответствующая форма частотного спектра частоты электрического сигнала



Соответствующая форма спектра скорости изменения частоты электрического сигнала

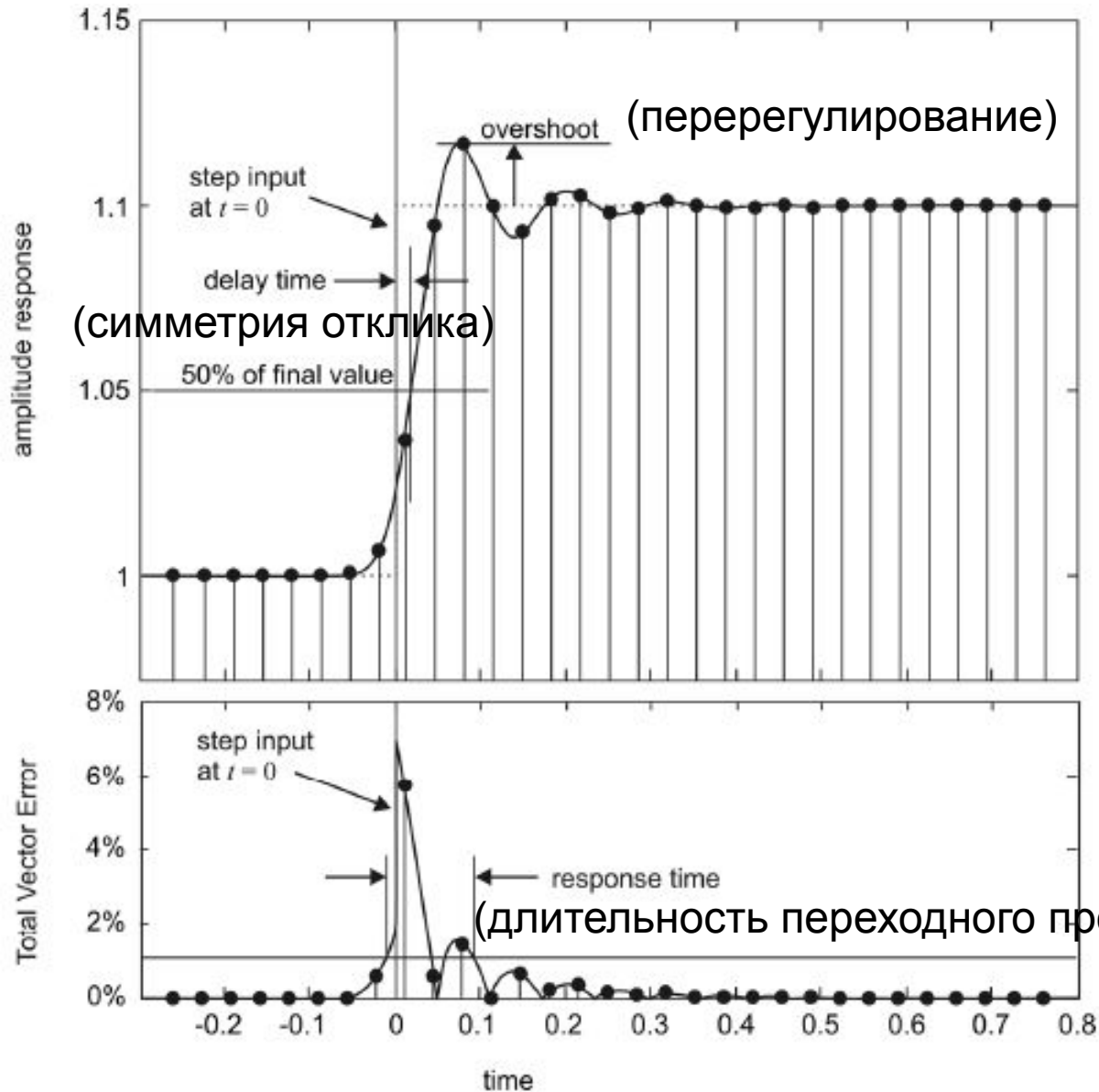




II. Испытания на соответствие стандарту

Вид испытания	Параметры	Требования
1. Стационарными сигналами	Частота ± 2 Гц, напряжение 10-120%, ток 10-200%, угол $\pm \pi$	$TVE < 1\%$, $FE < 0.005$ Гц, $RFE < 0.01$ Гц/с
- В присутствии гармоник	10% до 50-ой	$TVE < 1\%$, $FE < (0.005)0.025$ Гц, $RFE < (2)6$ Гц/с
- В присутствии внеполосной помехи	10% от 10 Гц до $f_{nom} - F_s/2$ и от $f_{nom} + F_s/2$ до $2 \cdot f_{nom}$	$TVE < 1,3\%$, $FE < 0.01$ Гц, $RFE < 0.1$ Гц/с
2. Динамическими сигналами		
- Синусоидально-модулированными колебаниями	Фазовая и амплитудно-фазовая модуляция с частотой до $F_s/5$	$TVE < 3\%$, $FE < (0.06)0.3$ Гц, $RFE < (2)30$ Гц/с
- С линейно изменяющейся частотой	Частота меняется в пределах $f_{nom} \pm F_s/5$	$TVE < 1\%$, $FE < 0.005$ Гц, $RFE < 0.1$ Гц/с
- Ступенчатыми	Амплитуда: $\pm 10\%$ или угол: $\pm 10^\circ$.	Задержка, длительность переходного процесса, перерегулирование, симметрия отклика

II. Испытания на соответствие стандарту



II. Испытания на соответствие стандарту

Результаты анализа требований

- Точность измерения прибором параметров зависит от вида сигнала
- Частотные характеристики прибора в переходных полосах не покрываются испытаниями
- Приборы подвергаются испытаниям внеполосной помехой только в определённых частотных диапазонах
- Приборы класса Р (для защиты) не подвергаются испытаниям внеполосной помехой
- Приборы класса М (для мониторинга) для темпов передачи меньше 10 Гц не подвергаются испытаниям внеполосной помехой

II. Испытания на соответствие стандарту

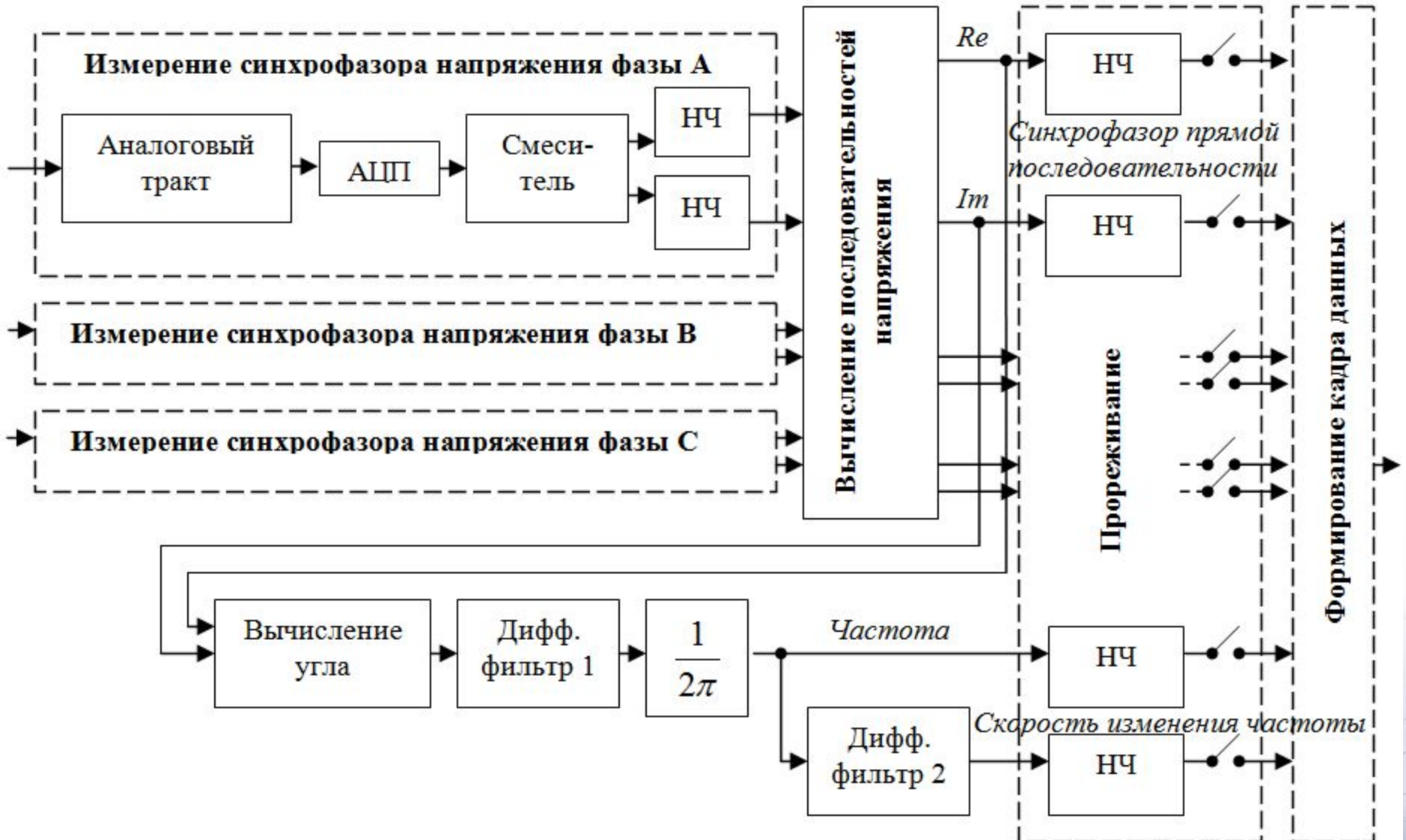
Выводы для пользователей приборов

- Точность измерения параметров зависит от режима работы ЭЭС
- Единство измерений достигается только для ограниченного класса сигналов
- Приборы класса М (для мониторинга) защищены только от помех определённых частотных диапазонов
- Приборы класса Р (для защиты) не защищены от внеполосных помех
- Приборы класса М при темпах передачи менее 10Гц не защищены от внеполосных помех



III. Базовая модель

Базовая модель из стандарта:



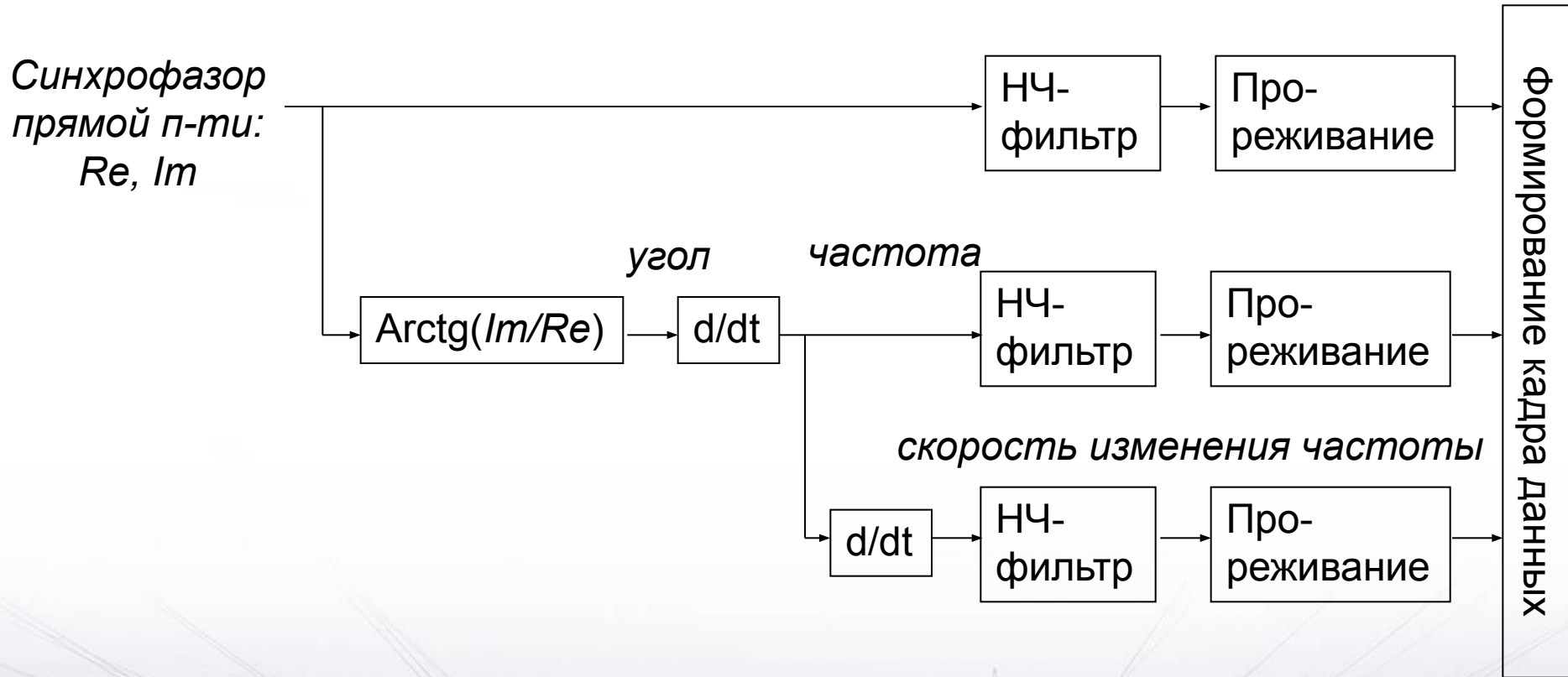
III. Базовая модель

Фрагмент кадра данных

Номер поля в кадре	Название поля	Комментарий
4	SOC	Целое число секунд временной метки
5	FRACSEC	Здесь содержится дробная часть секунды временной метки
7	PHASORS	Фазоры (парами: реальная – мнимая части или амплитуда - угол)
8	FREQ	Девияция частоты
9	DFREQ	Скорость изменения частоты

III. Базовая модель

Базовая модель из стандарта:



III. Базовая модель

Свойство базовой модели из стандарта:

Потеря соответствия между параметрами (синхрофазором и частотой, синхрофазором и скоростью изменения частоты):

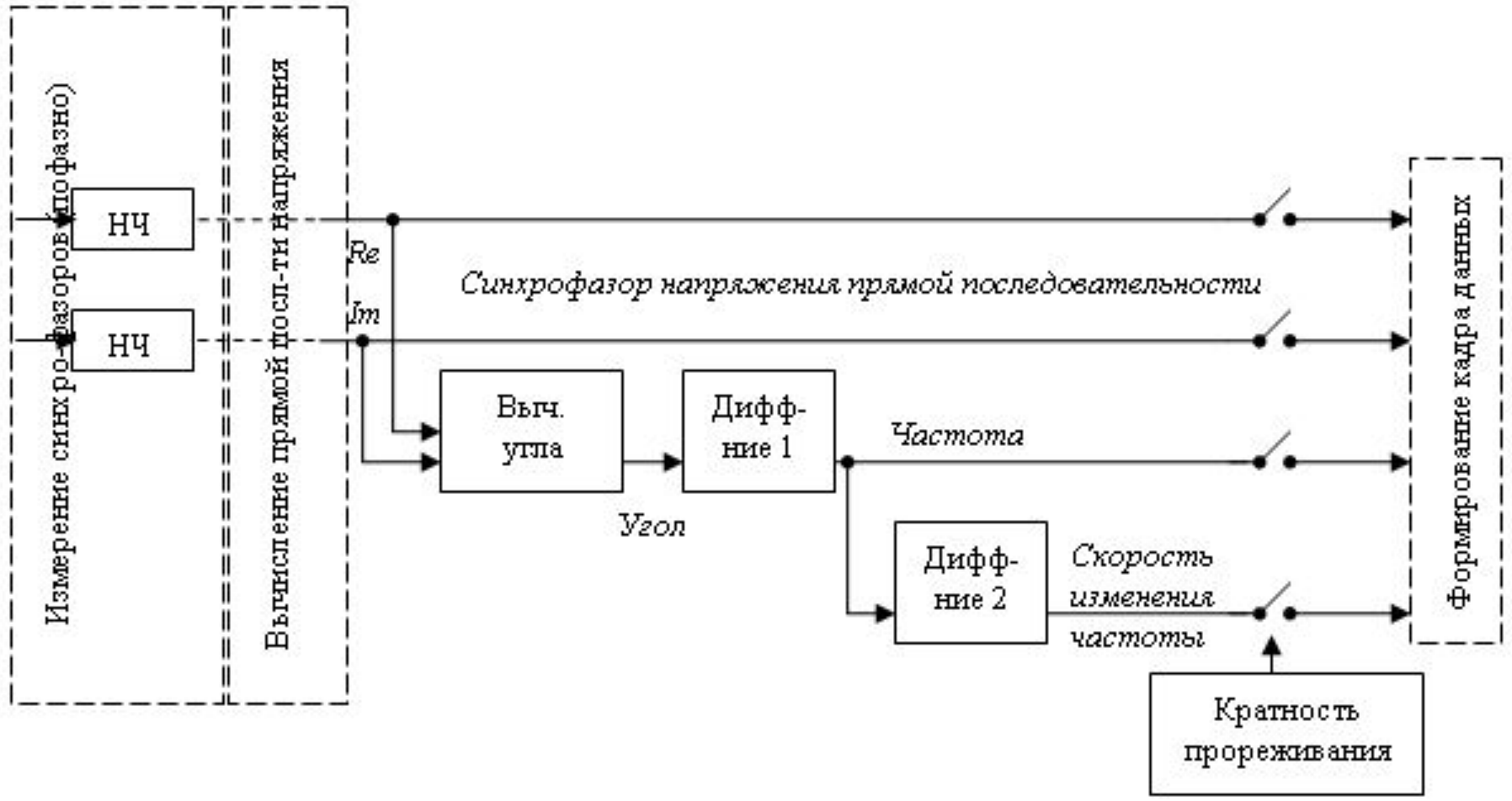
- Интегрирование круговой частоты и последующее преобразование в декартово представление \neq синхрофазор !
- Двойное интегрирование изменения круговой скорости и последующее преобразование в декартово представление \neq синхрофазор !

Причина: Нелинейная связь угла и синхрофазора



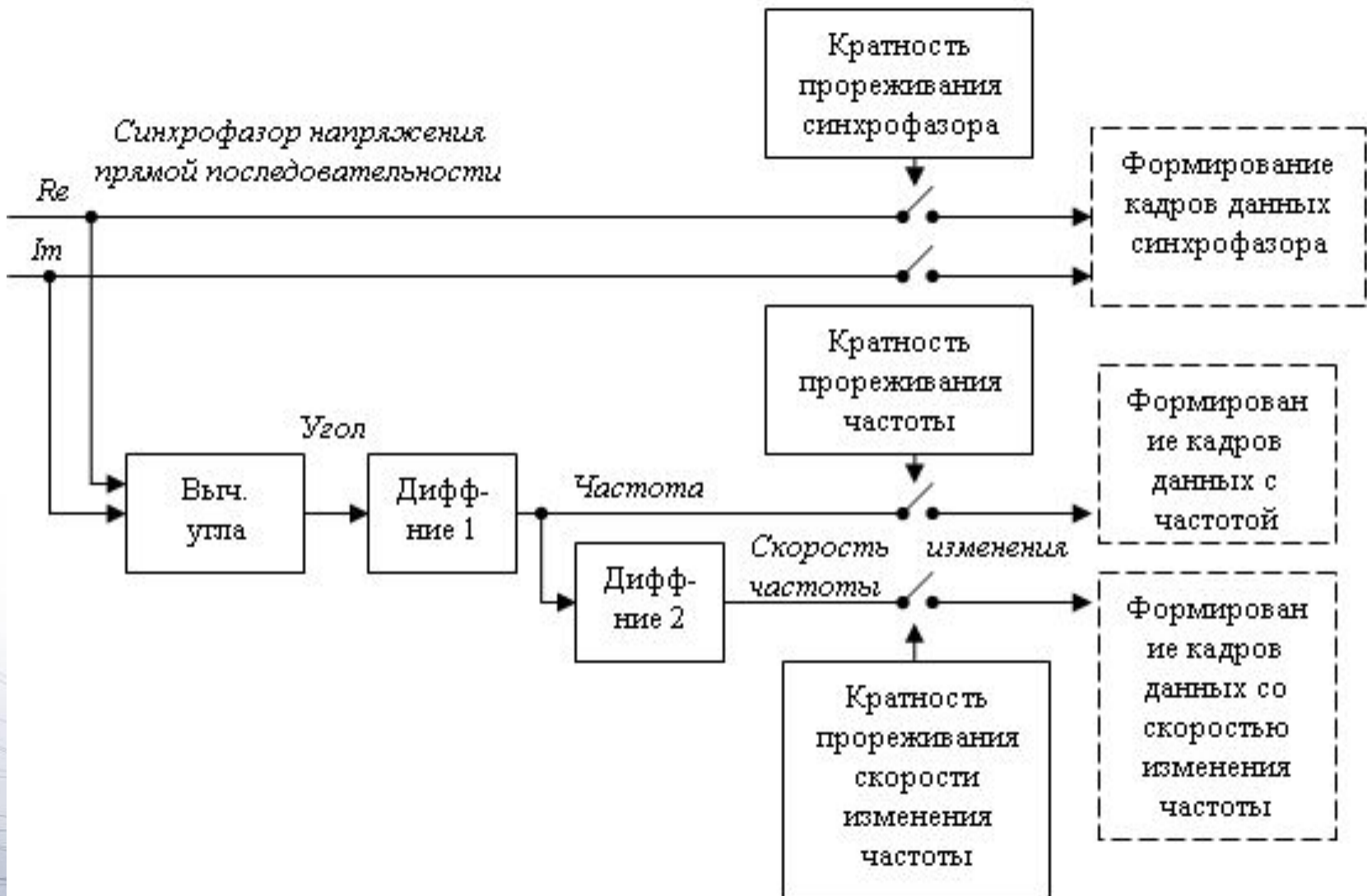
III. Базовая модель

Предлагаемая базовая модель. Вариант I :



III. Базовая модель

Предлагаемая базовая модель. Вариант II :



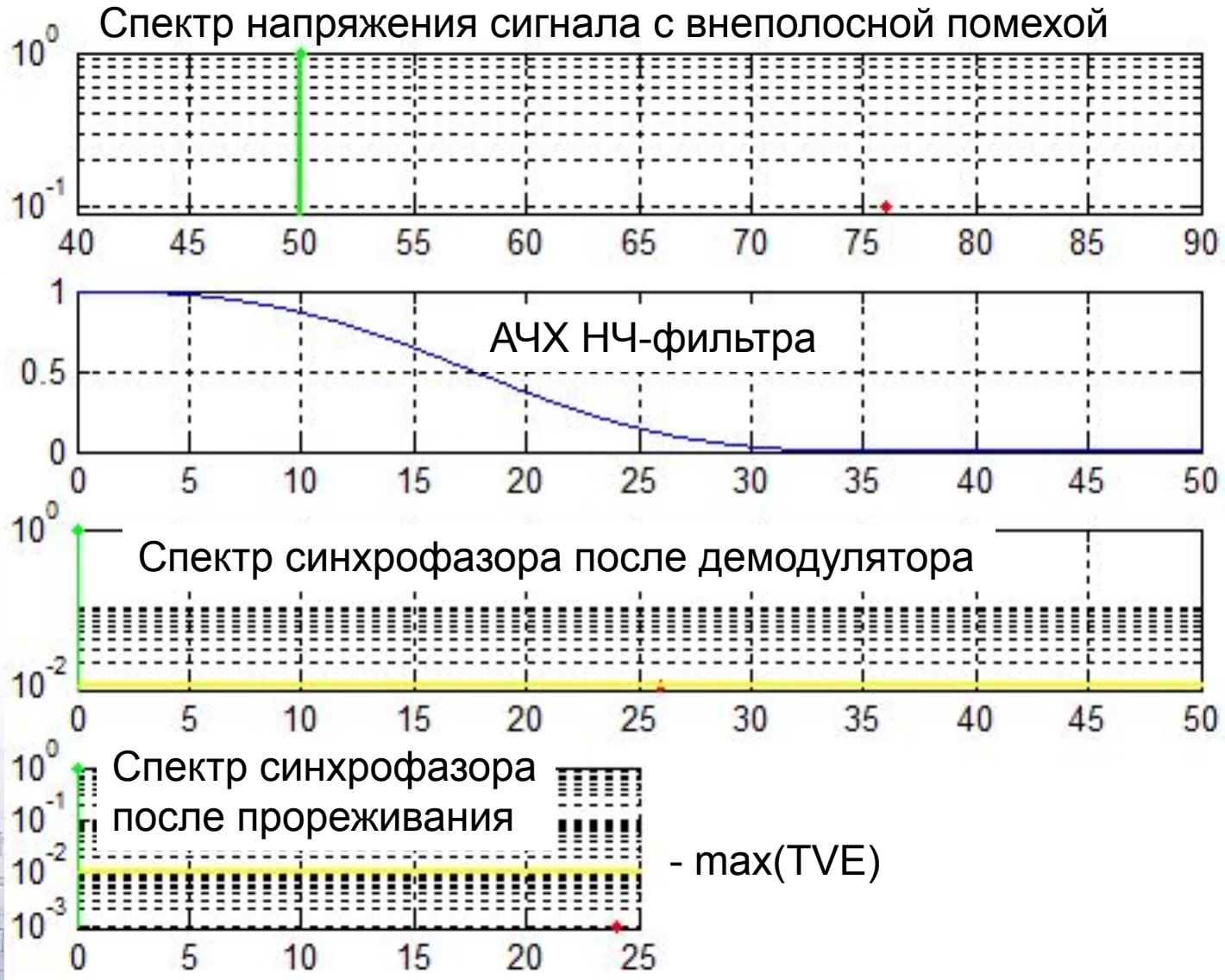
III. Базовая модель

Неудовлетворительное быстродействие базовой модели

Reporting rate F_s , Гц	Reporting latency цифрового тракта, не менее, $\frac{1}{F_s}$	Требуемая стандартом reporting latency всего устройства, $\frac{1}{F_s}$
10	7.3	5
25	7.3	5
50	5.2	5
100	4.6	5

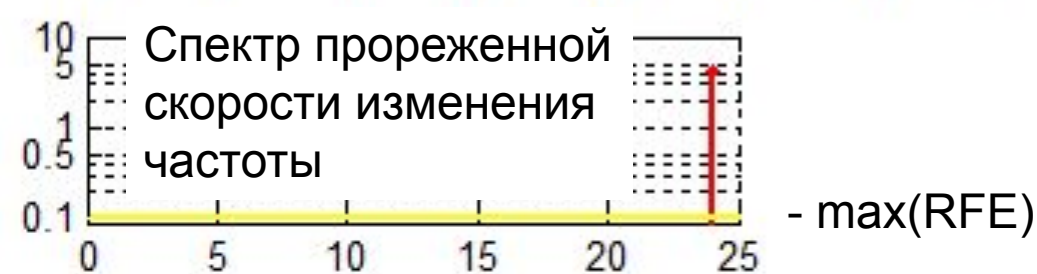
III. Базовая модель

Неудовлетворительная помехоустойчивость базовой модели



III. Базовая модель

Неудовлетворительная помехоустойчивость базовой модели



Выводы

- Стандарт С37.118-2011 не обеспечивает единство измерений синхронизированных векторных параметров электрического режима
- Использование приборов, изготовленных в соответствии с этим стандартом, требует глубокого понимания их особенностей
- Разработчики приборов, удовлетворяющих этому стандарту, должны снабжать свои приборы документацией, восполняющей пробелы стандарта



Релейная защита и автоматика энергосистем

Москва, 29-31 мая 2012 г.



Средства измерений электрических величин
Комплексное проектирование электроэнергетических объектов
Энергетические обследования

Спасибо за внимание. Вопросы?

Андрей Николаевич Покидышев

ООО «Парма», Санкт-Петербург,

Тел.: +7 (812) 346-86-10, +7 (911) 97-415-97

Эл. почта: pan@parma.spb.ru