

# Структура цифровой подстанции: централизованный подход. Особенности построения и надежность.

Ivan Dorofeyev    20.5.15  
i.dorofeyev@lysis.su

## Технические характеристики функций защиты

- Быстродействие
- Чувствительность
- Селективность
- **Надежность**
  - **Безотказность**
  - **Ремонтопригодность**
  - **Долговечность**

## Экономические характеристики функций защиты

- Эффекты
  - Положительные — снижение и предотвращение ущерба от аварий в энергосистеме
  - Отрицательные — от неправильных действий.
- Затраты
  - Капитальные затраты на создание функции с требуемым уровнем технических характеристик.
  - Эксплуатационные затраты на поддержание требуемого уровня технических характеристик в течении срока службы.

# Постановка задачи.

- Показатели Быстродействия, Чувствительности и Селективности принципиально не могут быть улучшены только лишь за счет перехода к шине процесса и использования др. технологий ЦПС.
- Возможные эффекты от внедрения технологий ЦПС:
  - Снижение капитальных и операционных затрат на всех стадиях жизненного цикла АСЗУ.
  - Повышение показателей надежности.
- По мнению неоднократно высказанному как представителями СО, так и эксплуатирующих организаций — **текущие показатели функционирования систем РЗА является удовлетворительными.** Из этого следует, что отсутствует системная потребность в улучшении технических характеристик комплексов РЗА, в т.ч. показателей надежности.
- Таким образом оптимизационная задача сводится к поиску путей минимизации всех видов затрат при сохранении современного уровня технических характеристик систем защиты и управления.

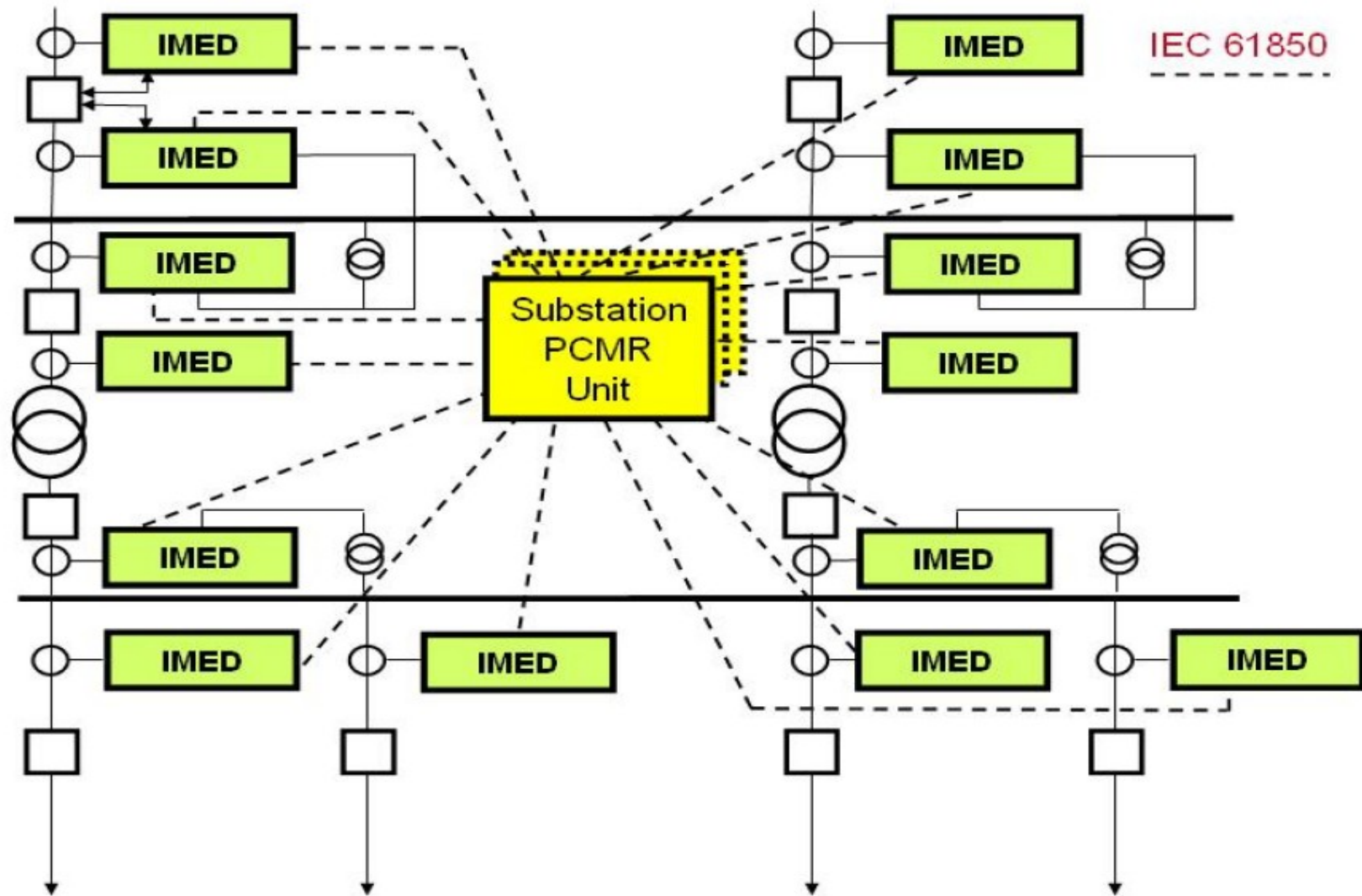
# Метод решения.

- Только лишь замена медных вторичных цепей на оптические с сохранением традиционной архитектуры, не несет позитивного изменения затратных показателей.
- Использование шины процесса и других инструментов IEC 61850 дает широкие возможности управления размещением функций и их компонентов по физическим устройствам, недоступные традиционным системам.
- Таким образом обеспечивается возможность переконфигурации и оптимизации физической структуры АСЗУ, а также повышение эффективности процессов ее жизненного цикла.

# Оптимизация физической структуры АСЗУ

- Основным инструментом повышения эффективности архитектуры системы РЗА является функциональная интеграция или иными словами функциональное укрупнение устройств.
- Технический отчет Acceptable Functional Integration In HV Substations. CIGRE Working Group B5.13 и опыт ЛИСИС. показывает однозначную техническую реализуемость полностью централизованной системы защиты, управления и учета.
- Но возможны ограничения уровня интеграции различной природы...

# Future of Functional Integration(CIGRE TR)



# Преимущества функционального укрупнения

- Причины
  - Сокращение общего числа устройств и их типов в составе системы.
  - Сокращение требуемых соединений в части подсистемы обмена информацией по сравнению с распределенной архитектурой.
- Следствия
  - Экономия капитальных затрат за счет:
    - Снижения материалоемкости.
    - Снижения объемов работ по проектированию, наладке, тестированию.
  - Экономия эксплуатационных затрат за счет:
    - Уменьшения количества элементов системы требующих обслуживания что ведет к снижению объемов профилактического обслуживания, сокращению времени восстановления работоспособности и требуемых размеров ЗИП.

# Экономический эффект при строительстве.

Наименование подсистем	110/10 (тупиковая ПС с ТМ)		110/10 (транзитная ПС с ТМ)		110/10 (транзитная ПС с АСУ ТП – без учета верхнего уровня)	
	Традиционная	ПТК iSAS	Традиционная	ПТК iSAS	Традиционная	ПТК iSAS
УСО	-	4251266	-	5 931 266	-	5 931 266
Система РЗА	5 862 090	5 557 455	15 702 125	8 047 455	15 702 125	10069703
Система ОМП						
Система ТМ/АСУ ТП			4 314 080		7 500 000	
Система РАС	1 289 000	1 118 047	* - в составе РЗА	1 555 295	* - в составе РЗА	1 555 295
Система АИИСКУЭ	1 890 000	1 368 047	2 440 000	1 368 047	2 440 000	1368074
Система ККЭ	-		-		-	
Итого оборудования с НДС	13 355 170	12 294 815	22 456 205	16 902 063	25 642 125	18 924 312
Проектные работы	1 500 000	1 100 000	2 000 000	1 200 000	2 820 903	4 500 000
Монтажные работы	8 000 000	2 150 000	9 000 000	2 150 000	10 233 829	2 150 000
Пусконаладочные работы	1 500 000	1 100 000	2 000 000	1 200 000	2 820 903	1 500 000
<b>Итого с НДС</b>	<b>24 355 170</b>	<b>17 544 815</b>	<b>35 656 205</b>	<b>23 252 063</b>	<b>42 196 857</b>	<b>27 074 339</b>
<b>Величина эффекта, руб</b>	<b>6 810 355</b>		<b>12 404 142</b>		<b>15 122 518</b>	
<b>Величина эффекта, %</b>	<b>27,96</b>		<b>34,79</b>		<b>35,84</b>	



# Риски функционального укрупнения

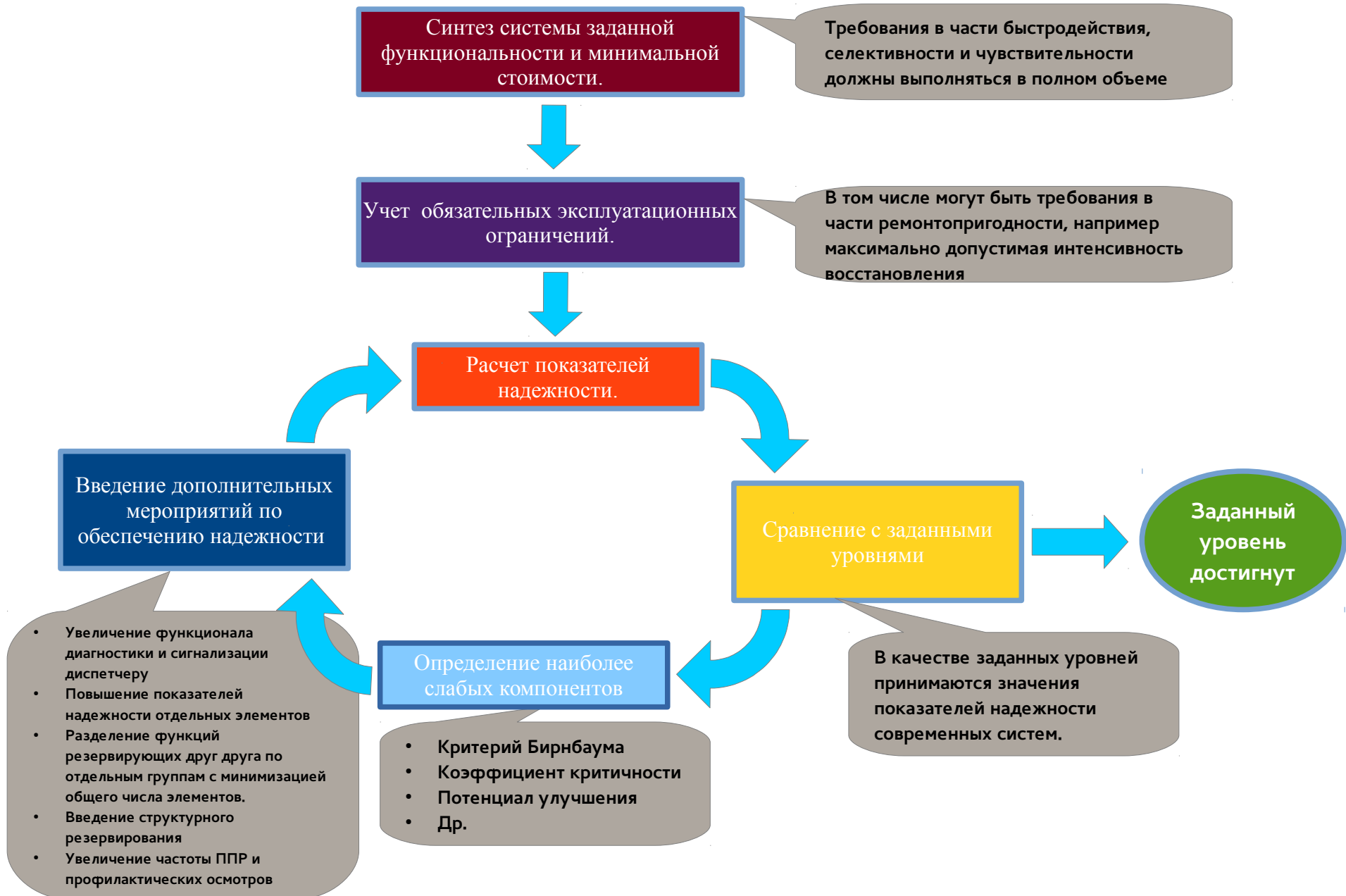
- **Влияние на общую надежность системы.**
- Отличные от текущих требования к знаниям эксплуатационного персонала.
- Существенные изменения в философии тестирования и обслуживания.
- Нормативные и эксплуатационные ограничения уровня функциональной интеграции.
  - В техническом отчете CIGRE примеры таких ограничений приводятся (например запрет интеграции функций КУЭ с другими), но без обоснований.
  - Требуется четкое понимание и обоснование любого вводимого ограничения.

# Показатели надежности РЗА как технической системы

- Безотказность(Срабатывания и Несрабатывания)
  - Средняя наработка между отказами.
  - Интенсивность отказов.
- Ремонтпригодность(Эксплуатационная технологичность)
  - Среднее время восстановления.
    - Время обнаружения
    - Время устранения
  - Интенсивность восстановления.
- Долговечность
  - Средний срок службы

Согласно "ГОСТ 27.003-90 Надежность. Общие правила задания требований по надежности", для системы РЗА, как для обслуживаемого изделия конкретного назначения непрерывного и длительного применения определяемым **комплексным показателем надежности, учитывающим безотказность и ремонтпригодность, является коэффициент готовности.**

# Синтез оптимальной структуры системы

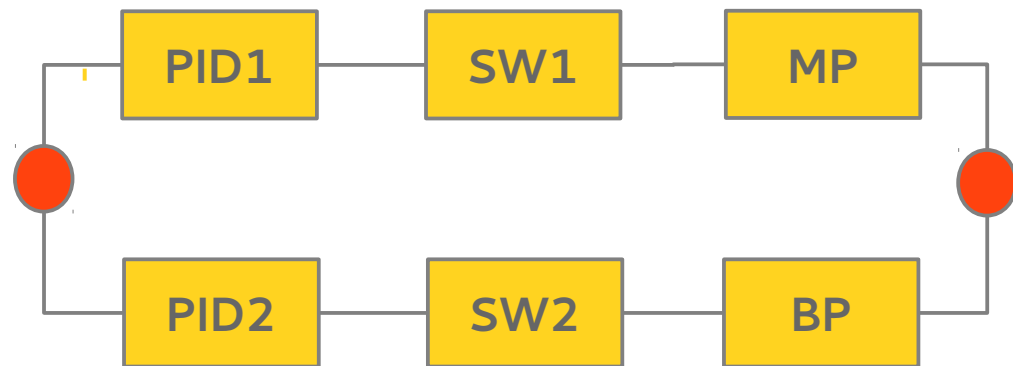


# Меры по обеспечению надежности. Диагностика

- Самый эффективный способ поддержания готовности системы.
- Кардинальным образом влияет на показатели ремонтпригодности, а именно на время обнаружения отказа, предотвращая образование т. н. скрытых отказов и дефектов.
- Диагностируемые элементы имеющие резерв допустимо не подвергать периодическим проверкам.
- Элементы не имеющие постоянной диагностики работоспособного состояния или не имеющие резерва и, при этом, являющиеся критическими для работы системы должны подвергаться периодическим проверкам и ППР с целью предупреждения внезапных отказов системы.
- В случае цифровых систем совершенно не сложно организовать, как диагностирование работоспособного состояния основных элементов системы, так и их резервирование независимо от степени централизации и, тем самым, обеспечить высокий показатель времени обнаружения отказа.
- Кроме того, возможность отказа от периодических проверок значительной части системы, позволяет перейти на восстановление по состоянию или факту отказа элемента, что снижает стоимость эксплуатации без последствий для готовности системы.

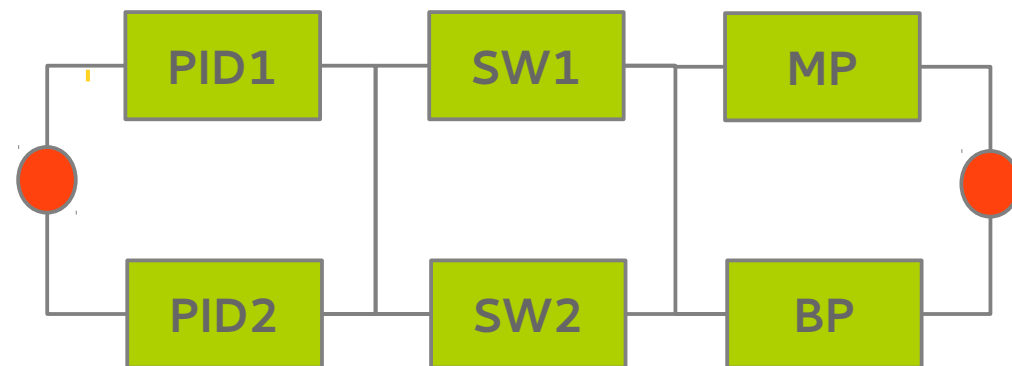
# Меры по обеспечению надежности. Структурное резервирование

Функция целиком (в соответствии с  
РД 34.35.310-97)



Два пути работоспособности

Покомпонентное



Восемь путей работоспособности

Как показывает расчет, показатели надежности системы с покомпонентным резервированием более чем на 2 порядка превосходят ПН системы с резервированием функции целиком. При этом обе системы синтезированы из одинаковых компонентов и отличаются только структурой. Таким образом положения РД 34.35.310-97, в части требований по максимально возможному разделению компонентов основной и резервной систем защиты, являются не состоятельными. Данные требования имеют смысл в случаях когда отказ основного компонента влечет за собой отказ резервного, если он соединен каким либо образом с основным. Эта ситуация характерна для аналоговых вторичных цепей и практически невозможна для цифровых.

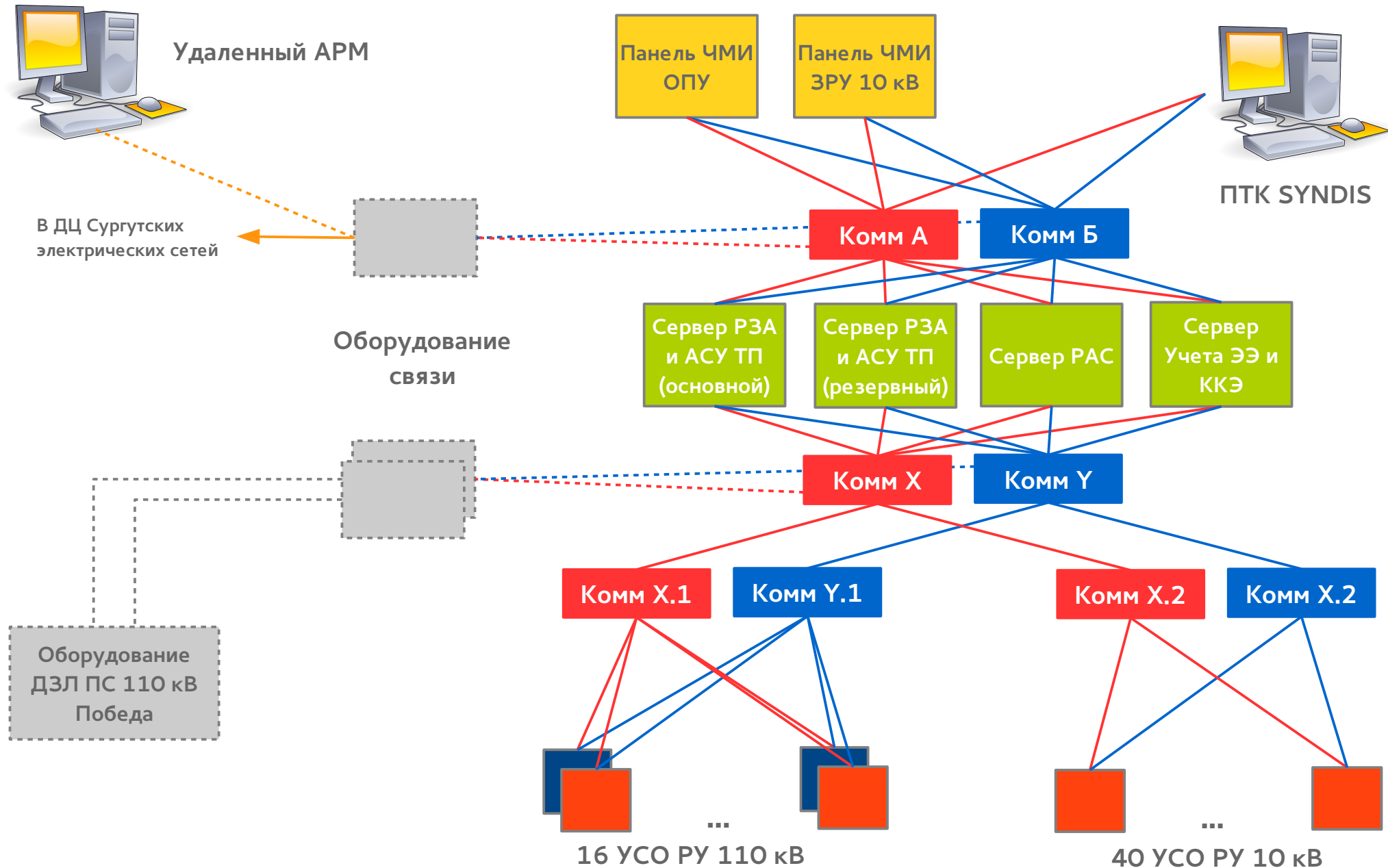
*«Ввиду высоких показателей безотказности отдельных компонентов, является допустимым использование критерий N-1 для систем защиты ВВ оборудования. Т.е. система защиты не должна иметь единых точек отказа.»*

- Вероятность отказа функции по причине отказа второго критического компонента до устранения отказа первого крайне мала.
- При среднем времени восстановления 48 часов она составляет для защиты ВЛ порядка  $10^{-4}$  для резервирования на уровне функции (традиционная система) и  $10^{-6}$  для покомпонентного резервирования.
- Таким образом рекомендацию WG B5.11 можно дополнить так:  
«Система не должна иметь единых точек отказа, причем вероятность отказа функции за период устранения любого дефекта не должна превышать заданного нормативного значения».

# Оптимальная структура АСЗУ

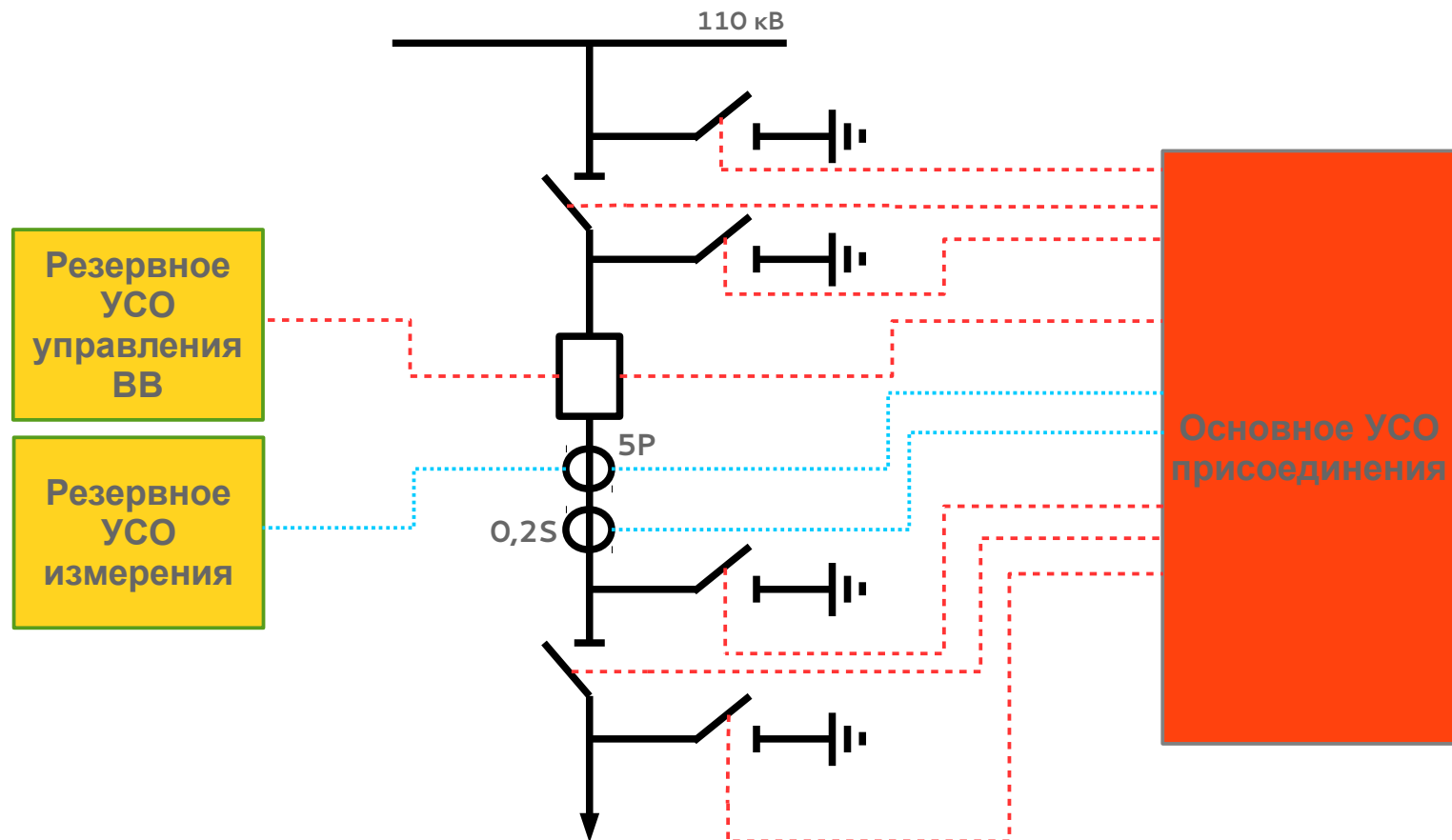


# ПТК АСЗУ ПС 110/10 кВ «Олимпийская»

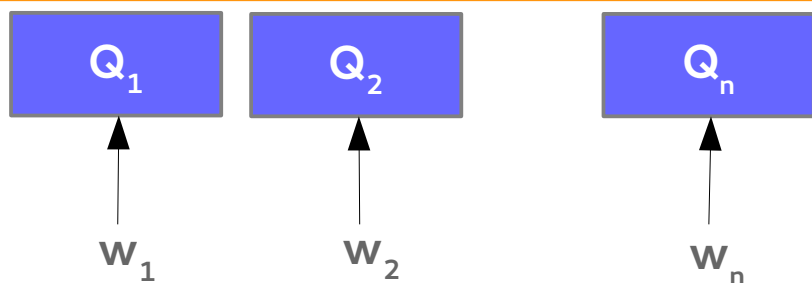




# Пример резервирования УСО для ВЛ-110 кВ



# Влияние централизации на ПН системы РЗА



$$w_{sd} = \sum_{n=1}^N Q_n \cdot w_n = N \cdot Q_D \cdot w \mid Q_n = Q_D; w_n = w$$

$w_{sd}$  - общая интенсивность отказов защиты  $N$  элементов сети. Распределенный вариант.

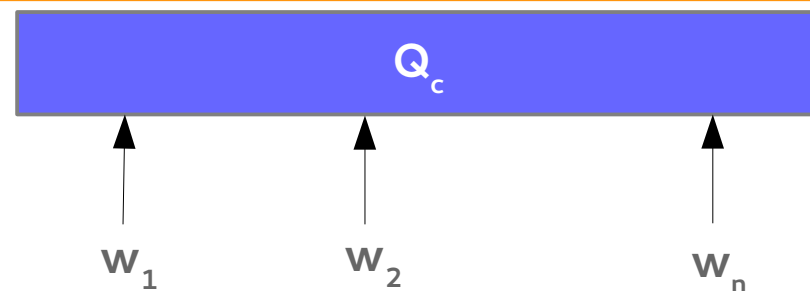
$Q_n$  - неготовность защиты  $n$ -го элемента сети.

$N$  - число защищаемых элементов сети.

$w_n$  - интенсивность повреждений  $n$ -го элемента сети.

$Q_d$  - значение неготовности защиты одинаковое для всех элементов.

$w$  - значение интенсивности повреждений одинаковое для всех элементов сети.



$$w_{sc} = Q_c \cdot \sum_{n=1}^N w_n = Q_c \cdot N \cdot w \mid w_n = w$$

$w_{sc}$  - общая интенсивность отказов защиты  $N$  элементов сети. Централизованный вариант.

$Q_c$  - неготовность централизованной защиты.

$N$  - число защищаемых элементов сети.

$w_n$  - интенсивность повреждений  $n$ -го элемента сети.

$w$  - значение интенсивности повреждений одинаковое для всех элементов сети.

Отказы происходят сравнительно часто с относительно скромными последствиями.

=

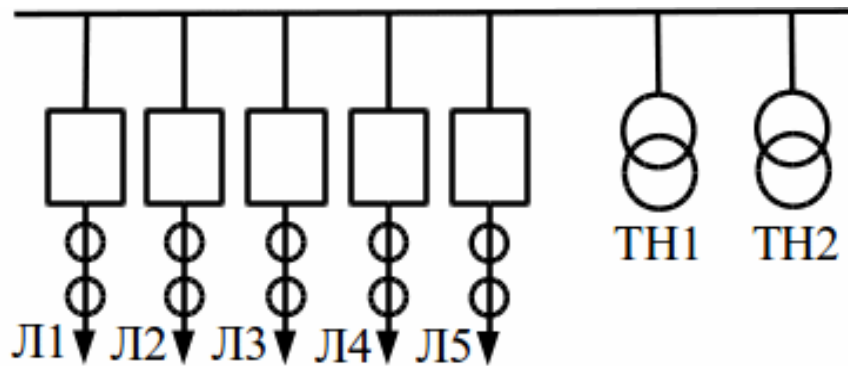
Отказы происходят сравнительно редко, но последствия тяжелее.

$$\frac{w_{sd}}{w_{cd}} = \frac{N \cdot Q_D \cdot w}{N \cdot Q_C \cdot w} = \frac{Q_D}{Q_C}$$

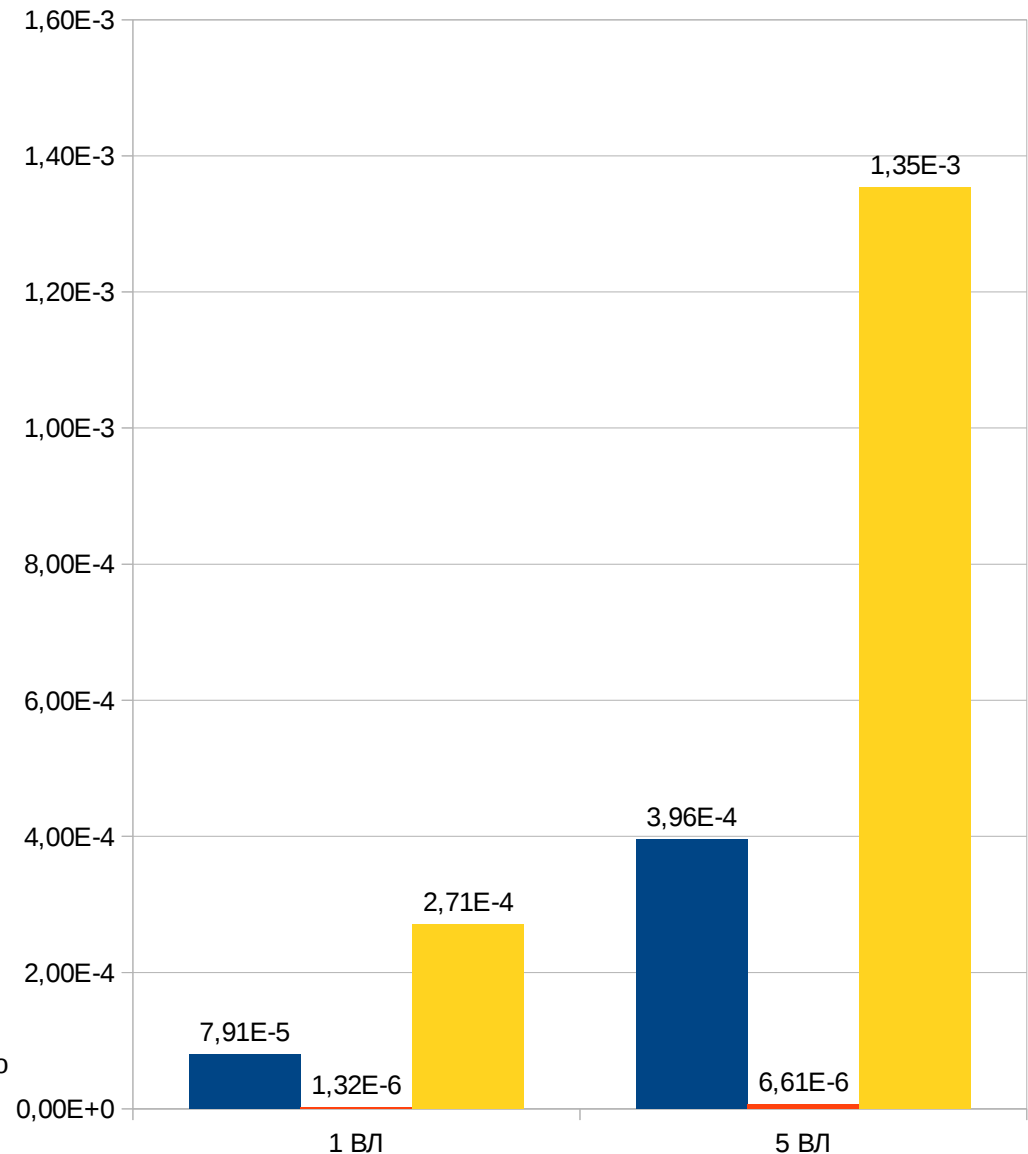
Интенсивность отказов в обслуживании независимых потоков событий системы не связана со степенью централизации такой системы, а зависит только от готовности системы защиты относительно потоков повреждений каждого из защищаемых элементов сети.

# Результаты расчета интенсивности отказов защиты ВЛ -110 кВ

110 кВ



- Традиционная
- Централизованная цифровая, с покомпонентным резервированием
- Цифровая децентрализованная, с функциональным резервированием по РД 34.35.310-97

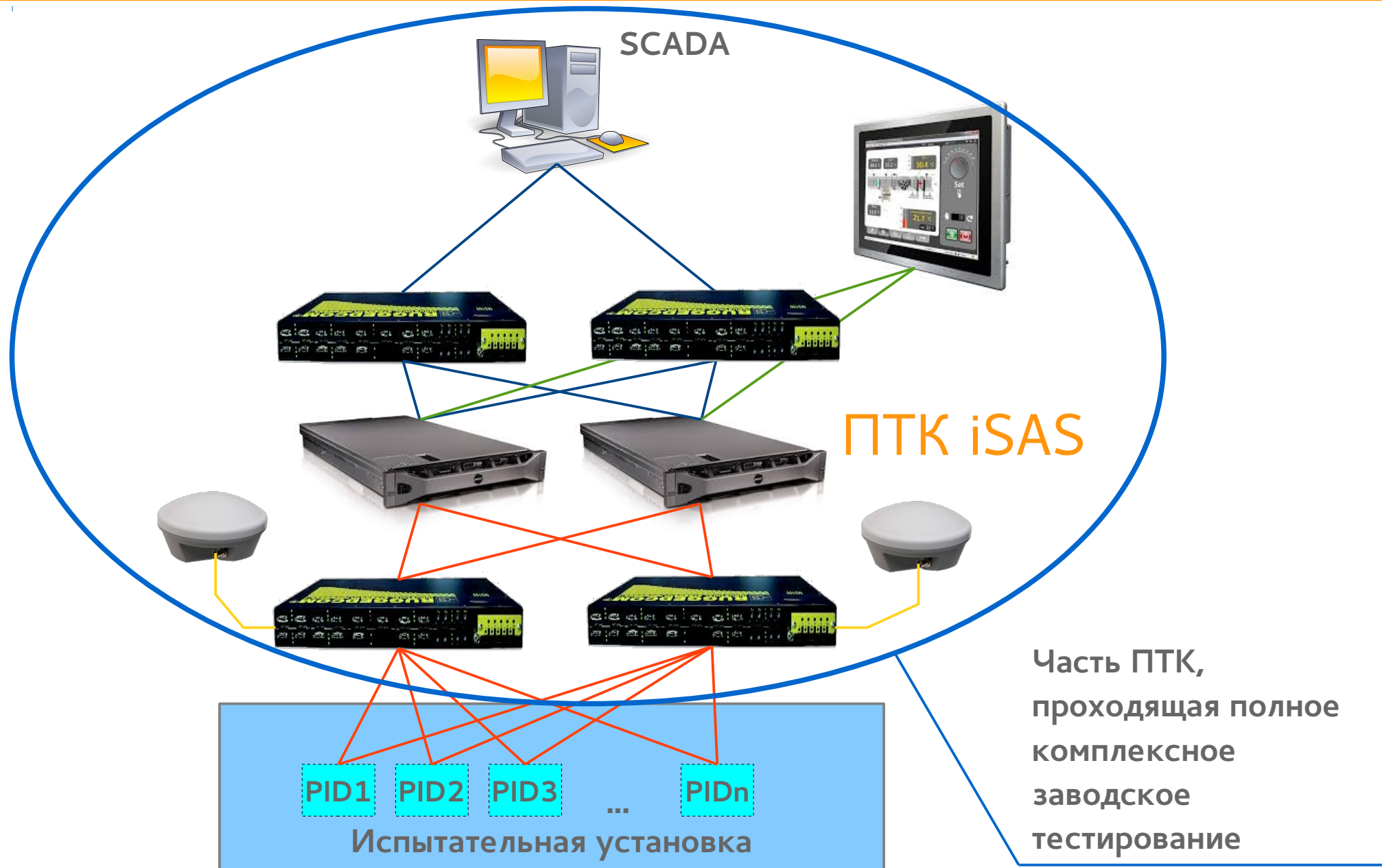


# Отказ по общей причине

Есть мнение, что вероятность потери работоспособности системы по общей причине может увеличиваться с ростом функциональной интеграции.

- Различия между распределенной и централизованной системой, очевидно могут проявиться только на уровне ВС.
- Нижеперечисленные предэксплуатационные источники отказов по общей причине и их последствия практически одинаковы для всех архитектур, так как являются следствиями тиражируемых системных ошибок и дефектов:
  - Ошибки при разработке компонент системы.
  - Ошибки при проектировании.
  - Ошибки при изготовлении, монтаже, наладке, тестировании.
- Нежеперечисленные эксплуатационные источники отказов по общей причине и их последствия могут быть различны для централизованной и распределенной архитектуры. Данное различие обусловлено отличиями в физическом расположении компонентов системы.
  - Ошибки при эксплуатации.
    - Процедуры обеспечения качества при подготовке инструкций для персонала.
    - Запрет на одновременные операции с основным и резервным комплектом.
    - Обеспечение дополнительного резервирования взамен устройств выведенных для обслуживания.
  - Внешние воздействия.
    - Географическое разнесение основного и резервного комплектов.
    - Использование огнестойких пыле-водонепроницаемых шкафов.

# Заводское тестирование высокоинтегрированных комплексов



# Использование вычислительные средств общего назначения - серверов

- Вычислительные средства общего назначения производятся внедряются гораздо более крупными объемами в отличие от специализированных решений для электроэнергетики. (~ 10 млн. шт. в 2014 г)
- Использование оборудования с большими объемами внедрения позволяет получить большую производительность за меньшие деньги.
- Такое оборудование не требует специального заказа и доступно для поставки со склада в кратчайшие сроки.
- Большое количество подготовленных специалистов способных обслуживать данное оборудование.
- Использование такого оборудование позволяет получить более отлаженное решение с большой достоверной статистикой эксплуатации. Это существенно сокращает риск массовых отказов по причине ошибок допущенных при разработке этих аппаратных решений.
- Очень быстрое внедрение новых прогрессивных технологий и рост производительности.
- Высокий уровень совместимости между поколениями оборудования.

# Возможность раздельной модернизации SW и HW

## Сценарий 1:

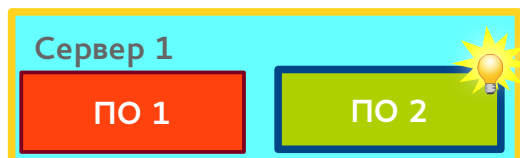
- Серверное оборудование изношено.
- ПО соответствует требованиям



Стоимость модернизации равна стоимости нового сервера

## Сценарий 2:

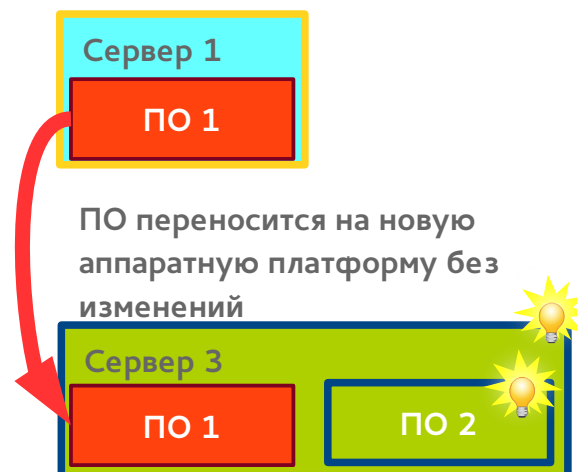
- Расширений требуемых функций или размеров ПС
- Ресурсов существующего оборудования достаточно для установки дополнительного ПО



Стоимость модернизации равна стоимости доп. лицензий ПО и работ по настройке

## Сценарий 3:

- Расширений требуемых функций или размеров ПС
- Ресурсов существующего оборудования не достаточно для установки дополнительного ПО



Стоимость модернизации равна стоимости нового сервера, доп. лицензий ПО и работ по настройке

Спасибо за внимание!!!

Россия, Москва,  
Мироновская 33  
Тел. (495) 660 12 00  
Факс. (495) 365 31 89  
**[www.lysis.su](http://www.lysis.su)**