



ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО

«СИСТЕМНЫЙ ОПЕРАТОР  
ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ»

Филиал АО «СО ЕЭС» Воронежское РДУ

## Техническая учеба по теме: Продольная дифференциальная защита линий

---

Ведущий эксперт СРЗА Замыслов И.Д.

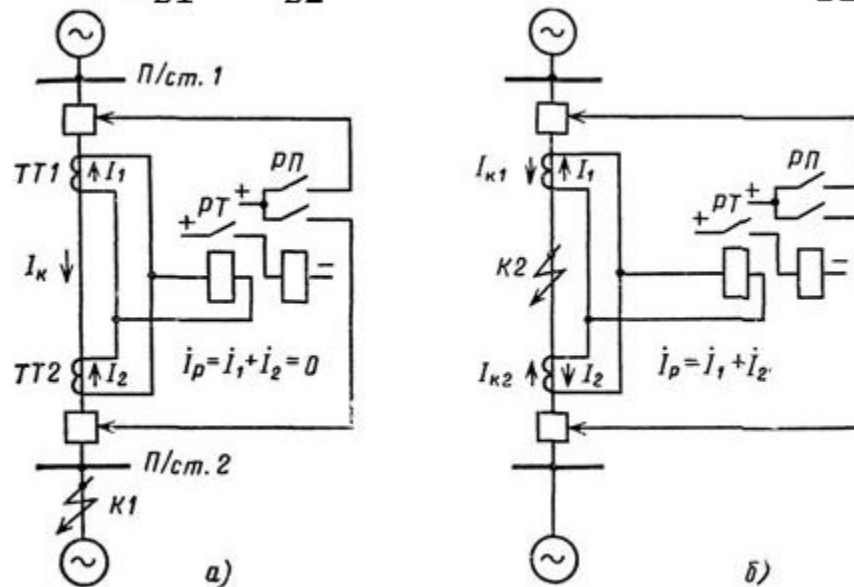
# Продольная дифференциальная защита линий

Принцип действия продольной дифференциальной защиты основан на непосредственном сравнении векторов токов по концам защищаемого объекта.

Для этой цели по концам ЗО устанавливаются ТТ1 и ТТ2 с одинаковыми Ктт.

Из рисунка видно, что при внешнем КЗ токи направлены в одну сторону и равны по величине, при внутреннем КЗ они направлены в разные стороны и, как правило, не равны друг другу.

Вторичные обмотки ТТ соединяются при помощи соединительного кабеля и подключаются к дифференциальному реле таким образом, чтобы при внешних КЗ ток в реле был равен  $I_{B1} - I_{B2}$  а при внутренних  $I_{B1} + I_{B2}$





## Внешнее КЗ и нормальный режим

Первичные токи в начале и в конце линии равны по величине и направлены в одну сторону. Вторичные токи каждого ТТ замыкаются через обмотку реле Р и проходят по ней в противоположных направлениях.

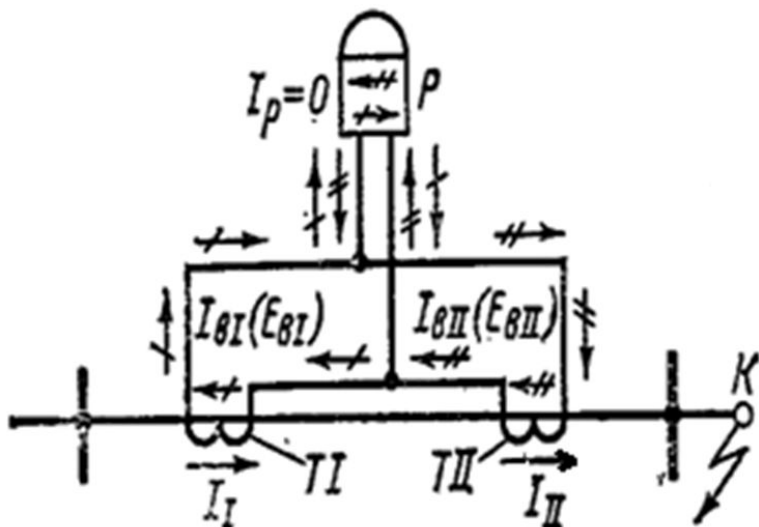
*Ток в реле равен геометрической разности вторичных токов:*

$$I_p = I_{в1} - I_{в2} = 0$$

Аналогичными образом токи протекают через защиту при качаниях и токах нагрузки.

Соответственно, по принципу действия защита не реагирует на внешние КЗ, токи нагрузки и качания.

В действительности ТТ работают с погрешностью, поэтому в реле появляется ток небаланса:  $I_p = I_{нб}$





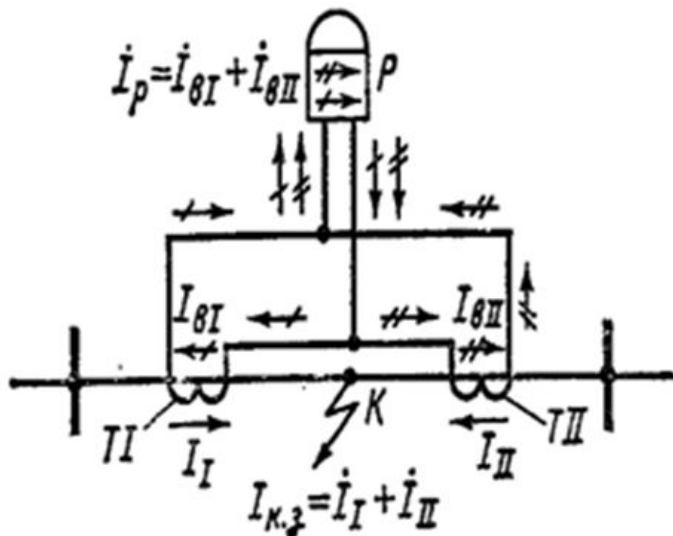
## КЗ на защищаемой линии

Первичные токи  $I_1$ ,  $I_2$  направлены от шин в линию (к месту КЗ). При этом направление первичного тока на одном из концов линии меняется на противоположное (по сравнению с его направлением при внеш. КЗ). Соответственно меняется и направление вторичного тока в ТТ на этом конце линии. Вторичные токи проходят в обмотке реле в одном направлении, поэтому ток в реле равен их сумме.

$$I_p = I_{B1} + I_{B2} = \frac{I_1}{n} + \frac{I_2}{n} = \frac{I_{K3}}{n}, \text{ где } I_{K3} - \text{ полный ток КЗ.}$$

Под влиянием этого тока защита срабатывает. Ее зона действия охватывает участок между ТТ1 и ТТ2.

Устойчивость функционирования при внутренних КЗ оценивается  $K_{ч}$ .



$$k_{ч} = \frac{I_{K.МИН}}{I_{СЗ}}$$

$$k_{ч} \geq k_{ч.МИН.ДОП}$$

$$k_{ч.МИН.ДОП} = 2$$



## Продольная дифференциальная защита линии на базе шкафов ШЭ 2607 091 и 7SD522

Продольная ДЗЛ состоит из двух полукомплектов, установленных на разных концах защищаемой ВЛ и соединенных цифровыми каналами связи.



В терминалах, установленных на разных концах ВЛ осуществляется синхронизация моментов взятия цифровых отсчетов аналоговых сигналов (прежде всего фазных токов) и синхронизация цифровой обработки сигналов.

В результате, в терминах полукомплектов образуется единая система векторов. Точность синхронизации положения векторов в устройствах на разных концах линии определяется разностью времени передачи данных по каналу связи в прямом и обратном направлениях.



# Принцип действия продольной дифференциальной защиты линии на базе шкафов ШЭ 2607 091 и 7SD522

Принцип действия ДЗЛ двухконцевой линии основан на пофазном сравнении модуля суммы векторов токов по концам защищаемой линии  $I_{\text{ДифФ(F)}} = |\dot{I}_F^{(A)} + \dot{I}_F^{(B)}|$  величина которого находится в пределах  $(0,2 - 2,0) \cdot I_B$ , где  $I_B$  – базисный ток, одинаковый для обоих полукомплектов в первичных величинах. Величина базисного тока  $I_B$  (вторичного) регулируется в диапазоне  $(0,1 - 16)$  А.

Для отстройки от небалансов, вызванных неодинаковостью измерительных трансформаторов тока и условий их работы, применено торможение – увеличение порога сравнения дифференциального тока в зависимости от тормозной величины.

Отличительной особенностью ДЗЛ на базе ШЭ2607 09Х является возможность выбора тормозной характеристики:

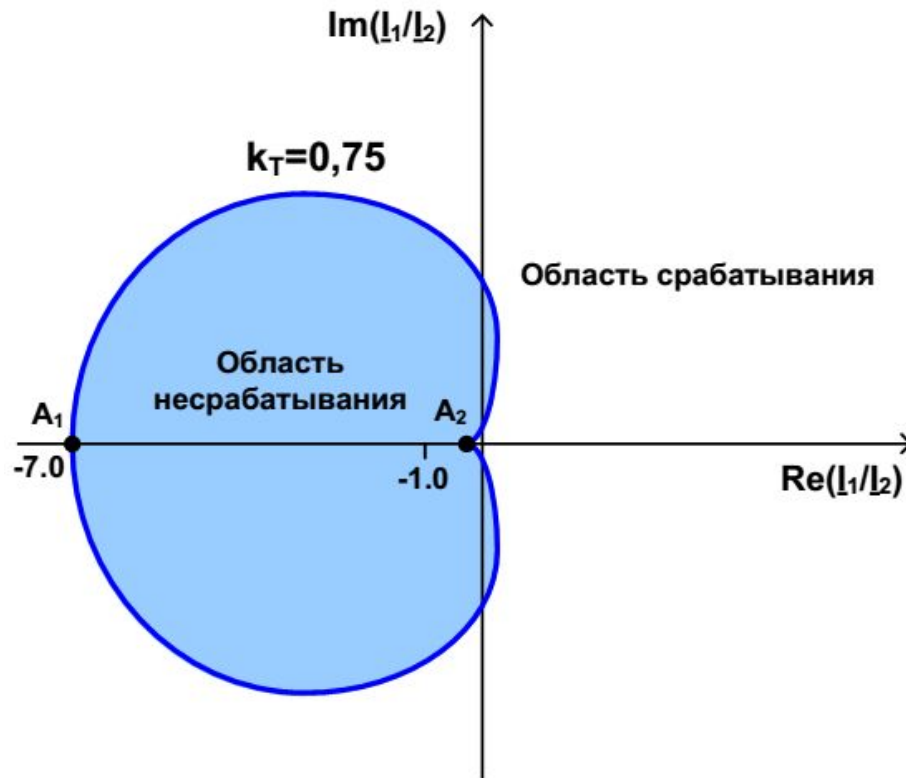
- от суммы модулей векторов токов (используется в ОЗ ВРДУ):  $I_{\text{ТОРМ(F)}} = k_T \cdot (|\dot{I}_F^{(A)}| + |\dot{I}_F^{(B)}|)$
- от модуля разности векторов токов:  $I_{\text{ТОРМ(F)}} = k_T \cdot |\dot{I}_F^{(A)} - \dot{I}_F^{(B)}|$
- с использованием специальной «секторной» характеристики блокирования в комплексной плоскости отношений сравниваемых фазных токов.

Для всех трех типов характеристик блокирования ДЗЛ координаты точек А1 и А2 одинаковы и определяются коэффициентом торможения  $k_T$ :  $A_1 = -\frac{(1+k_T)^2}{1-k_T^2}$ ,  $A_2 = \frac{1}{A_1}$ .



## Торможение от суммы модулей векторов токов

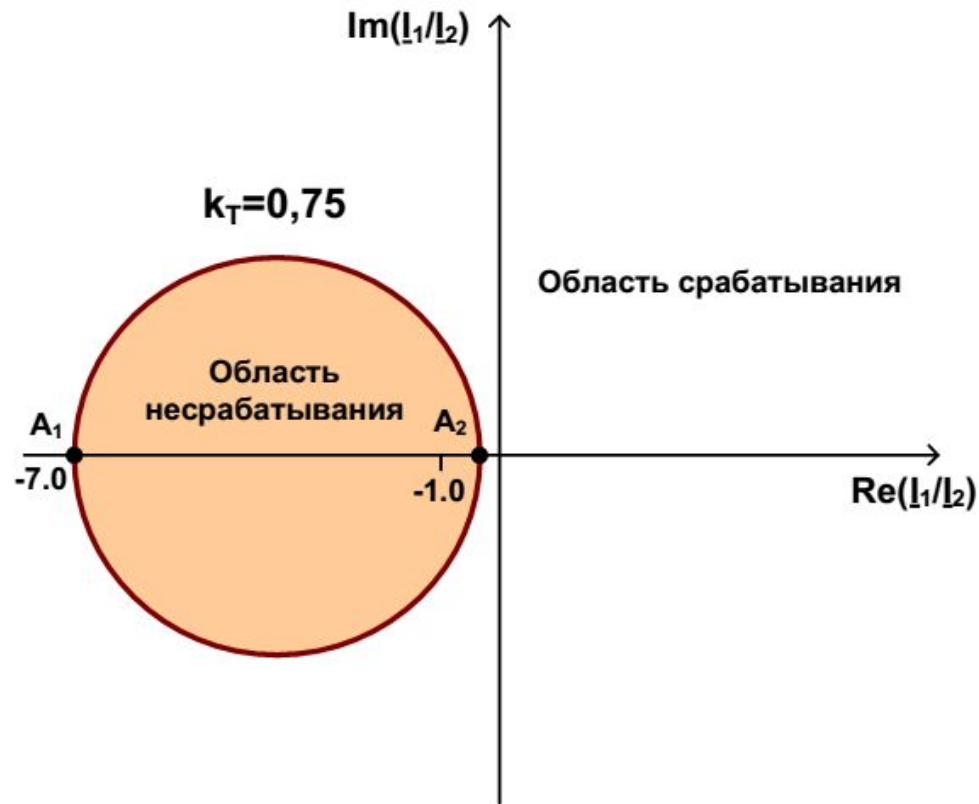
На КВЛ-110-3 используется торможение от суммы модулей векторов токов. В этом случае величина торможения не зависит от угла сдвига фаз между токами по концам линии и одинакова для внутренних и внешних КЗ





## Торможение от модуля разности векторов токов

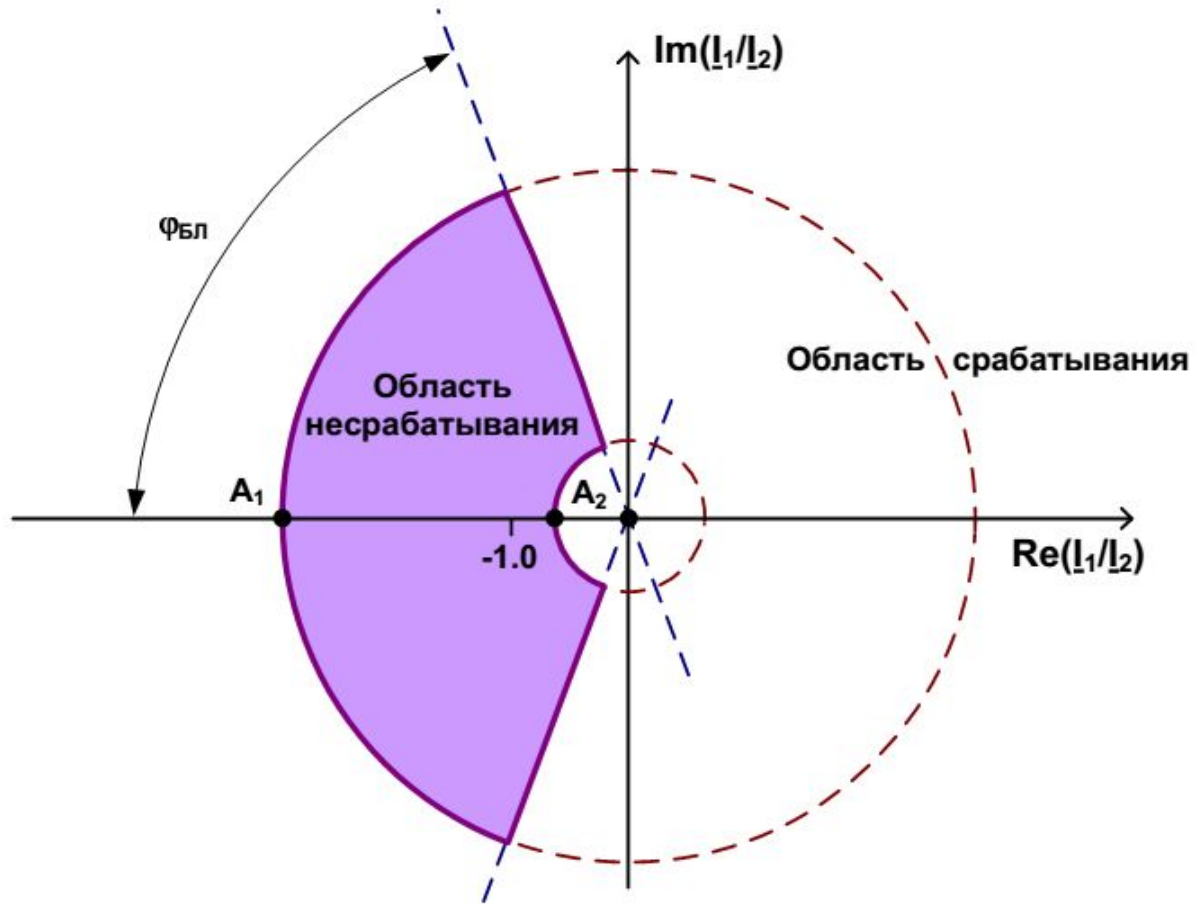
Зависимость тормозной величины от сдвига фаз токов по концам линии. Торможение максимально при внешних повреждениях и минимально при внутренних КЗ.







# Торможение с использованием «секторной» характеристики блокирования

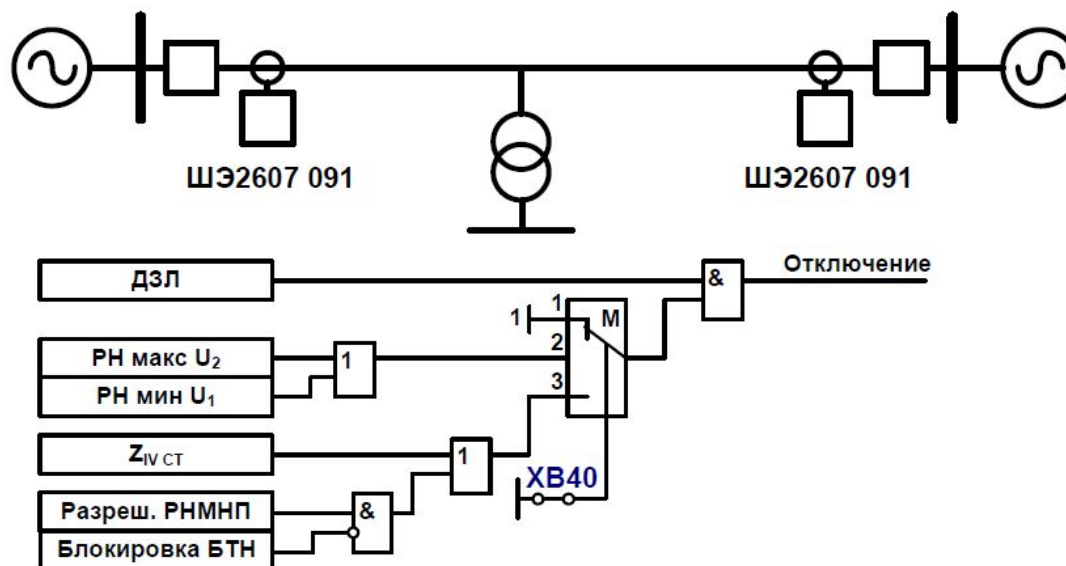




## Работа ДЗЛ на линиях с ответвлениями

В связи с наличием на КВЛ-110-3 ответвлений с трансформаторами (ПС 110 кВ Строительная, ПС 110 кВ Жилпоселковая), уставка срабатывания дифференциальной защиты отстроена от тока, протекающего при номинальной нагрузке ответвления.

Для исключения срабатывания ДЗЛ при КЗ за трансформаторами ответвления в ДЗЛ, установленной на КВЛ-110-3 применяется комплект измерительных органов сопротивления, состоящий из трех реле междуфазного сопротивления и реле направления мощности нулевой последовательности, отстроенного от броска тока намагничивания трансформаторов.





## Отличия ДЗЛ на базе ШЭ2607 09Х и Siemens 7SD522

Основным принципиальным отличием ДЗЛ на базе терминалов Siemens от ДЗЛ на базе терминалов ЭКРА (ШЭ2607 09Х) является способ формирования тормозной характеристики.

Для терминалов Siemens 7SD522 используется адаптивный принцип торможения. Данный принцип торможения основан на расчёте каждым из терминалов ДЗЛ максимально возможного значения дифференциального тока, обусловленного насыщением ТТ при текущих токах внешнего КЗ. Далее с учетом других возможных погрешностей (отклонение частоты, погрешности измерения) формируется тормозная величина, обеспечивающая несрабатывание защиты при внешних КЗ.

Торможение обеспечивают следующие величины:

- порог срабатывания  $I_{ДИФФ}$  как постоянная величина;
- погрешность синхронизации;
- погрешность отклонения частоты;
- погрешности ТТ.

Значения погрешности измерения ТТ, определяемые на одном конце линии, передаются на все другие концы посредством обмена данными по каналу связи, таким образом, что каждое устройство может рассчитать величину полной погрешности измерения.



## Каналы связи между полуккомплектами ДЗЛ

Каждый терминал имеет два независимых входа для организации КС, позволяющих реализовать их полное дублирование.

Связь между полуккомплектами ДЗЛ в ОЗ Воронежского РДУ осуществляется посредством двух независимых оптических каналов с использованием двух жил оптического кабеля для каждого из каналов.

**Основным требованием к синхронному каналу связи является ограниченная задержка в передаче данных и симметричность времени передачи и приема в обоих направлениях.**

В терминалах, установленных на разных концах защищаемой линии осуществляется синхронизация моментов взятия цифровых отсчетов аналоговых сигналов (прежде всего фазных токов) и синхронизация цифровой обработки сигналов.

Определение среднего значения времени передачи данных по каналу связи в прямом и обратном направлениях осуществляется непрерывно.

В устройствах ДЗЛ на базе Siemens 7SD522 в ОЗ Воронежского РДУ реализованы команды ТО и ТУ:

1. команда телеотключения (ТО) трех фаз противоположного конца с запретом ТАПВ линии при срабатывании УРОВ или АЛАР;
2. команда телеотключения (ТО) трех фаз противоположного конца линии без запрета ТАПВ при трехфазном действии защит с контролем пуска защит на приемном конце;
3. команда телеускорения (ТУ) ДЗ выполнены от ступени Z1В с полным охватом линии;
4. команда телеускорения (ТУ) 3 ступени ТЗНП.



## Контроль исправности канала связи и целостности токовых цепей

Логическая схема ДЗЛ обменивается сигналами от трех независимых дифференциальных измерительных органов тока (фазы А, фазы В, фазы С).

ДЗЛ постоянно контролирует достоверность передаваемых по ВОЛС данных. В случае обнаружения ошибок или рассинхронизации, например, при повреждении канала связи, ДЗЛ автоматически блокируется с обеих сторон.

При этом если происходит только рассинхронизация по времени и передаваемая по КС информация достоверна (контрольная сумма соответствует заданной), то возможность передачи логических сигналов (команд ТО и ТУ) сохраняется.

ДЗЛ автоматически вводится в работу в случае, если в течении 100 мс не будет новых ошибок в КС и синхронизация терминалов восстановится.

Для контроля целостности токовых цепей используется встроенная функция защиты. Устройство контроля автоматически выводит защиту из работы, разрывая цепи отключения и передавая соответствующий сигнал по каналу связи на противоположную сторону.



# Достоинства и недостатки продольной дифференциальной защиты на базе шкафа ШЭ 2607 091 и 7SA 522

Достоинства:

1. Принцип действия защиты прост и надежен. Высокая надежность обеспечивается отсутствием необходимости использования в логике отключения цепей напряжения (при отсутствии на линии отпаяк);
2. Защита по принципу действия отстроена от качаний и токов нагрузки (при отсутствии на линии отпаяк);
3. Защита обладает минимальной задержкой на срабатывание и действует без выдержки времени при КЗ на линии;
4. Наличие двух взаиморезервируемых каналов связи;
5. Возможность применения двухстороннего замера для целей ОМП.

Основной недостаток - возможность ложной работы при повреждении обоих каналов связи.

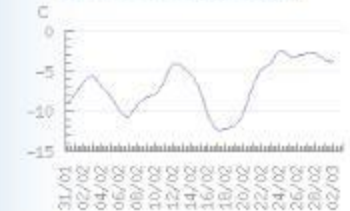


Индикаторы ЕЭС

Частота в ЕЭС России



Температура в ЕЭС России



План генерации и потребления



Новости Системного оператора

26.02.2015 16:39

Системный оператор обеспечил режимные условия для испытаний Буденновской ТЭС в Ростовском крае

# Спасибо за внимание

28.02.2015 09:29

Старшеклассники лицея № 1502 при МЭИ познакомились с работой Системного оператора  
Старшеклассники лицея №1502 посетили Филиал ОАО «ОЭ ЕЭС» «Объединенное диспетчерское управление энергосистемами Центра»

24.02.2015 09:38

Регуляторы предлагают законсервировать ненужные рынку энергоблоки  
«Ведомостям» удалось ознакомиться с письмом председателя правления «Системного оператора» Б.И. Аюева на имя замминистра энергетики В.М. Кравченко, в котором изложены детали схемы вывода лишних блоков генерации. Газета «Ведомости» от 24.02.2015

18.02.2015 09:03

Рабочая группа комитета энергосистем БРЭПЛ обсудила актуальные вопросы планирования режимов энергосистем России, Белоруссии и стран Балтии

11-12 февраля в Санкт-Петербурге состоялось заседание комитета энергосистем электрического кольца БРЭПЛ

18.02.2015 14:45

Системный оператор обеспечил режимные условия для расширения схемы выдачи мощности Ростовской АЭС

