

$$\Delta W_{\%} = K_{м/н} \cdot K_{дп} \cdot \Delta U_{ср\%} \cdot \tau, \quad (4)$$

где $\Delta U_{ср\%}$ – средняя относительная величина потерь напряжения для сети;

$K_{дп}$ – коэффициент дополнительных потерь, учитывающий неравномерность загрузки фаз сети, рассчитываемый по формуле:

$$K_{дп} = 3 \cdot \frac{I_A^2 + I_B^2 + I_C^2}{(I_A + I_B + I_C)^2} \cdot \left(1 + 1,5 \frac{R_H}{R_{\Phi}} \right) - 1,5 \cdot \frac{R_H}{R_{\Phi}} \quad (5)$$

где I_A, I_B, I_C – измеренные токовые нагрузки фаз;

R_H и R_{Φ} – сопротивления нулевого и фазного проводов;

$K_{м/н}$ – коэффициент связи относительных потерь мощности с относительными потерями напряжения, в общем случае зависящий от конфигурации сети, плотности нагрузки и других факторов, предлагается определять по формуле:

$$K_{м/н} = K_{разв} \cdot 2r / (2r \cdot \cos^2 \varphi + x \cdot \sin 2\varphi) \quad (6)$$

где r и x – активное и реактивное сопротивления головного участка линии 0,38 кВ,

$K_{разв}$ – коэффициент разветвленности схемы [22].

Выполнение расчетов потерь электроэнергии во всех распределительных линиях в масштабах энергосистемы даже с помощью сравнительно простого метода $K_{м/н}$ часто оказывается затруднительным, поэтому для оценки целесообразным следует считать применение метода случайной выборки с последующим распространением результатов расчета с заданной доверительной вероятностью на всю рассматриваемую сеть [23]. Суть метода состоит в расчете относительных потерь электроэнергии не во всех сетях, а только в их части, определенной по одному из способов случайного отбора. При отборе электрических сетей необходимо обеспечить равную вероятность попадания различных распределительных сетей в выборку.

Приведенные выше методы описывают алгоритмы ручного расчета уровня потерь мощности и электроэнергии, однако с развитием компьютерного ПО появились автоматизированные комплексы позволяющие производить расчет

потерь, в автоматическом режиме выбирая при этом метод расчета. Алгоритмы расчета потерь мощности рассматривают производители различного ПО. Для работы с трехфазной несимметричной системой электроснабжения можно воспользоваться такими ПО как RastrWin3, Mustang Этап и т.п.

1.3 Снижение потерь электроэнергии

Снижение потерь электроэнергии при ее распределении является одним из основных направлений энергосбережения в распределительных сетях промышленных предприятий [24].

Рациональное построение электрической сети является основным условием работы электрической сети с минимальными потерями. При этом особое внимание уделяется правильному определению точек деления в замкнутых сетях, экономичному распределению активных и реактивных мощностей, внедрению замкнутых и полужамкнутых схем сети 0,4 кВ.

Снижение потерь электроэнергии в электрических сетях может быть достигнуто как в результате проведения мероприятий по общей оптимизации сети, когда снижение потерь энергии является одной из составляющих частей комплексного плана, так и в результате проведения мероприятий, направленных только на снижение потерь. По этому признаку все мероприятия по снижению потерь могут быть условно разделены на три группы (рисунок 4):

Группа 1 – организационные, к которым относятся мероприятия по совершенствованию эксплуатационного обслуживания электрических сетей и оптимизации их схем и режимов (малозатратные и беззатратные).

Группа 2 – технические, к которым относятся мероприятия по реконструкции, модернизации и строительству сетей (среднезатратные).

Группа 3 – по совершенствованию учета электроэнергии, которые могут быть как беззатратные, так и требующие дополнительных затрат (при организации новых точек учета) [25].

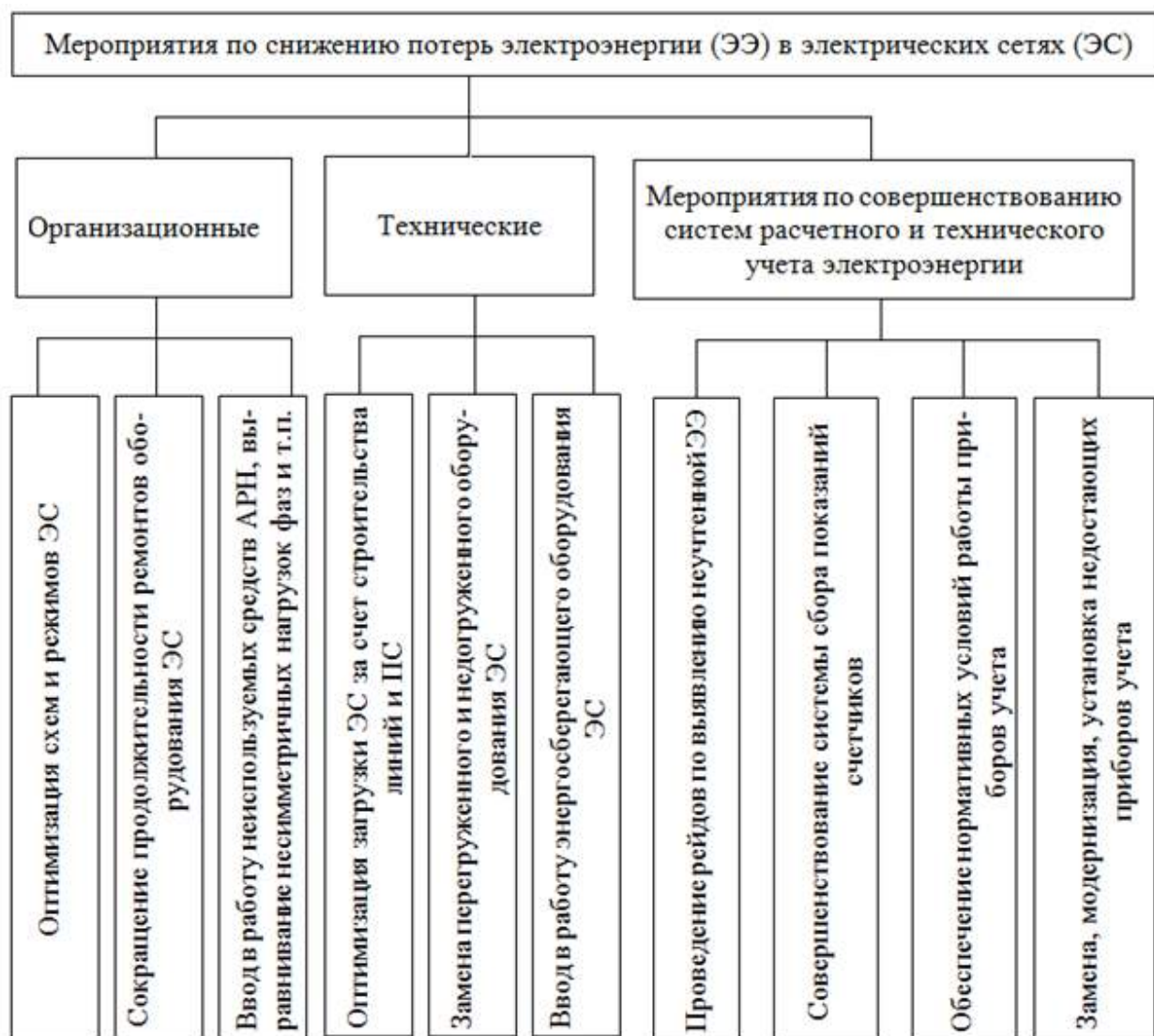


Рисунок 4 – Типовые мероприятия по снижению потерь

К организационным мероприятиям относятся:

- выбор точек оптимального деления сети 6-10 кВ;
- уменьшение времени нахождения линии в отключенном положении при выполнении технического обслуживания и ремонта оборудования и линий;
- снижение несимметрии (неравномерности) загрузки фаз;
- рациональная загрузка силовых трансформаторов.

К приоритетным техническим мероприятиям в распределительных сетях 10 (6)-0,4 кВ относятся:

- сокращение радиуса действия и строительство ВЛ 0,4 кВ в трехфазном исполнении по всей длине;

- применение столбовых трансформаторов (10(6)/0,4 кВ) малой мощности для сокращения протяженности сетей 0,4 кВ;
- применение самонесущих изолированных и защищенных проводов для ВЛ напряжением 0,4-10 кВ;
- использование максимально допустимого сечения проводов в электрических сетях напряжением 0,4-10 кВ с целью адаптации их пропускной способности к росту нагрузок в течение всего срока службы:
 - проведение работы по компенсации реактивных нагрузок;
 - поддержание значений показателей качества электроэнергии в соответствии с требованием;
- внедрение нового экономического электрооборудования, в частности, трансформаторов с уменьшенными активными и реактивными потерями холостого хода, установка конденсаторных батарей встроенных в комплектные трансформаторные подстанции;
- комплексная автоматизация электрических сетей, применение коммутационных аппаратов нового поколения;
- применение средств дистанционного определения мест повреждения в электрических сетях для сокращения времени поиска и ликвидации аварий.

Технические мероприятия могут способствовать значительному снижению потерь мощности, однако зачастую к выбранным мероприятиям следует подходить осторожно. Например, использование максимально допустимого сечения проводников может остановить развитие энергосберегающих технологий, т.е. это приведет к росту нагрузки со стороны предприятий, так как фактически мощная сеть справится с нагрузкой, в свою очередь это приведет к увеличению неравномерности графика нагрузки, а потребители продолжают использовать устаревшее оборудование с низким КПД и т.д.

В составе мероприятий по совершенствованию учета электрической энергии следует предусматривать:

- применение приборов учета (электросчетчики, измерительные трансформаторы) более высокого класса точности измерения;
- осуществление мер по предупреждению несанкционированного доступа к клеммам средств измерений;
- внедрение автоматизированных систем учета, сбора и передачи информации;
- проведение организационных и технических мероприятий по предупреждению выявления и устранению безучетного потребления электрической энергии.

1.4 Несимметрия токов и напряжений

Несимметрия токов и напряжений – это явление в многофазной сети переменного тока, при котором амплитуды фазных напряжений (токов) и углы между ними не равны между собой.

Причины возникновения несимметрии зависят от класса напряжения:

Сеть 0,38 кВ. Значительная часть потребителей бытового и промышленного сектора, как правило, представлены однофазной нагрузкой. Так как количество, мощность приборов и их график работы (нагрузки) на каждой фазе отличается, выровнять нагрузку в каждый момент времени невозможно.

Например, на рисунке 5 представлены типовые характеристики небаланса токов: треугольниками сверху показаны события (коммутации) – включение или выключение единиц оборудования (около 2000 событий) и как видно из графика, отреагировать на пофазные изменения из-за их количества не представляется возможным. На рисунке 6 показаны амплитуды и взаимное расположение векторов тока и напряжения для рисунка 5. Как видно, значения амплитуды напряжений и токов отличаются, что говорит о наличии несимметрии токов и напряжений, и для данного конкретного случая небаланс напряжений 1,19%, а токов 15,2%.

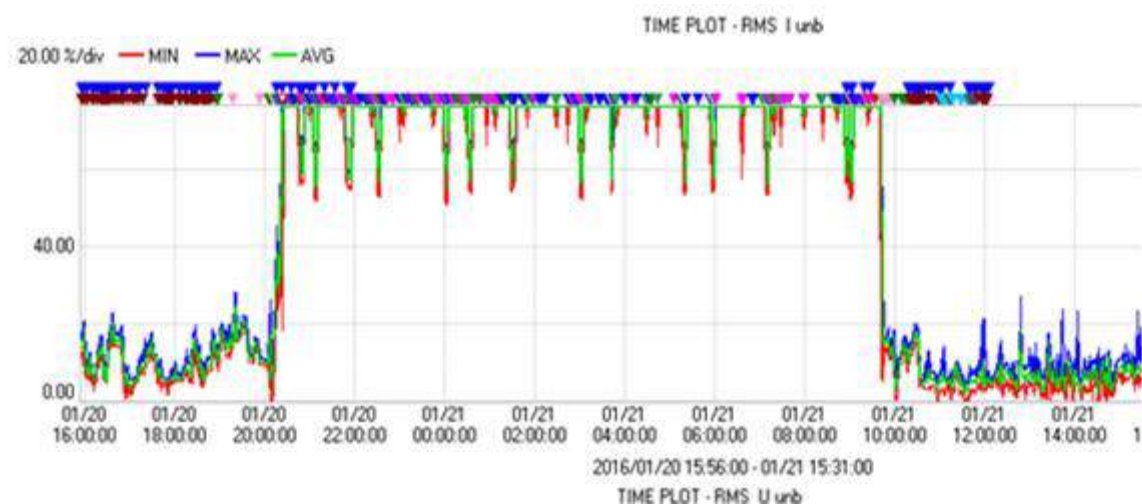


Рисунок 5 – Типовые характеристики несимметрии токов

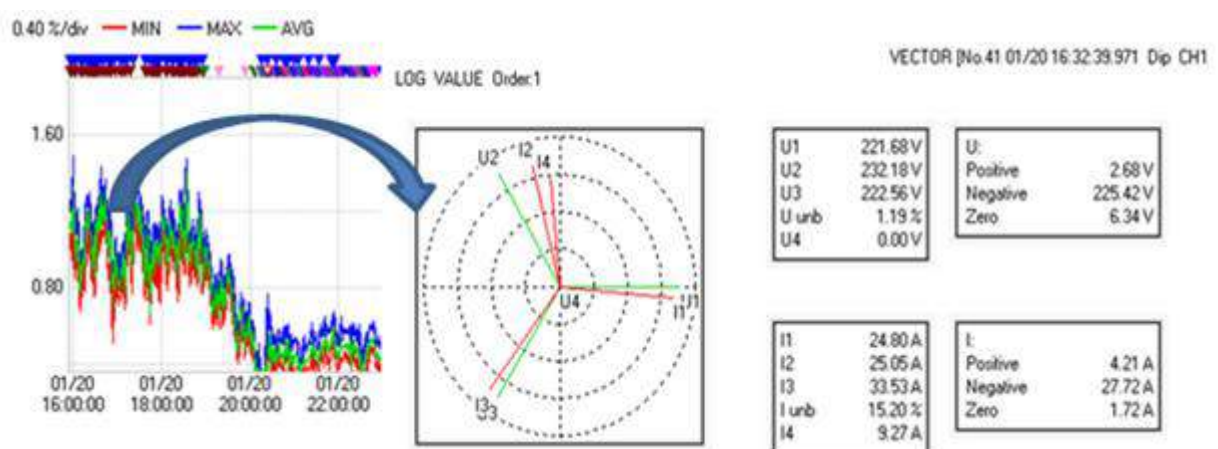


Рисунок 6 – Типовые характеристики несимметрии напряжений

В сетях 6-20 кВ несимметрия может являться следствием несимметрии в сетях 0,38 кВ. Также, несмотря на то, что электроприемники данного класса напряжения имеют трехфазное исполнение, некоторые из них также являются причиной несимметрии. Например, дуговые сталеплавильные печи (из-за пофазного регулирования тока электрической дуги; в режиме расплава возникают несимметричные КЗ). Кроме того, сети данного напряжения являются сетями с изолированной нейтралью, работа в неполнофазном режиме (однофазное КЗ) также является причиной несимметрии.