

Г.А. Сендерович, А.В. Дяченко

АКТУАЛЬНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОТВЕТСТВЕННОСТИ ЗА НАРУШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ КОЛЕБАНИЙ НАПРЯЖЕНИЯ

У статті розглянуті фізичні процеси при коливаннях напруги, способи вимірювання та розрахунки показників, які їх характеризують, вплив коливань напруги на електрообладнання та заходи щодо його зниження. Зроблено висновок про доцільність проведення досліджень з визначення відповідальності суб'єктів у разі перевищення коливаннями напруги допустимих значень. Бібл. 12, рис. 7.

Ключові слова: якість електроенергії, показники якості електроенергії, електромагнітна сумісність, коливання напруги, флікер, розмах зміни напруги, визначення відповідальності.

В статье рассмотрены физические процессы при колебаниях напряжения, способы измерения и расчетов показателей их характеризующих, влияние колебаний напряжения на электрооборудование и мероприятия по его снижению. Сделан вывод о целесообразности проведения исследований по определению ответственности субъектов в случае превышения колебаниями напряжения допустимых значений. Библ. 12, рис. 7.

Ключевые слова: качество электроэнергии, показатели качества электроэнергии, электромагнитная совместимость, колебания напряжения, фликер, размах изменения напряжения, определение ответственности.

Введение. Электрическая энергия как товар используется во всех сферах жизнедеятельности человека, обладает совокупностью специфических свойств и непосредственно участвует при создании других видов продукции, влияя на их качество. Понятие качества электроэнергии (КЭ) отличается от понятия качества других видов продукции. Каждый электроприемник (ЭП) предназначен для работы при определенных номинальных параметрах электрической энергии, которые характеризуются показателями качества электрической энергии (ПКЭ). Степень соответствия действительных и установленных ГОСТом номинальных ПКЭ характеризует КЭ.

Обеспечение требований к КЭ на месте производства не гарантирует их наличие на месте потребления, так как на ПКЭ оказывают влияние технические характеристики сети и ЭП и режимы эксплуатации. КЭ характеризуют также термином «электромагнитная совместимость». Под электромагнитной совместимостью понимают способность ЭП нормально функционировать в его электромагнитной среде (в электрической сети, к которой он присоединен), не создавая недопустимых электромагнитных помех для других ЭП, функционирующих в той же среде.

Постановка задачи. Повышение КЭ – актуальная задача развития электроэнергетики, направленная на понижение потерь электроэнергии, повышение срока службы электрооборудования, обеспечение условий нормального технологического процесса потребителей электроэнергии. Важным условием повышения КЭ в электрических сетях Украины является заинтересованность в этом субъектов распределения и потребления электроэнергии. Путь к повышению заинтересованности к обеспечению необходимого КЭ проходит через введение материальной ответственности поставщиков и потребителей за превышение допустимых отклонений ПКЭ, в частности и по колебаниям напряжения (КН).

На сегодняшний день можно говорить о том, что разработаны методы и методики определения долевого участия субъектов распределения электроэнергии в ответственности за нарушение КЭ в трехфазных си-

ловых сетях по следующим ПКЭ и их характеристикам: коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности и по нулевой последовательности (K_{2U} , K_{0U}), коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения и коэффициент n -ой гармонической составляющей напряжения (K_U , $K_{U(n)}$), а также установившееся отклонение напряжения (δU_y). Разработана также комплексная методика, объединяющая три названные методики [1-4].

Не рассмотрены показатели, характеризующие КН: размах изменения напряжения (δU_I) и доза фликера (P_f). Эти показатели, как и предыдущие, представляют продолжительные изменения характеристик напряжения, что предполагает потенциальную возможность для изучения закономерностей их возникновения и детерминированного распределения ответственности за эти нарушения между субъектами. Выполнение разработок в данном направлении сделает определение ответственности за нарушение КЭ более полным и принципиальным, что в дальнейшем позволит разработать прибор учета, который определяет ответственность согласно действующему законодательству, и имеет гибкий алгоритм для дальнейшего усовершенствования. Такой прибор должен фиксировать отклонения по всем вышеприведенным показателям, и делать обобщенный вывод об ответственности сторон.

Целью работы является анализ научно-технической информации для определения целесообразности исследований по детерминированным расчетам долевого участия поставщиков и потребителей в нарушении КЭ по показателям колебаний напряжения.

Результаты исследований. При работе электроприемников с резкопеременной ударной нагрузкой в электрической сети возникают резкие толчки потребляемой мощности. Это вызывает изменения напряжения сети, размахи которых могут достигнуть больших значений, например, включением асинхронного двигателя с большой кратностью пускового тока. Такие явления вызываются также технологическими уста-

© Г.А. Сендерович, А.В. Дяченко

новками с быстропеременным режимом работы, который сопровождается набросами активной и реактивной мощностей, такими как привод реверсивных прокатных станов, дуговые сталеплавильные печи, сварочные аппараты и т.п.

Представим питание потребителя в виде схемы замещения (рис. 1), в которой E_{syst} – эквивалентная ЭДС системы; U – напряжение на шинах приемной подстанции; Z_{syst} – эквивалентное сопротивление связи с системой; Z_{load} – эквивалентное сопротивление нагрузки предприятия.

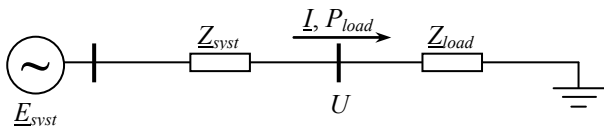


Рис. 1. Эквивалентная схема питания потребителя

Изменение напряжения U на шинах приемной подстанции, вызванное внешними по отношению к электрической сети потребителя воздействием, можно рассматривать как следствие изменения ЭДС системы E_{syst} . При допущении о неизменности сопротивления нагрузки ($Z_{load} = const$) снижение E_{syst} приводит к уменьшению тока I по линии и мощности нагрузки потребителя P_{load} , повышение E_{syst} – к увеличению I и P_{load} . На самом деле, при изменении напряжения U сопротивление нагрузки Z_{load} может несколько меняться, но в общем случае это изменение будет соответствовать положительному регулируемому эффекту активной нагрузки по напряжению [5].

Если источник КН расположен в электрической сети потребителя, то изменения напряжения U на шинах приемной подстанции происходит по причине меняющейся нагрузки при постоянной ЭДС системы ($Z_{load} = const$). Величина напряжения U будет определяться потерей напряжения на сопротивлении связи с системой Z_{syst} . Если пренебречь поперечной составляющей падения напряжения, что характерно для распределительных сетей, то можно записать:

$$U = E_{syst} - \frac{P_{load} \cdot r_{syst} + Q_{load} \cdot x_{syst}}{U},$$

где P_{load} , Q_{load} – мощности активной и реактивной нагрузки потребителя.

Как было упомянуто выше, КН характеризуются двумя показателями [5]:

- размахом изменения напряжения (δU_i), %;
- дозой фликера (P_{st}, P_{Lt}).

Размах изменения напряжения δU_i – это величина, равная разности значений U_i и U_{i+1} следующих друг за другом экстремумов (или экстремума и горизонтального участка) огибающей среднеквадратичных значений напряжения основной частоты, определенных на каждом полупериоде в процентах от номинального напряжения:

Размах изменения напряжения вычисляют по формуле, %:

$$\delta U_i = \frac{|U_i - U_{i+1}|}{U_{nom}} \cdot 100,$$

где U_i , U_{i+1} – значения следующих один за другим экстремумов в соответствии с рис. 2.

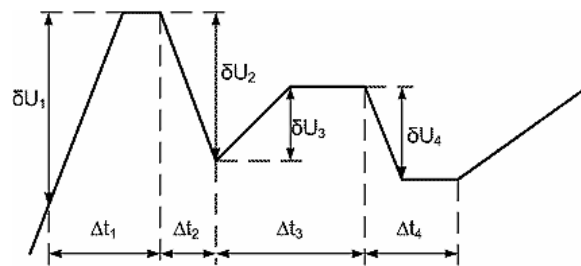


Рис. 2. Колебания напряжения

Возникая в какой-либо точке КН распространяются по системе, причем в направлении к шинам низкого напряжения практически без затухания, а к шинам высокого напряжения – с затуханием по амплитуде. Этот эффект проявляется в зависимости от мощности короткого замыкания ($S_{sc.syst}$) системы. При распространении КН в любом направлении их частотный спектр сохраняется, а коэффициент затухания или усиления ($K_{\delta U_i}$) [6] определяется соотношением:

$$K_{\delta U_i} = 1 + (S_{sc.syst} / S_{nom.t}) \cdot U_{sc},$$

где $S_{sc.syst}$ – мощность короткого замыкания системы; $S_{nom.t}$ – номинальная мощность трансформатора; U_{sc} – напряжение короткого замыкания трансформатора.

Частота повторения изменений напряжения ($f_{\delta U_i}$), (1/с, 1/мин) определяется по выражению:

$$f_{\delta U_i} = m / T,$$

где m – число изменений напряжения за время, T ; T – интервал времени измерения, принимаемый равным 10 мин.

Если два изменения напряжения происходят с интервалом менее 30 мс, то их рассматривают как одно.

Интервал времени между изменениями напряжения равен:

$$\Delta t_{i,i+1} = t_{i,i+1} - t_i.$$

Оценка допустимости размахов изменения напряжения осуществляется с помощью кривой зависимости допустимых размахов колебаний от частоты повторений изменений напряжения или интервала времени между последующими изменениями напряжения (рис. 3).

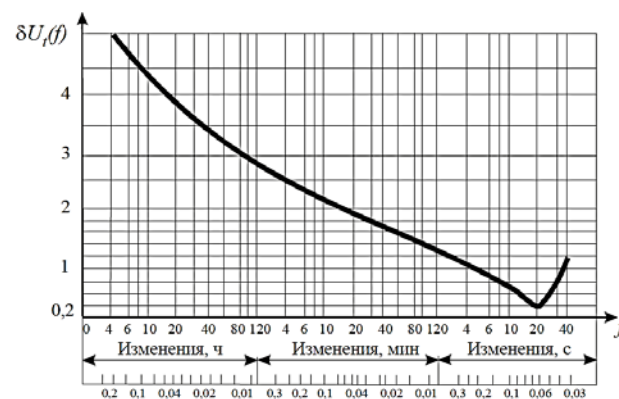


Рис. 3. Кривая допустимых значений $\delta U_i(f)$

КЭ в точке общего присоединения при периодических КН, имеющих форму меандра (прямоугольную, рис. 4), считают соответствующим требованиям стандарта, если измеренное значение размаха измене-

ний напряжения не превышает значений, определяемых по кривой рис. 3, для соответствующей частоты повторения изменений напряжения ($F_{\delta U_t}$) или интервала между изменениями напряжения ($\Delta t_{i,i+1}$).

Длительность изменения напряжения – интервал времени от начала одиночного изменения напряжения до его конечного значения [5].

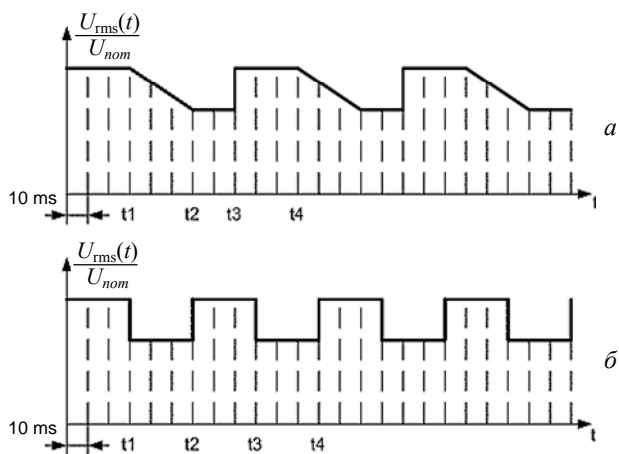


Рис. 4. Колебания напряжения произвольной формы (а) и имеющие форму меандра (б)

С другой стороны опираясь на [7] использованный там метод «парциальных реакций» [8], то объективная и однозначная оценка КН возможна только по дозе фликера.

КН электропитания (как правило, продолжительностью менее 1 мин), в том числе одиночные быстрые изменения напряжения, обуславливают возникновение фликера.

Фликер – субъективное восприятие человеком колебаний светового потока искусственных источников освещения, вызванных колебаниями напряжения в электрической сети, питающей эти источники [5].

Интенсивность фликера напряжения характеризует мощность КН с учетом характерных особенностей зрительного и мозгового восприятия человеком колебаний светового потока ламп накаливания, полностью подобных КН. Лампы накаливания являются наиболее массовыми нагрузками, чувствительными к КН в большей мере, чем телевизионные приемники, компьютеры, электронные и микроэлектронные устройства управления. Интенсивность фликера выражается в безразмерных единицах; ординаты стандартной кривой допустимых значений КН $\delta U_t(f)$ (рис. 3) соответствуют значению интенсивности фликера, определенному в течение 10 мин. с вероятностью 99 % $P_{St} = 1$.

Доза фликера – это мера восприимчивости человека к воздействию колебаний светового потока, вызванных КН в питающей сети, за установленный промежуток времени, которая измеряется стандартным фликерметром.

Время восприятия фликера – минимальное время для субъективного восприятия человеком фликера, вызванного колебаниями напряжения определенной формы.

Стандартом [5] устанавливается кратковременная P_{St} и длительная доза фликера P_{Lt} (кратковремен-

ную определяют на интервале времени наблюдения, равном 10 мин, длительную на интервале – 2 ч). Исходными данными для расчета являются уровни фликера, измеряемые с помощью фликерметра – прибора, в котором моделируется кривая чувствительности (амплитудно-частотная характеристика) органа зрения человека [9].

Процесс зрительного восприятия при КН моделируется на основе теории прохождения сложного сигнала через нелинейную динамическую систему. На рис. 5 представлена АЧХ зрительного анализатора, принятая МЭК. Верхний предел частоты КН, влияющих на зрение, с учетом постоянной времени нитей ламп накаливания, составляет примерно 35 Гц при $\delta U_t \leq 10\%$ [10].

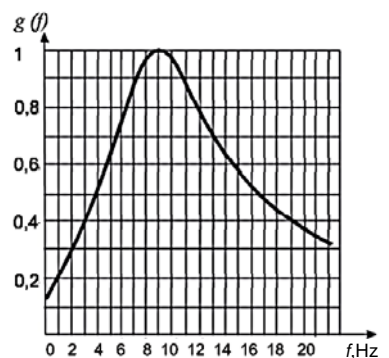


Рис. 5. Амплитудно-частотная характеристика зрительного анализатора

где: $g(f)$ – переменный коэффициент усиления инерционной адаптивной системы (глаз), зависящий от частоты колебаний f .

Кратковременную дозу фликера (P_{St}) можно определить расчетным путем делая измерения на интервале наблюдения $T_S = 10$ мин. При этом применяется следующая формула:

$$P_{St} = \sqrt{0,0314 P_{0,1} + 0,0525 P_{1s} + 0,0657 P_{3s} + 0,28 P_{10s} + 0,08 P_{50s}}$$

где: $P_{0,1}, P_{1s}, P_{3s}, P_{10s}, P_{50s}$ – уровни фликера, значения которых были превышены в течение 0,1; 1; 3; 10; и 50 % времени за интервал наблюдения T_S . Индекс «s» в формуле указывает на сглаженные значения P_1, P_3, P_{10}, P_{50} . Сглаженные значения рассчитывают по следующим формулам [5]:

$$P_{50s} = (P_{30} + P_{50} + P_{80})/3;$$

$$P_{10s} = (P_6 + P_8 + P_{10} + P_{13} + P_{17})/5;$$

$$P_{3s} = (P_{2,2} + P_3 + P_4)/3;$$

$$P_{1s} = (P_{0,7} + P_1 + P_{1,5})/3.$$

Вследствие того, что постоянная времени прибора составляет 0,3 с, значение $P_{0,1}$ не может быстро изменяться и сглаживание для $P_{0,1}$ не требуется.

Интервал наблюдения 10 мин, применяемый при оценке кратковременной дозы фликера, удобен для оценки КН, создаваемых техническими средствами с коротким рабочим циклом. В случаях, когда необходимо учитывать суммарный эффект нескольких нагрузок, создающих помехи случайным образом (например, сварочных аппаратов, электродвигателей), или принимать во внимание источники фликера

с длительным и меняющимся рабочим циклом (например, дуговые электрические печи), необходимо оценивать длительную дозу фликера. Для этого длительную дозу фликера (P_{Lt}) определяют на основе измерений кратковременных доз фликера (P_{Stk}) применительно к периоду наблюдения, связанному с длительным рабочим циклом нагрузки или периодом, в течение которого наблюдатель может воспринимать фликер, например, несколько часов, используя выражение:

$$P_{Lt} = \sqrt[3]{\frac{1}{12} \sum_{k=1}^{12} (P_{stk})^3}$$

где P_{Stk} ($i = 1, 2, \dots, N$) — последовательные значения кратковременной дозы фликера на k -ом интервале времени T_S в течение длительного периода наблюдения T_L [5].

КЭ по дозе фликера соответствует требованиям стандарта, если кратковременная и длительная дозы фликера, определенные путем измерения в течение 24 ч или расчета, не превышают предельно допустимых значений: для кратковременной дозы фликера – 1,38 и для длительной – 1,0 (при КН с формой, отличающейся от меандра) [11].

Колебания напряжения в электрической сети приводят к следующим последствиям:

- колебаниям светового потока осветительных приборов (фликер-эффект);
- ухудшению качества работы телевизионных приемников;
- нарушению в работе рентгеновского оборудования;
- ложной работе регулирующих устройств и ЭВМ;
- нарушениям в работе преобразователей;
- колебаниям момента на валу вращающихся машин, вызывающим дополнительные потери электроэнергии и увеличенный износ оборудования, а также нарушения технологических процессов, требующих стабильной скорости вращения.

Степень влияния на работу оборудования определяется амплитудой колебаний и их частотой.

Колебания нагрузки большой мощности, например, прокатных станков, вызывают колебания момента, активной и реактивной мощности генераторов местных электростанций.

Колебания и провалы напряжения с глубиной более 10 % могут привести к погасанию газоразрядных ламп, повторное зажигание которых в зависимости от типа лампы может происходить только через значительный промежуток времени. При глубоких колебаниях и провалах напряжения (более 15 %) могут отпасть контакты магнитных пускателей, вызвав сбой в производстве.

Резкие КН отрицательно сказываются на динамике ведения поездов. Скачки тока и тягового усилия, вызываемые КН, снижают надежность работы контакторов и опасны с точки зрения возникновения буксования. Для электроподвижного состава опасны колебания порядка 4-5 %.

Увеличение потерь электроэнергии во внутризаводских сетях, вызванное КН с амплитудой в 3 %, не превышает 2 % от начального значения потерь.

На металлургических заводах КН более 3 % приводят к рассогласованию скоростей работы приводов клетей станов непрерывной прокатки металла, что снижает качество (стабильность толщины) прокатаваемой ленты.

При производстве хлора и каустической соды КН вызывают резкое увеличение износа анодов и снижение производительности.

Провалы напряжения при производстве химического волокна вызывают остановку оборудования, на повторный запуск которого затрачивается от 15 мин в случае отказа 10 % оборудования до 24 ч при отказе 100 % оборудования. Брак продукции составляет от 2,2 до 800 % от тоннажа одного технологического цикла. Время же полного восстановления технологического процесса достигает 3 суток.

Заметное влияние оказывают колебания и провалы напряжения на асинхронные двигатели малой мощности. Это представляет опасность для текстильного, бумагоделательного и других производств, предъявляющих высокие требования к стабильности скорости вращения электроприводов. В частности, КН на заводах химического волокна приводят к нестабильности вращения намоточных устройств. В результате капроновые нити либо рвутся, либо получают с неравномерной толщиной.

ГОСТ 32144-2013 определяет воздействие КН на осветительные установки, влияющие на зрение человека. Мигание ламп освещения (фликер-эффект) вызывает неприятный психологический эффект, утомление зрения и организма в целом. Степень раздражения органов зрения зависит от величины и частоты мигания. Наиболее сильное воздействие на глаз человека оказывает мигание света с частотой 3... 10 Гц, поэтому допустимые колебания напряжения в этом диапазоне минимальны: менее 0,5 %. Причем степень воздействия зависит от типа источника света. Например, при одинаковых КН лампы накаливания оказывают значительно большее воздействие, чем газоразрядные лампы [5].

КН с размахом 10...15 % могут привести к выходу из строя конденсаторов, а также вентильных выпрямительных агрегатов.

На металлургических заводах к числу приемников, чувствительных к КН, относятся станы непрерывной прокатки.

При КН возникают качания турбогенераторов. Для самих турбогенераторов такие качания не опасны, однако, передаваясь на лопатки турбины, они могут привести в действие регуляторы скорости.

Заметное влияние оказывают КН на асинхронные двигатели небольшой мощности. Колебания недопустимы для текстильного, бумагоделательного и других производств, предъявляющих особенно высокие требования к точности поддержания частоты вращения приводов, в качестве которых используют асинхронные двигатели.

Подробно исследовано влияние колебаний напряжения на электролизные установки. КН с размахом 5 % вызывают резкое увеличение износа анодов и сокращение срока службы.

КН оказывают существенное влияние на контактную сварку. Это воздействие сказывается как на

качестве самого сварочного процесса, так и ненадежности работы управления сваркой. На качество напряжения в сетях контактной сварки накладываются жесткие ограничения по размаху изменений напряжения: 5 % для сварки обычных сталей и 3 % для сварки титановых и других жаропрочных сталей и сплавов. Продолжительность допустимых КН для аппаратуры управления машинами контактной сварки ограничивается величиной не более 0,2 с во избежание ложной работы этих устройств.

КН отрицательно влияют на работу радиоприборов, нарушая их нормальную работу и снижая срок службы. Помехи в телевизионных изображениях проявляются при частотах 0,5-3 Гц и заметны, главным образом, при неподвижных изображениях.

К электроприемникам, чувствительным к КН, относятся также вычислительные машины, рентгеновские установки и т.д. При работе ЭВМ в режиме управления иногда оказывается достаточным одногодвух колебаний с размахом 1... 1,5%, чтобы возник сбой в какой-либо ячейке машины и, как следствие, возникли ошибки в командах управления или при производстве расчетов.

Мероприятия по снижению КН. Для снижения КН применяется разделение нагрузок и статические компенсаторы реактивной мощности (СТК).

Разделение нагрузок. Для разделения резкопеременной и спокойной нагрузок могут использоваться различные схемы и устройства. Наиболее простой является схема, основанная на использовании двоиного реактора: спокойные и резкопеременные нагрузки подключаются к различным секциям (обмоткам) реактора (рис. 6). Благодаря тому, что коэффициент взаимоиנדукции между секциями $M \neq 0$, падения напряжения в каждой из них при токах нагрузки I_1 и I_2 представляются выражениями:

$$\Delta U_1 = jx_L \cdot (I_1 - k_M \cdot I_2);$$

$$\Delta U_2 = jx_L \cdot (I_2 - k_M \cdot I_1),$$

где: x_L - индуктивное сопротивление секции реактора; $k_M = M/L$ - коэффициент взаимоиנדуктивной связи $k_M = 0,5-0,6$.

В идеальном случае, когда $I_1 = I_2$, оказывается:

$$\Delta U = I_{1(2)} \cdot x_L (1 - k_M).$$

Падение напряжения за счет взаимоиנדуктивной связи уменьшается на 50-60 %. При $I_1 \neq I_2$ снижение величины ΔU будет, очевидно, меньшим. Размахи изменения напряжения зависят от сопротивления питающей энергетической системы до шин, к которым подключен реактор.

Применение этой схемы для подключения электродуговой сталеплавильной печи (ДСП - 5МТ) и позволяет в ряде случаев обеспечить на шинах «спокойной» нагрузки КН, значения которых не превосходят предельно-допустимой величины.

Применение двоиного реактора более эффективно в случае, когда коэффициент связи между обмотками (секциями) равен единице; последнее возможно при использовании реакторов со стальным магнитопроводом. В этом случае можно подобрать параметры реактора таким образом, чтобы исключить влияние падения напряжения, обусловленного

нагрузкой смежной секции в сопротивлении электрической сети.

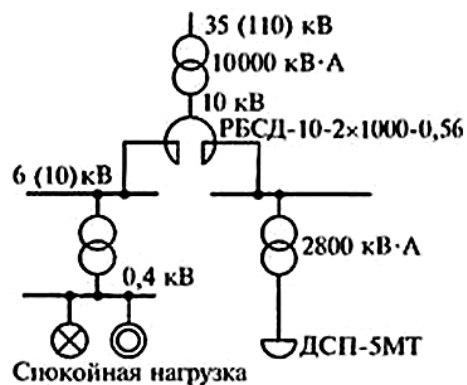


Рис. 6. Схема с применением двоиного реактора для стабилизации напряжения при ударных нагрузках

Для резкопеременных и спокойных нагрузок применяются также трансформаторы с расщепленными обмотками. В случае подключения к одной ветви обмотки НН трансформатора спокойной нагрузки, а к другой - резкопеременной связь между значениями размахов изменения напряжения на соответствующих шинах ΔU_1 и ΔU_2 можно представить в виде:

$$\Delta U_1 = \Delta U_2 \cdot \frac{4 - k_s}{4 + k_s},$$

где k_s - коэффициент расщепления, равный 3,34 - 3,64. В среднем принимается $k_s = 3,5$.

При выделении резкопеременной нагрузки на отдельный трансформатор общее сопротивление снижается с величины:

$$X = \frac{X_{T1} \cdot X_{T2}}{X_{T1} + X_{T2}} + X_C,$$

до величины X_C . Тогда размах КН на шинах спокойной нагрузки снижается в X_C/X раз, а на шинах резкопеременной нагрузки увеличивается в $X/(X_C + X_{T2})$ [11].

При использовании трансформаторов с расщепленными обмотками для сетей 6-10 кВ с электродуговой сталеплавильной печью небольшой мощности КН на шинах «спокойной» нагрузки также могут быть в допустимых пределах.

Снижение КН с помощью СТК. Компенсация КН в данном случае осуществляется за счет компенсации набросов реактивной мощности (РМ). Для обеспечения компенсирующего эффекта время запаздывания при генерации РМ компенсатором должно быть минимальным, чтобы не вызвать увеличение уровня КН. Так, например, при компенсации наброса РМ прямоугольной формы (рис. 7,а) с некоторым временем запаздывания Δt вместо одного появляется два наброса РМ (рис. 7,б) и уровень КН увеличивается.

Не менее важным является вопрос выбора мощности СТК. Максимальная компенсирующая способность СТК связана с максимальным размахом КН, который может быть скомпенсирован, следующим выражением:

$$Q_{k,max} = Q_{max} \cdot \left(1 - \frac{1}{P_{st}}\right),$$

где P_{st} - интенсивность фликера.

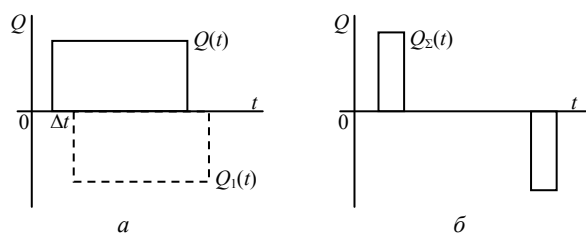


Рис. 7. Графики изменения РМ нагрузки: а) суммарный график РМ нагрузки и СТК (сплошная линия), и СТК нагрузки (пунктирная линия); б) суммарный график РМ нагрузки и СТК

Расчет по этой формуле дает завышенные результаты (погрешность 5-10 % в зависимости от степени разброса размахов КН) [12].

Кроме перечисленных мероприятий выше необходимо использовать оптимальные решения схемы электроснабжения с минимальными дополнительными затратами, к числу которых относятся:

- приближение источников высокого напряжения к электроприемников с резкопеременной нагрузкой;
- уменьшать индуктивное сопротивление линий внешнего электроснабжения (например, отказом от шинпроводов, уменьшением индуктивности реакторов);
- предусматривать питания крупных электроприемников с резкопеременной нагрузкой от отдельных линий, идущих непосредственно от источников питания (ГПП, ТЭЦ и др.);
- соблюдение оптимального уровня мощности короткого замыкания в сетях, питающих электроприемники с резкопеременной нагрузкой, в пределах 750-10000 МВА;
- для ограничения КН при самозапуске электродвигателей предусматривается снижение, по возможности, времени действия АВР и АПВ и применения быстродействующих сетевых защит, а также применение ступенчатого и частичного АВР, при котором в работе остаются только самые важные двигатели, а остальные отключаются;
- использовать параллельную работу питающих линий и трансформаторов на ГПП (при замкнутом секционном выключателе);
- для ограничения КН у потребителей потеря напряжения в линейном реакторе в нормальном режиме должна быть не более 4-5 % номинального напряжения;
- снижение сопротивления питающего участка сети. При увеличении сечения проводников линии снижается (R), а применение устройств продольной компенсации снижает суммарное (X). Недостатки, увеличиваются капитальные затраты, а применение продольной компенсации опасно повышением токов короткого замыкания при ($X \rightarrow 0$).

Выводы.

1. Проблема колебаний напряжения актуальна, так как:

- колебания напряжения оказывают негативное воздействие на зрение человека и функционирование электрооборудования;
- в сети имеется большое количество возможных источников колебания напряжения;

• существуют способы выявления и методы снижения колебания напряжения.

2. Требуется обеспечить заинтересованность субъектов процесса распределения и потребления электроэнергии в уменьшении уровня КН до допустимых значений. В качестве стимула повышения заинтересованности авторы рассматривают введение ответственности субъектов за нарушение требований к КЭ, в частности по КН.

3. Анализ литературы не выявил разработок по определению ответственности субъектов за нарушение требований к КЭ в части колебаний напряжения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гриб О.Г., Сендерович Г.А., Сендерович П.Г. Алгоритм реализации методики распределения ответственности за искажение симметрии // Вісник НТУ «ХП». – 2006. – №10. – С. 7-13.
2. Гриб О.Г., Сендерович Г.А., Сендерович П.Г. Алгоритм реализации методики распределения ответственности за искажение синусоидальности // Коммунальное хозяйство городов. – 2006. – №67. – С. 237-245.
3. Сендерович П.Г. Методика и алгоритм определения ответственности за превышение допустимого отклонения напряжения // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Серія «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – 2006. – №43. – Т.1. – С. 59-65.
4. Сендерович П.Г. Определение ответственности за нарушение качества в приборах учета электроэнергии // Светотехника та електроенергетика. – 2006. – №7-8 – С. 48-53.
5. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: ГОСТ 13109-97. – [Введ. в Украине 01.01.2000]. – Минск: ИПК. Изд-во стандартов, 1998. – 30 с. – (Межгосударственный стандарт стран СНГ).
6. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий: учебник для студентов высших учебных заведений. – 2-е изд. М.: Интермент Инжиниринг, 2006. – 672 с.
7. Куренный Э.Г., Дмитриева Е.Н., Погребняк Н.Н., Черникова Л.В., Цыганкова Н.В. Аналитический метод расчета показателей случайных колебаний напряжения в электрических сетях // Научные труды Донецкого национального технического университета. Серия «Электротехника и энергетика». – 2000. – №21. – С. 34-37.
8. Куренный Э.Г., Лютый А.П., Черникова Л.В. Метод парциальных реакций для анализа процессов на выходе линейных фильтров в моделях электромагнитной совместимости // Электричество. – 2006. – №10. – С. 11-18.
9. ГОСТ Р 51317.4.15-99 (МЭК 61000-4-15-97). Совместимость технических средств электромагнитная. Фликерметр. Технические требования и методы испытаний. – М., 1999.
10. Жежеленко И.В., Шидловский А.К., Пивняк Г.Г., Саенко Ю.Л., Нойбергер Н.А. Электромагнитная совместимость потребителей: Монография. – М.: Машиностроение, 2012. – 351 с.
11. ГОСТ Р 51317.4.15-2012 (МЭК 61000-4-15-2010). Совместимость технических средств электромагнитная. Фликерметр. Функциональные и технические требования. – М.: Стандартинформ, 2012.
12. Жежеленко И.В., Саенко Ю.Л. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях: Учеб. пособие для вузов. 3-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 272 с.

REFERENCES

1. Gryb O.G., Senderovich G.A., Senderovich P.G. The algorithm implementing the methodology of distribution of responsibility for the distortion of symmetry. *Visnyk NTU «KhPI» – Bulletin of NTU «KhPI»*, 2006, no.10, pp. 7-13. (Rus).
2. Gryb O.G., Senderovich G.A., Senderovich P.G. The algorithm implementation methodology for the allocation of responsibility harmonic distortion. *Kommunal'noe khoziaistvo gorodov – Communal economy of cities*, 2006, no.67, pp. 237-245. (Rus).
3. Senderovich P.G. The methodology and algorithm for determining the liability for exceeding the allowable voltage fluctuation. *Visnyk Harkivskogo natsionalnogo tehnicnogo universitetu silskogo gospodarstva imeni Petra Vasilenka - Bulletin of Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture*, 2006, no.43, vol.1, pp. 59-65. (Rus).
4. Senderovich P.G. Definition of the responsibility for quality infringement in devices of the electric power account. *Svetotekhnika ta elektroenergetika – Lighting Engineering and Power Engineering*, 2006, no.7-8, pp.48-53. (Rus).
5. GOST 13109-97. *Elektricheskaya energiya. Sovmestimost' tehniceskikh sredstv elektromagnitnaya. Normy kachestva elektricheskoi energii v sistemah elektrosnabzheniya obshego naznacheniya* [State Standard 13109-97. Electrical energy. Technical equipment electromagnetic compatibility. Quality standards for electrical energy in general use power systems]. Minsk, IPK Publishing house of standards, 1998. 30 p. (Rus).
6. Kudrin B.I. *Elektrosnabzhenie promyshlennykh predpriatii: uchebnik dlia studentov vysshikh uchebnykh zavedenii* [Power supply of the industrial enterprises: Textbook for students of higher educational institutions]. Moscow, Interment Inzhiniring Publ., 2006. 672 p. (Rus).
7. Kurennyi E.G., Dmitrieva, E.N., Pogrebnyak N.N. Chernikova L.V., Cigankova N.V. Analytical method of calculation of random voltage oscillations indices in power electric networks. *Nauchnye trudy Donetskogo natsional'nogo tehniceskogo universiteta. Seriya «Elektrotehnika i energetika».* – *Scientific papers of Donetsk National Technical University. Series «Electrical Engineering and Power Engineering»*, 2000, no.21, pp. 34-37. (Rus).
8. Kurennyi E.G., Lyutyi A.P., Chernikova L.V. The partial reaction method for analyzing the processes at the output of linear filters in models for electromagnetic compatibility. *Elektrichestvo – Electricity*, 2006, no.10, pp. 11-18. (Rus).
9. GOST R 51317.4.15-99 (MEK 61000-4-15-97). *Sovmestimost' tehniceskikh sredstv ehlektromagnitnaya. Flikermetr. Tehniccheskie trebovaniya i metody ispytaniy.* [State Standard GOST R 51317.4.15-99 (IEC 61000-4-15-97). Compatibility of technical equipment. Flicker meter. Technical requirements and test methods]. Moscow, 1999. (Rus).
10. Zhezhelenko I.V., Shidlovskij A.K., Pivnyak G.G., Saenko Yu.L., Nojberger N.A. *Ehlektromagnitnaya sovmestimost' potrebitelej* [Electromagnetic compatibility of consumers]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2012. 351 p. (Rus).
11. GOST R 51317.4.15-2012 (MEK 61000-4-15-2010). *Sovmestimost' tehniceskikh sredstv ehlektromagnitnaya. Flikermetr. Funkcional'nye i tehniccheskie trebovaniya.* [State Standard GOST R 51317.4.15-2012 (IEC 61000-4-15-2010). Electromagnetic compatibility of technical equipment. Flicker meter. Functional and design specifications]. Moscow, Standartinform Publ., 2012. (Rus).
12. Zhezhelenko I.V., Saenko Yu.L. *Pokazатели kachestva elektroenergii i ikh kontrol' na promyshlennykh predpriatiiakh: Ucheb. posobie dlia vuzov. 3-e izd* [Indicators of quality of the electric power and their control at the industrial enterprises. Educational manual for students of higher educational institutions, 3rd ed.]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 2000. 272 p. (Rus).

Сендерович Геннадий Аркадиевич¹, д.т.н., проф.,
Дяченко Александр Васильевич¹, аспирант,
¹Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
61002, Харьков, ул. Фрунзе, 21,
тел/phone +38 095 2098150,
e-mail: senderovichg@mail.ru, alex.7491@mail.ru

G.A. Senderovich¹, A.V. Diachenko¹
¹National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,
21, Frunze Str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

The relevance of determining responsibility for violation of power quality in terms of voltage fluctuations.

Purpose. The purpose of work is the analysis of scientific and technical information for determination of expediency of researches on the determined calculations of individual share of suppliers and consumers in violation of quality of electric energy on indicators of fluctuations of voltage. **Methodology.** Today the indicators characterizing fluctuations of voltage aren't considered: scope of change of voltage (δU) and dose of a flicker (P). These indicators represent long changes of characteristics of tension that assumes potential opportunity for studying of regularities of their emergence and the determined distribution of responsibility for these violations between subjects. **Results.** As showed by results of research: fluctuations of voltage make negative impact on sight of the person and functioning of the electric equipment; in a network there is a large number of possible sources of fluctuation of tension; there are ways of identification of fluctuation of voltage; there are methods of decrease in fluctuation of voltage. The analysis of literature didn't reveal development by definition of responsibility of subjects for violation of requirements to quality of electric energy regarding fluctuations of voltage. **Originality.** Performance of development in this direction will make definition of responsibility for violation of quality of electric energy fuller and basic. **Practical value.** This research will allow to develop further the metering device which defines responsibility according to the current legislation, and has flexible algorithm for further improvement. to the legislation, also has flexible algorithm for further improvement. References 12, figures 7.

Key words: quality of the electric power, indicators of quality of the electric power, electromagnetic compatibility, fluctuations of tension, flicker, scope of change of tension, definition of responsibility.