



Казахский агротехнический университет имени С.Сейфуллина
Энергетический факультет
Кафедра «Электроснабжение»

**Презентация курса для ДО
по дисциплине профильного цикла
ОП «Электроснабжение»**

«ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ»

Рожков Виталий Игоревич – к.т.н., старший преподаватель

Астана, 2015



1. Рабочая программа (УМКД)

1. Общие сведения о ПП в ЭЭС (Глоссарий)
2. Расчёт электромагнитных ПП (ОАРКЗ, РУ к расчётам, ВИЗ на РГР)
3. **Расчёт $K^{(3)}$, $K^{(2)}$, $K^{(1)}$, $K^{(1.1)}$ в сетях U^{em} выше 1 кВ**
4. Расчёт видов КЗ в сетях U^{em} до 1 кВ
5. Особые виды (электрохимические, СМПР), методы ограничения ТКЗ и автоматика



Цель, задача и компетенции курса (ECTS):

Знать:

- *IT и современные средства компьютерной графики для построения СЗ;*
- *соответствующий физико-математический аппарат для расчетов ТКЗ;*
- *методы анализа и моделирования электрических цепей ~ тока для расчета ТКЗ;*
- *основные методы и способы расчета трехфазных и несимметричных КЗ;*
- *геометрические образы объектов ЭО, схем и систем при составлении СЗ.*

Уметь:

- *использовать методы расчета ТКЗ;*
- *использовать различные средства и технологии при расчете токов КЗ;*
- *самостоятельно решать вопросы, связанные с выбором метода расчета ТКЗ;*
- *использовать IT, в том числе средства графики и программы расчетов ТКЗ.*

Владеть:

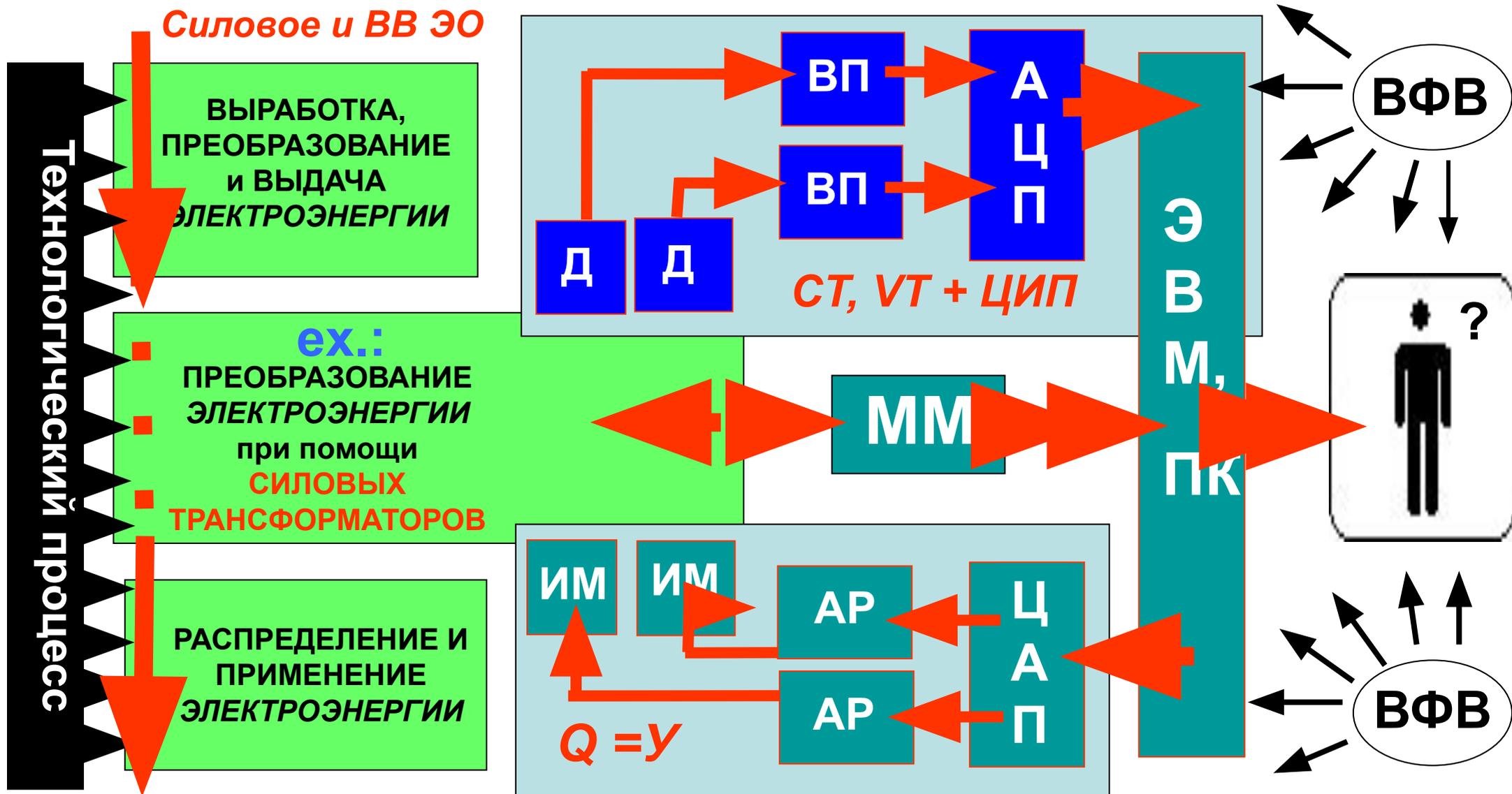
- *методами анализа, восприятия и выбора методов расчета ТКЗ;*
- *основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, использовать ПК как средство работы с информацией по расчетам ТКЗ;*
- *различными методами расчета ТКЗ;*
- *основными законами, методами мат.анализа и моделирования для расчетов ТКЗ.*

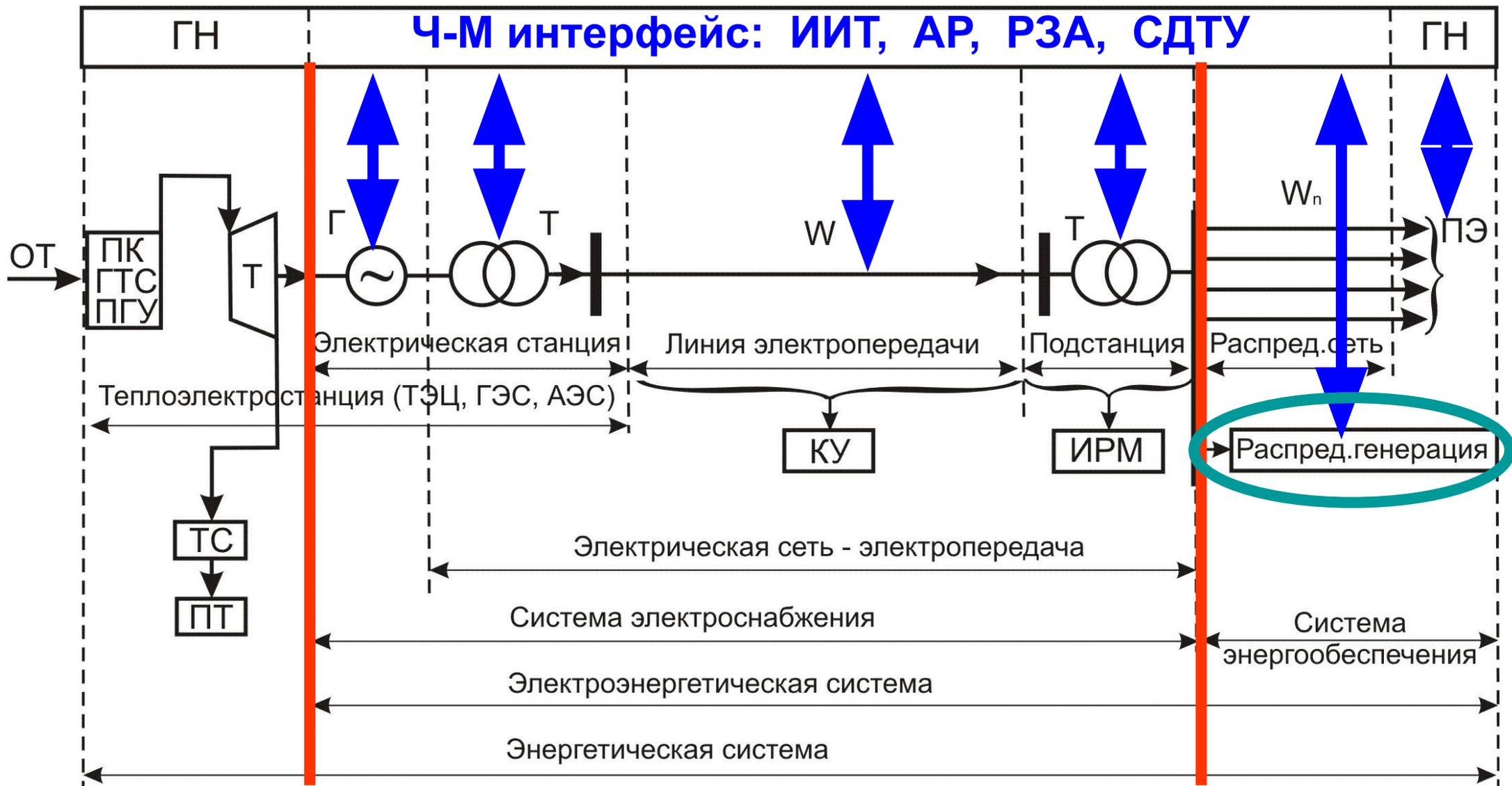
- ГОСТ 28249-93. Методы расчёта КЗ в электроустановках переменного тока напряжением до 1кВ
- ГОСТ Р 52735-2007. Методы расчёта в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1кВ
- РД 153-34.0-20.527-98. Руководящие указания по расчёту токов КЗ и выбору электрооборудования
- Ульянов С.А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах. М.: Энергия, 1970
- Куликов Ю.А. Переходные процессы в электрических системах. М.: Мир; «Издательство АСТ», 2003



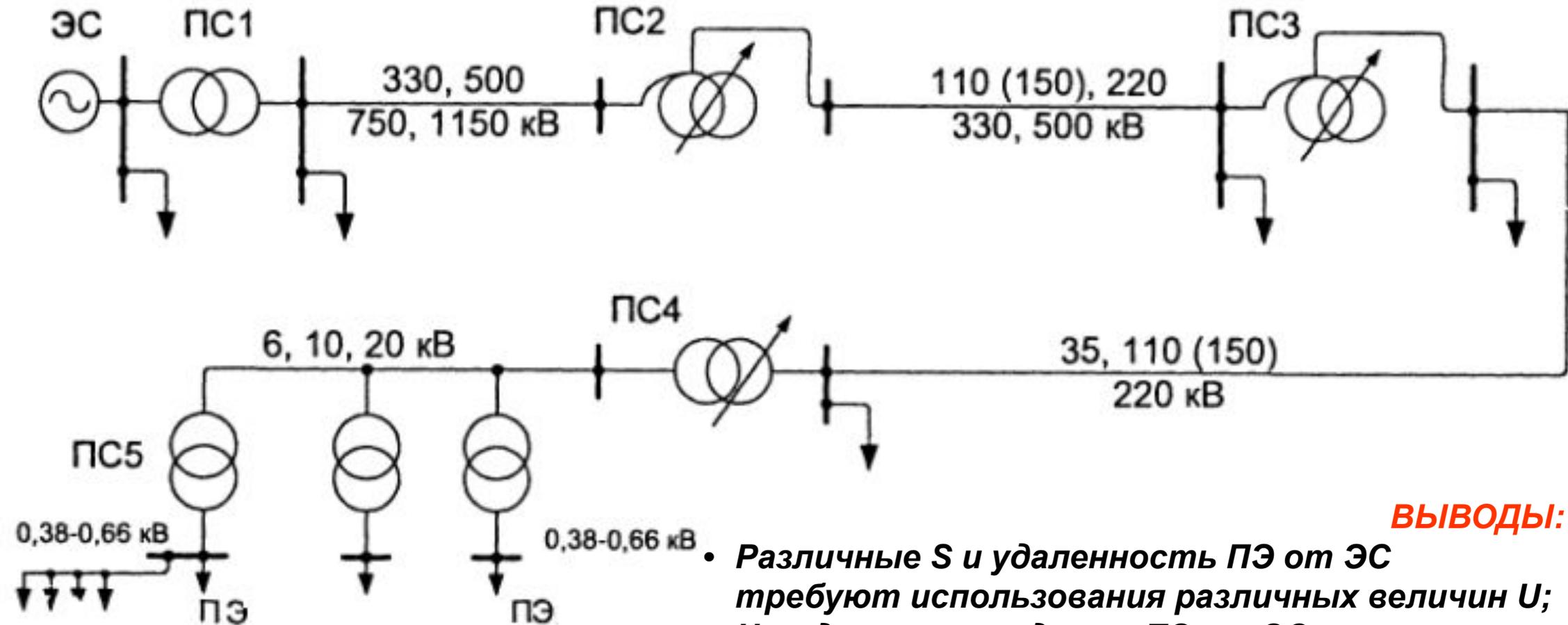


2. Структура электроэнергетики. Глоссарий





Принципиальная схема передачи и распределения электроэнергии:



ВЫВОДЫ:

- Различные S и удаленность ПЭ от ЭС требуют использования различных величин U ;
- Чем дальше находится ПЭ от ЭС и чем выше его S , тем целесообразнее передавать ему электроэнергию при более высоком U ;
- Чем ниже U сети, тем больше количество ЛЭП она имеет и тем меньшая S передается по каждой из них.

Производство и передача ЭЭ осуществляется на **трехфазном переменном токе 50 Гц / 60 Гц**, такой род тока выявил свои преимущества (после изобретения трансформатора) по причинам...

- **Электроэнергетическая система (ЭЭС)** – совокупность устройств (**силовых** – Г,Т, ВиИ,ЛЭП,Н и **управления** – РЗА,Q), связанных одновременно процессов производства, преобразования, распределения и потребления электроэнергии, что налагает на все режимы её работы и персонал особую ответственность по качественному управлению ей для бесперебойного энергоснабжения потребителей в **различных режимах работы ЭЭС**;
- **Под режимом системы** понимают совокупность процессов, характеризующих **условия работы ЭЭС и ее состояние** в любой момент времени;

Так если, **состояние системы** характеризуется количественными показателями:

- **Параметрами режима** — это напряжения, токи, мощности, угол сдвига векторов, частота и т.п., которые связаны между собой зависимостями через...
- **Параметры системы** — это сопротивления, проводимости, коэффициенты трансформации и усиления, постоянные времени и др., определяющиеся физическими свойствами элементов; При этом известно, что если они зависят от режима, то система считается нелинейной. Однако, во многих практических задачах полагают систему линейной.

То, изменения условий работы ЭЭС сопровождаются **переходными процессами**, при которых скорости изменения параметров режимов настолько значительны, что д.б. учтены при рассмотрении практических задач, т.с. **ПП** возникают (относительно не надолго) при переходе электрической системы от одного режима к другому (ex.)

3. Итак, для чего необходим данный курс?

- **Единая работа совокупности различных по функциональности электроустановок и приёмников, представляющих ЭЭС, СЭС, ПС, КТП, ТП и пр. должно надёжно функционировать не только в условиях нормальных режимов, но и в аварийных условиях (КЗ).**
- **Проверка элементов проектируемых объектов на термическую и электродинамическую стойкость при КЗ, коммутационных аппаратов и на отключающую способность при КЗ является необходимым условием безотказного их действия в энергосистеме.**
- **Достижение этих целей реализуется благодаря полученным навыкам расчёта токов короткого замыкания (ТКЗ) в различных режимах ЭЭС – на что направлены задания РГР.**

4. Режимы работы электрических систем

- **нормальный** (установившийся или длительный)
- **аварийный** (не ликвидированный, треб. отключить)
- **послеаварийный** (установившийся, треб. сократить)
- **ремонтный** (как частный, в пределах нормального).

Где место переходному процессу? Когда он нормален, когда нет?

- Самым важным в целях устойчивой и бесперебойной работы ЭЭС является ПП при переходе электросистемы от нормального режима к **аварийному**.
- Аварийный режим делят на две стадии: **НАЧАЛЬНАЯ СТАДИЯ** (от доаварийного к аварийному) и **стадия установившегося аварийного режима**, который собственно ПП не является (см. выше).
- Однако, в область теории ПП попадают обе стадии как представляющие непосредственную опасность для нормального функционирования ЭС.

Наиболее частая причина, вызывающая в электрических системах опасные аварийные переходные процессы, это короткое замыкание.

5. Структура протекания процессов в ЭЭС

- При любом ПП происходит **изменение** электромагнитного состояния элементов системы и **нарушение** баланса моментов на валу вращающихся машин (одни затормаживаются, другие ускоряются) – эти два процесса взаимосвязаны и представляют единое целое...
- Из-за большой механической инерции вращающихся машин начальная стадия ПП ($<T/2$) характеризуется в основном **электромагнитными изменениями**.
- И лишь последующее развитие процесса ($>T$) связано с электромагнитными и механическими изменениями и носит название **электромеханических ПП**.
- По этой причине условно принято делить процессы в ЭЭС, на электромагнитные и электромеханические и изучать их последовательно.

Причины возникновения ПП:

- 1) **Короткое замыкание (КЗ)** – всякое не предусмотренное нормальными условиями работы замыкание между фазами, а в сетях с заземленными нейтралью также замыкание одной или нескольких фаз на землю;
- 2) **Возникновение местной (локальной, продольной) несимметрии в ЭС;**
- 3) **Действие форсировки возбуждения синхронных машин, развозбуждение или гашение поля их ротора.**

Причины возникновения КЗ: нарушение изоляции, вследствие старения диэлектрика, перенапряжениями, не тщательным уходом за ЭО и непосредственными мех. повреждениями (КЛ при земляных работах; ВЛ от перекрытия токоведущих частей животными, птицами, деревьями, автотранспортом). А бывает и по вине человека – неправильная эксплуатация, при переключениях схем (**видео – СРСП**).

Последствия возникновения КЗ: повышение электротермического и электродинамического действия на элемент, вплоть до возгорания места повреждения; перерыв в электроснабжении, что чревато большим ущербом для ответственных производств и даже поражением живых организмов, вплоть до летального исхода. **КЗ оказывают отрицательное влияние как на надежность системы электроснабжения, так и на качество электрической энергии.**

- **В воздушных линиях (ВЛ)** перекрытие гирлянд подвесных изоляторов, сближение проводов при определенных климатических условиях, приближение к проводам ветвей деревьев, набросы на провода различных предметов;
- **В кабельных линиях (КЛ)** — пробой изоляции, самоустраняемые благодаря специфическим свойствам бумажно-масляной изоляции (в разрядном промежутке создаются условия, способствующие гашению дуги);
- **В распределительных устройствах (РУ)** — набросы или поверхностные перекрытия при повышенном увлажнении или загрязнении.

Из анализа повреждений следует:

- в ВЛ напряжением выше 110 кВ только 16 % повреждений – устойчивые, а в КЛ напряжением 6-10 кВ число устойчивых в 4-8 раз меньше неустойчивых;
- в КЛ повреждения развиваются постепенно. При этом 80 % относятся к пробоям изоляции КЛ, а 20 % – к пробоям других элементов ЭЭС;
- для сохранения работы ЛЭП при неустойчивых повреждениях в большинстве ВЛ, а также в некоторых КЛ предусматриваются устройства **АПВ**, успешное действие которых составляет до 40-90% всех отключений.

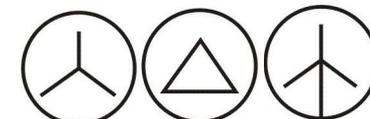
В соответствии ПУЭ, РД, ГОСТ в нормальном режиме:

Значения $U_{НОМ}$ на зажимах ЭУ в ЭЭС трёхфазного АС $f_{ПРОМ} = 50$ Гц:

- до 1 кВ: 220/127, 380/220, 660/380 В **НР = ±5%**
- выше 1 кВ: 6, 10, 35, 110, 220, 500, 1150 кВ. **ПАР = ±10%**

Режим $N^{ЛИ}$ сети в зависимости от $U_{НОМ}$:

- сети с $U_H < 1$ кВ, питающиеся от автономного ИП или разделительного Т выполняются с изолированной (не заземлённой) нейтралью;
- сети с $U_H < 1$ кВ, выполняются 5^У проводными с глухим заземлением нейтрали;
- сети с $U_H > 110$ кВ выполняются с эффективным заземлением нейтрали (через ТА);
- сети 3 – 35 кВ с изолированной нейтралью или резонансно-компенсированной (через резистор типа ДГР, с целью компенсации емкостного тока на землю).



R_N в сетях <1 кВ – определяется ПТБЭ, а >1 кВ – беспереб., экон. и надёжн. работы ЭУ.

9. Виды коротких замыканий (КЗ)

Выводы из статистических данных:

- **относительная частота (%) различных видов КЗ в ЭЭС неодинакова:** ЛЭП/ПС – 47; Электр. ч. ЭС – 19; Силовая ч. ЭС – 26; Др.элемент. ЭЭС – 8.
- **многочисленные КЗ связаны с замыканием на землю, $K^{(3)}$ редки;**
- **вероятность междуфазных КЗ уменьшается с увеличением $U^{ИЯ}$ сети, что связано с увеличением междуфазного расстояния;**
- **иногда, в процессе развития аварии, первоначальный вид КЗ может перейти в другой вид, более сложный вид КЗ (двойные);**

Например, опытом эксплуатации установлены ПРИЧИНЫ и ПОСЛЕДСТВИЯ КЗ:

- В КЛ-сетей НКЗ часто переходят в трехфазные КЗ, т.к. образовавшаяся при повреждении в кабеле электрическая дуга быстро разрушает изоляцию между фазами;
- Большая часть возникающих повреждений, особенно на ВЛ, имеет преходящий характер, т.е. повреждения самоустраняются после отключения поврежденного участка и не возникают вновь при обратном включении его путём применения АПВ;
- На ПП сильное влияние оказывают АРВ СГ, форсировка возбуждения и гашение МП;
- Возникновения КЗ оказывают отрицательное влияние как на **надежность электрической системы, так и на качество электрической энергии (ПКЭ).**

Расчётный вид КЗ (ЭМПП) – по своей сути результат расчёта ТКЗ ($I ; U$) по ИРС при ЗУ.

- В месте замыкания образуется **электрическая дуга**. R_d имеет нелинейный характер. Учет влияния дуги на ТКЗ сложная задача и такое замыкание называют **дуговым КЗ**, которое может быть устойчивым, прерывистым и самопогасающим.
- Кроме R_d в месте КЗ возникает **переходное ΔR** , вызываемое загрязнением, наличием остатков изоляции и т.п., на пути тока от фазы к другой или от фазы на землю;
- В случае пренебрежения ΔR и R_d (малы) – КЗ называется **металлическим, которое имеет** максимально возможное расчётное значение тока.
- Важным шагом в целях обеспечения надёжной работы ЭЭС является исследование ПП при переходе из **НР** → **АР** вследствие КЗ – **РЕЖИМ КЗ**, состоит из **расчётных стадий**:
 - **ПРЕДШЕСТВУЮЩАЯ** – соответствует режиму работы ЭУ перед моментом возникновения КЗ (типичными являются НР или ХХ);
 - **НАЧАЛЬНАЯ ($t = 0$)**, т.е. начальный момент времени работы ЭУ при наличии в ней КЗ, который **характеризуется изменением ЭМ ФВ ЭУ (I, U)**;
 - **УСТАНОВИВШАЯСЯ ($t = \infty$)** – не является процессом, а относится к ПАР, такой режим КЗ ЭУ наступает после затухания во всех цепях свободных токов и прекращения изменения напряжения возбудителей СМ под действием АРВ.
- **В область теории ПП попадают последние две стадии**, как представляющие непосредственную опасность для нормального функционирования ЭЭС.



Результаты расчетов КЗ используют при:

- проектировании и настройке устройств РЗА;
- проектировании станций и подстанций, в частности, выбор и проверка электрических аппаратов, выключателей и проводников по режиму КЗ;
- сопоставление, оценка и выбор схем соединений ЭС, а также определение режима работы нейтралей сетей;
- анализ аварий и выявление условий работы потребителей при аварийных режимах;
- определение электромагнитной совместимости и т.д.

Учитывая дискретный характер изменения параметров ЭО, при проектировании, требования к точности проводимых расчетов обычно **приближенные** с допустимой погрешностью до 5 %, в остальных случаях более **точные** с < допустимой погрешностью.

Классификация РЗА

Релейная защита и автоматика (РЗА)





11. Общий алгоритм расчёта ПП (две задачи одной контрольной) и требования к их выполнению.

11. Общий алгоритм расчёта КЗ (ЭМПП)

Накануне расчёта любого вида КЗ необходимо получить (выбрать) ВИЗ.

1. Обосновать актуальность расчёта видов КЗ (во введении РГР раскрыть РУ):

- анализ исходных данных (раскрыть структуру и состав ИРС, оценить паспорт), следовательно сколько задано базисов (а возможно) и сколько ветвей действует на базис – надо оценить их по индивидуальному изменению и проверить на удалённость;
- принять методы и инструменты, необходимые для решения задачи (цель расчёта и его точность (вид приведения), расчётный вид КЗ, количество и место КЗ, продолжительность КЗ (стадия), принимаемые допущения и СРЕ).

2. Составление «комплексной» схемы замещения и расчёт эквивалентов E_{13} и $Z_{нз}$:

- составляется КСЗ в зависимости от ЗУ объединяющая схемы замещения прямой (1), обратной (2) нулевой (0) последовательности относительно особой фазы;
- расчёт параметров элементов КСЗ (по их паспорту и справочникам);
- приведение ПЭ КСЗ к базису (и.е.) или базисным условиям (о.е.);
- эквивалентирование (преобразование) КСЗ (применением принципов наложения из любой сложности цепи требуется получить простую n-лучевую звезду в расчётном месте КЗ эквивалентными результирующим $E_{э1}$, $Z_{эN}$ каждого луча).

3. Расчёт ЭМ ФВ (I, U) конкретных видов КЗ, их оценка и сравнение, применение.

- по фундаментальным электротехн. выражениям (МСС, з. Кирхгофа и Ома, ПЭПП);
- представление векторных диаграмм рассматриваемого вида НКЗ.

12. Заданные расчётные условия КЗ

- **Расчётная схема ЭС (принципиальная)**
- **Расчетный вид КЗ**
- **Расчетная точка КЗ**
- **Расчётная продолжительность КЗ.**

Расчётная продолжительность КЗ

(в начальный момент времени $t=0$ с и в установившийся момент времени КЗ $t=\infty$):

- **при проверке проводников и аппаратов на термическую стойкость в качестве расчётной продолжительности КЗ следует принимать сумму времени действия токовой защиты РЗ (с учётом действия АПВ) ближайшего к месту КЗ выключателя и полного его времени отключения.**
- **при проверке аппаратов на коммутационную способность в качестве расчётной продолжительности КЗ следует принимать сумму минимально возможного времени действия РЗ данного присоединения и собственного времени отключения коммутационного аппарата.**
- **при проверке кабелей на невозгораемость при КЗ в качестве расчётной продолжительности КЗ следует принимать сумму времени действия резервной защиты и полного времени отключения выключателя.**

13. Обоснование актуальности расчёта КЗ

Получив задание на РГР необходимо сформировать ВВЕДЕНИЕ (ОБОСНОВАНИЕ РАСЧЁТА). Оно вытекает из общего алгоритма расчёта любого КЗ.

В помощь для формирования ВВЕДЕНИЯ всей РГР и как следствие более ясного плана (алгоритма) инженерных расчётов, ответьте на следующие вопросы:

- Какой представлен тип схемы (РИС) и для каких целей она предназначена?*
- Что включает РИС: сколько станций и какие они по назначению (ТГ/ГГ/ПГ); сколько бл. Г-Т и каков их класс повышения (кВ); сколько узлов нагрузки потребления ЭЭ (ОН, КН); сколько понижающих ПС (и в них п-Т/АТ/ТР, каков класс кВ), сколько ЛЭП и какого типа (КЛ/ВЛ и радиаль/магистраль); соответствует ли по ПУЭ РН, необходимо оценить достаточно ли паспортных данных элементов (ЭУ) РИС для определения электр. вел.?*
- Оцените базис: по заданию одно место КЗ, но сколько их возможно в РИС, ОЦЕНИТЕ количество ветвей протекания аварийных токов и его составляющих к расчётному месту КЗ, т.е. «индивидуальное изменение $K^{(3)}$ по ветвям от базиса (одного)»?*
- Обоснуйте принимаемую СРЕ (о.е или и.е.) и как следствие, составьте свои БУ в и.е.;*
- Обоснуйте точность принимаемого расчёта – вид приведения $U_{д/ср}$ и допущения?*
- Какой расчётный вид КЗ и для чего он необходим в дальнейшем на практике?*
- В зависимости от расчётного вида КЗ (по ЗУ) какой принимаете метод расчёта вида КЗ и в чём его суть (достаточное число СЗ и следовательно законы)?*
- Какова расчётная стадия режима КЗ ($t=0$ или $t=\infty$ и для каких целей выбранное условие)?*

