

Назначение РЗ

Виды коротких замыканий

Основные свойства релейной защиты (требования)

Селективность — это свойство релейной защиты, характеризующее ее способность выявлять и отделять (отключать) от электрической сети только поврежденные элементы. селективность — это избирательность действия.

Быстродействие — это свойство релейной защиты, характеризующее скорость выявления и отделения от сети поврежденных элементов.

Быстродействие показывает, насколько быстро средства релейной защиты реагируют на возникновение тех или иных видов повреждений.

Показателем быстродействия является время срабатывания защиты — это интервал времени от момента возникновения повреждения до момента отделения от сети поврежденного элемента. Наиболее быстродействующие защиты имеют время срабатывания $t_{сз} = 0,04-0,10$ с. Медленные защиты могут иметь время срабатывания до нескольких секунд.

От релейной защиты не во всех случаях требуется высокое быстродействие. При возникновении некоторых ненормальных режимов достаточно дать предупредительный сигнал дежурному персоналу. На энергетических объектах без постоянного дежурного персонала производится отключение неисправного оборудования, но обязательно с выдержкой времени .

Чувствительность — это свойство, характеризующее способность релейной защиты выявлять повреждения в конце установленной для нее зоны действия в минимальном режиме работы энергосистемы т.е. защита должна чувствовать те виды повреждений и ненормальных режимов, на которые она рассчитана, в любых состояниях работы защищаемой электрической системы.

Показателем чувствительности является коэффициент чувствительности, который для максимальных защит (реагирующих на возрастание контролируемой величины) определяется как отношение минимально возможного значения сигнала, соответствующего отслеживаемому повреждению, к установленному на защите параметру срабатывания (уставке).

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{К MIN}}^{(1)}}{I_{\text{СЗ}}},$$

где $I_{\text{К MIN}}^{(1)}$ — значение тока однофазного КЗ при повреждении в конце защищаемой линии в минимальном режиме работы энергосистемы;

$I_{\text{СЗ}}$ — ток срабатывания защиты.

Надежность — это свойство, характеризующее способность релейной защиты действовать правильно и безотказно при всех видах повреждений и ненормальных режимов, для устранения которых она предназначена, и не действовать в нормальных условиях, а также при таких повреждениях и нарушениях нормального режима, при которых действие данной защиты не предусмотрено .

надежность — это свойство релейной защиты, характеризующее ее способность выполнять свои функции в условиях эксплуатации, ремонта, хранения и транспортировки.

Показателями надежности являются время безотказной работы и интенсивность отказов — количество отказов за единицу времени.

Так как неправильно действующая защита может сама служить причиной возникновения аварий, ее надежность должна быть обеспечена в достаточно высокой степени. Например, для защит линий электропередачи предельно допустимым считается один отказ за десять лет работы, а для защит генераторов — один отказ за несколько сотен лет.

Короткое замыкание — это непредусмотренное нормальными условиями эксплуатации замыкание между фазами или между фазами и землей

Причины возникновения коротких замыканий

- нарушение изоляции электрооборудования, вызываемое ее старением, загрязнением поверхности изоляторов, механическими повреждениями;
- механические повреждения элементов электрической сети (обрыв провода линии электропередачи и т. п.);
- перекрытие токоведущих частей животными и птицами;
- ошибки персонала подстанций при проведении переключений;
- преднамеренные КЗ, вызываемые действием короткозамыкателей.

Уменьшение количества КЗ в электрических системах связано со строгим соблюдением Правил технической эксплуатации электроустановок и повышением качества продукции электротехнической промышленности.

Виды коротких замыканий

В электрических системах, работающих с заземленной нейтралью, различают четыре вида КЗ:

- **Трехфазное (3) симметричное** КЗ (средняя вероятность возникновения трехфазного короткого замыкания в электрической сети для разных классов напряжений составляет 5%),
- **Двухфазное (2)** КЗ (вероятность 10%),
- **Однофазное (1)** (вероятность 65%),
- **Двухфазное (1,1)** КЗ на землю (вероятность 20%).

Условные обозначения видов КЗ

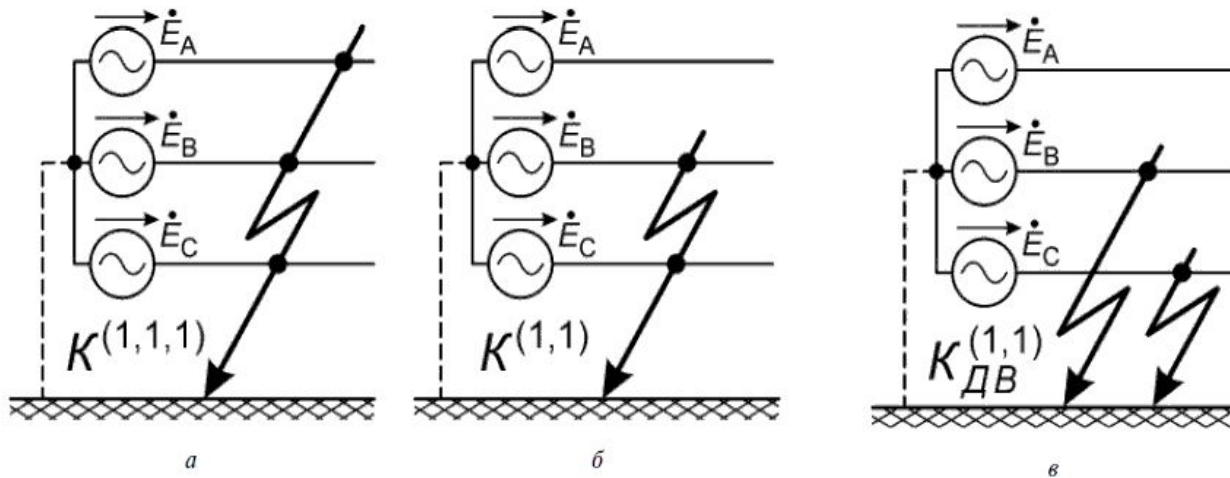
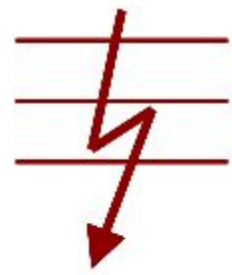
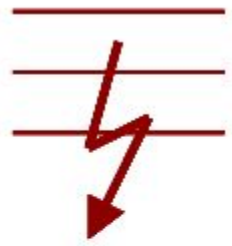


Рис. 1.9. Схемы сети при трехфазном КЗ на землю (а), двухфазном КЗ на землю (б), двойном КЗ на землю (в)



K(3)



K(2)



K(1)



K(1,1)

Трехфазные КЗ - самые тяжелые и разрушительные

трехфазное КЗ является симметричным, то есть

$$E_A = E_B = E_C = E_\Phi;$$

$$I_A = I_B = I_C.$$

Ток трехфазного КЗ:

$$I_K^{(3)} = |I_A| = |I_B| = |I_C| = \frac{E_\Phi}{Z_K} = \frac{E_\Phi}{\sqrt{r_L^2 + (x_\Gamma + x_L)^2}}$$

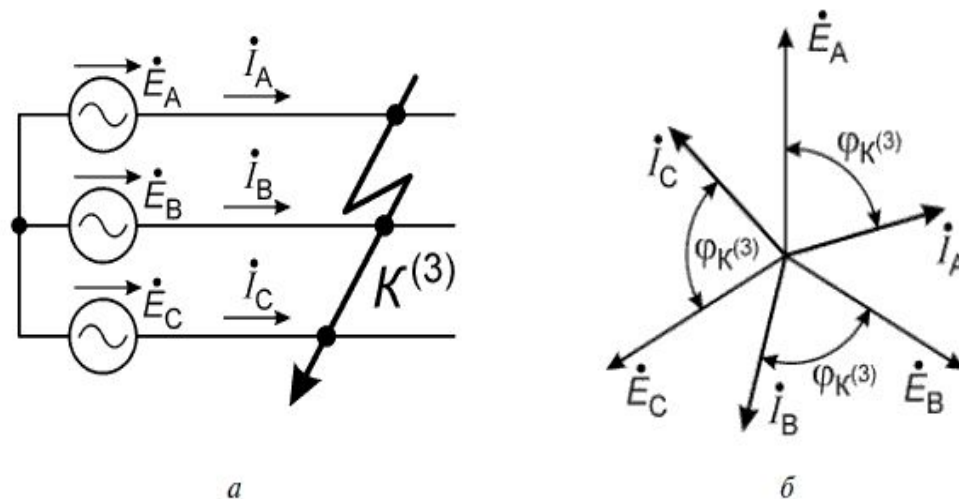


Рис. 1.2. Схема (а) и векторная диаграмма (б) трехфазного КЗ

Ток каждой фазы отстает от создающей его э.д.с. на угол $\varphi_K = \arctg \frac{x_\Gamma + x_L}{r_L}$ (рис. 1.2, б). Для линий 110 кВ этот угол составляет 60–78°; для линий 750 кВ – 86–88° [3].

Двухфазное КЗ

При таком КЗ ток в неповрежденной фазе практически отсутствует ($I_A \approx 0$), а в поврежденных фазах токи равны по величине ($I_B = -I_C$).

Ток двухфазного КЗ:

$$I_K^{(2)} = |i_B| = |i_C| = \frac{\sqrt{3}E_\Phi}{2Z_K} = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{E_\Phi}{\sqrt{r_{\text{Л}}^2 + (x_{\Gamma} + x_{\text{Л}})^2}} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_K^{(3)} \approx 0,866 \cdot I_K^{(3)}.$$

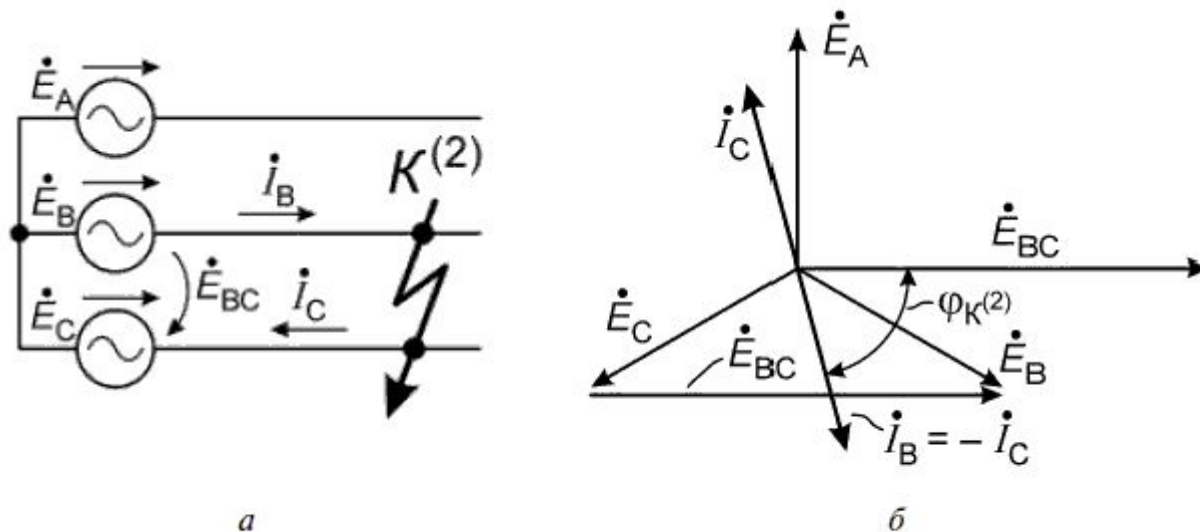


Рис. 1.3. Схема (а) и векторная диаграмма (б) двухфазного КЗ

Однофазное КЗ в сети с глухозаземленной нейтралью

Ток однофазных КЗ следует находить с учетом сопротивления цепи заземления

($\dot{Z}_3 = r_3 + j \times x_3$):

$$I_K^{(1)} = |\dot{I}_C| = \frac{E_\Phi}{\sqrt{(r_\Gamma + r_3)^2 + (x_\Gamma + x_\Gamma + x_3)^2}}$$

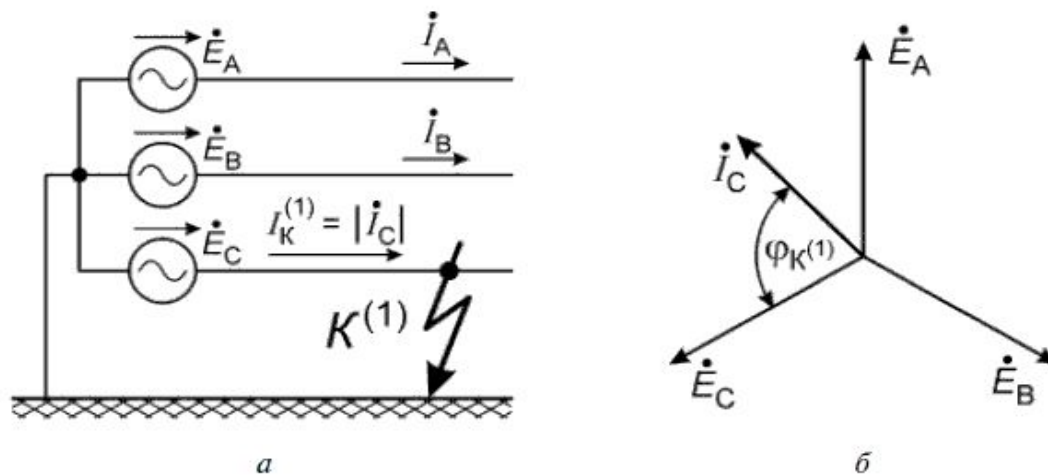


Рис. 1.4. Схема (а) и векторная диаграмма (б) однофазного КЗ

Однофазным замыканием на землю

Возникают в сетях с изолированной или компенсированной нейтралью однофазные замыкания короткими не являются (так как проводимость в месте повреждения не шунтирует источник питания) и обычно не требуют быстрого отключения

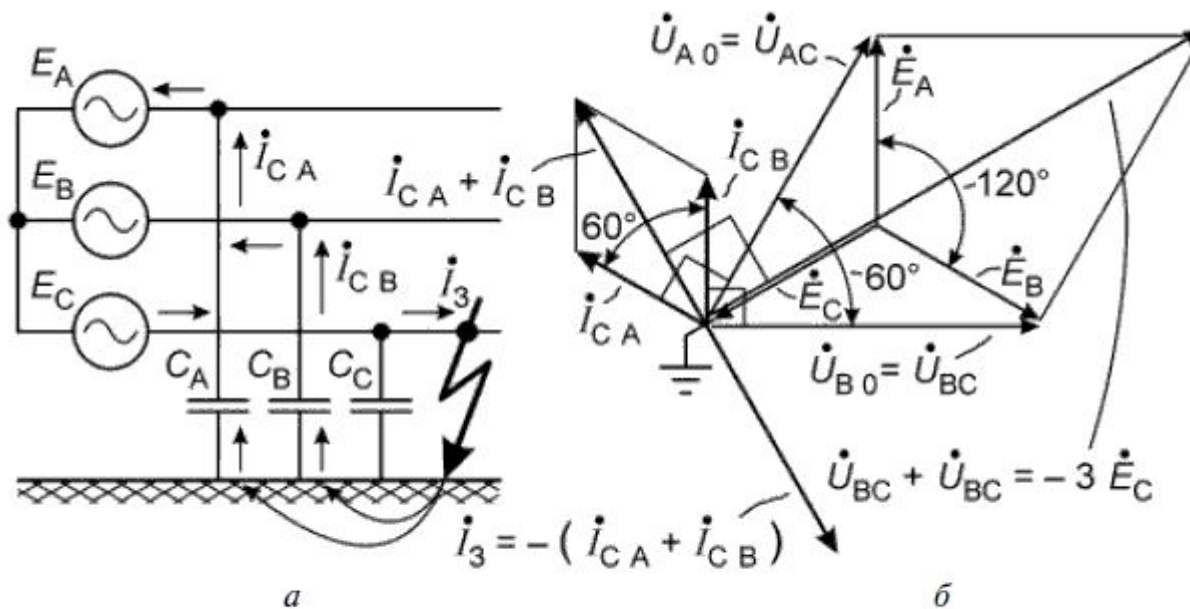


Рис. 1.5. Схема (а) и векторная диаграмма (б) однофазного замыкания на землю в сети с изолированной нейтралью

В месте замыкания возникает емкостной ток I_3 обусловленный распределенными емкостями фазных проводников сети относительно земли. Это однофазный ток (ток нулевой последовательности), распределенный между тремя фазами. Вторым проводником для этого тока является земля и заземленные грозозащитные тросы линий электр

$$I_3 = -(I_{CA} + I_{CB}) = - \left(\frac{\dot{U}_{A0}}{j\omega C_A} + \frac{\dot{U}_{B0}}{j\omega C_B} \right),$$

где \dot{U}_{A0} и \dot{U}_{B0} — напряжения неповрежденных фаз А и В относительно земли (фактически это линейные напряжения \dot{U}_{AC} и \dot{U}_{BC});
 $\frac{1}{j\omega C_A}$ и $\frac{1}{j\omega C_B}$ — реактивные сопротивления изоляции фаз А и В.

Учитывая, что $\dot{U}_{AC} + \dot{U}_{BC} = -3\dot{E}_C$ (см. рис. 1.5, б), а также считая емкости фаз относительно земли одинаковыми ($C_A = C_B = C_C = C$), получим:

$$I_3 = -j\omega C (\dot{U}_{AC} + \dot{U}_{BC}) = 3j\omega C \dot{E}_C \text{ или } I_3 = 3 U_\Phi \omega C = 6\pi U_\Phi f C,$$

где U_Φ — фазное напряжение сети.

Основные неблагоприятные факторы, возникающие при однофазных замыканиях на землю, — повышение напряжений неповрежденных фаз относительно земли до линейных и сравнительно небольшой емкостной ток в месте замыкания. Они способствуют возникновению других, более тяжелых видов КЗ и затрудняют поиск повреждения.

Последствия коротких замыканий

1. Системная авария, вызванная нарушением устойчивости системы. Это наиболее опасное последствие, способное привести к значительному технико-экономическому ущербу.
2. Термическое повреждение электрооборудования, связанное с его недопустимым нагревом токами КЗ.
3. Механическое повреждение электрооборудования, вызываемое воздействием больших электромагнитных сил между токоведущими частями.
4. Ухудшение условий работы потребителей. При понижении напряжения, например до 60–70 % от номинального, в течение 1 с и более возможна остановка двигателей промышленных предприятий, что, в свою очередь, может вызвать нарушение технологического процесса, приводящее к экономическому ущербу.
5. Наведение при несимметричных КЗ в соседних линиях связи и сигнализации ЭДС, опасных для обслуживающего персонала.

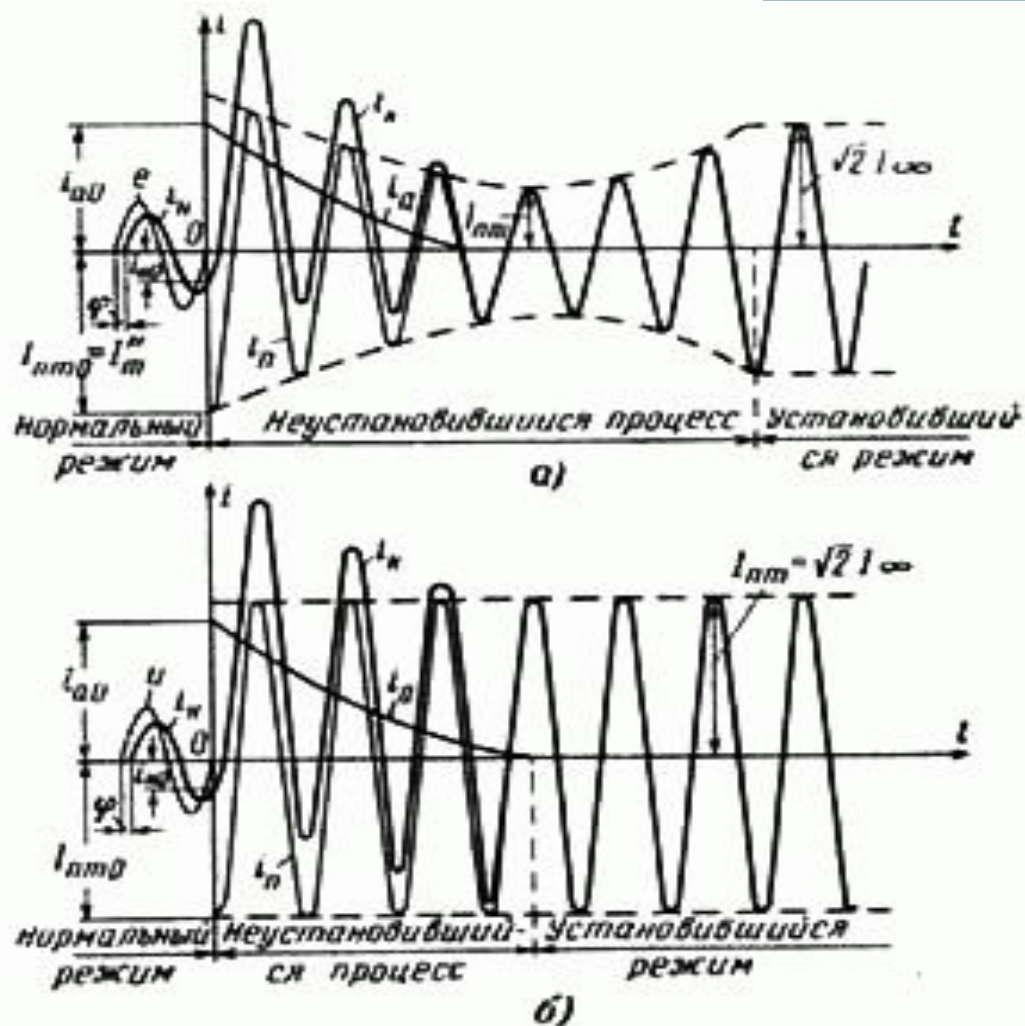


Рис. 1-23. Кривые изменения тока трехфазного к. з.
 а — в сети, питающейся от генератора с АРВ; б — в сети,
 питающейся от системы неограниченной мощности.

Цели расчетов коротких замыканий

- проектирования и настройки устройств релейной защиты и автоматики;
- проектирования станций, подстанций; сопоставления, оценки и выбора схемы электрических соединений сетей, в том числе выбора аппаратов и проводников и их проверки по условиям электродинамической и термической стойкости и т. п.;
- определения режимов работы ЭС (например, выбор числа заземленных нейтралей и их размещения в ЭС);
- определения условий работы потребителей в аварийных режимах;
- анализа аварий;
- определения электромагнитной совместимости.

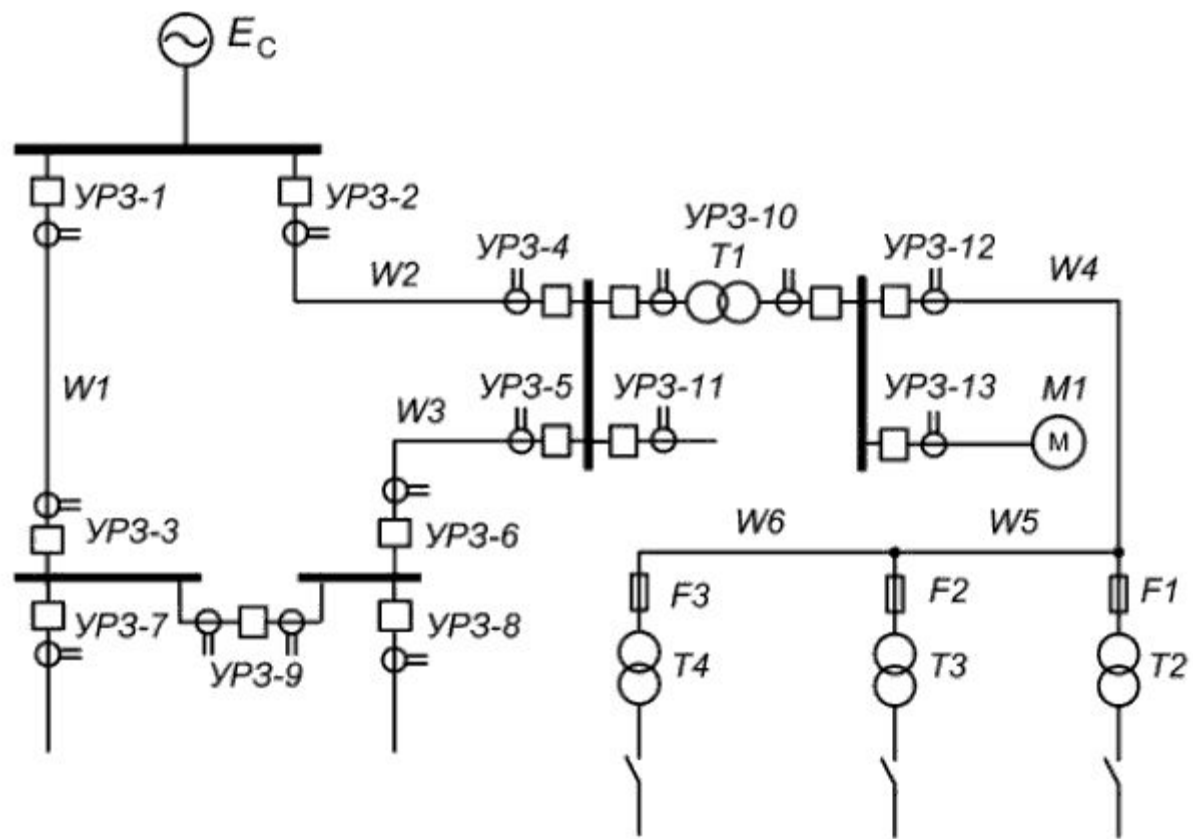


Рис. 1.1. Пример схемы распределительной сети

Аномальные режимы работы ЭС

Аномальный режим – это отклонение параметров электроэнергии (I, U, f) от допустимых (номинальных) значений.

Аномальные режимы приводят к увеличению тока, понижению напряжения, отклонению частоты.

Перегрузка- увеличение тока сверх номинального значения;

Качание в системах, возникает при выходе из синхронизма параллельно работающих генераторов;

Повышение напряжения сверх допустимых, возникает при резком отключении нагрузки (обычно на гидрогенераторах)