

## Лекция № 12. Колебания напряжения

Колебания напряжения – быстрые изменения действующего значения напряжения, происходящие со скоростью 1-2% в секунду и более. Колебания напряжения амплитудой (размахом изменения напряжения), частотой и интервалами между следующими друг за другом изменениями напряжения [4].

Причина возникновения колебания напряжения – электроприемники с быстропеременными режимами работы

Колебания напряжения действуют на: увеличение потерь в сети; утомление зрения, снижение производительности, травматизм; снижение срока службы электронной аппаратуры; выход из строя конденсаторных батарей; неустойчивая работа систем возбуждения синхронных генераторов и двигателей; вибрации аппаратуры; возможны отпадания контакторов.

При работе ЭП с резкопеременной ударной нагрузкой в электросети возникают резкие толчки потребляемой мощности. Это вызывает изменения напряжения сети, размахи которых могут достигнуть больших значений. Эти явления имеют место при работе прокатных электродвигателей, дуговых электропечей, сварочных машин и т.д. Указанные обстоятельства крайне неблагоприятно отражаются на работе всех ЭП, подключенных к данной сети, в том числе и ЭП, вызывающих эти изменения.

Так, например, если время сварки у контактных машин в пределах от 0,02 до 0,4 с, то колебания напряжения даже малой длительности сказываются на качестве сварки.

При колебаниях напряжения, в результате которых напряжение снижается более чем на 15% ниже номинального, возможно отключение магнитных пускателей, работающих электродвигателей.

На предприятиях с существенной синхронной нагрузкой колебания напряжения могут приводить к выпадению привода из синхронизма и расстройству технологического процесса.

Колебания напряжения отрицательно сказывается на работе осветительных приемников. Они приводят к миганиям ламп, которые при превышении порога раздражительности могут отражаться на длительном восприятии людей.

Колебания напряжения, имеющие место при работе крупных синхронных двигателей с резкопеременной нагрузкой, определяются с учетом переходных процессов, т.к. при этом мощность, потребляемая ЭД, значительно отличается от мощности установившегося режима.

В соответствующих точках системы колебание напряжения, вызываемое изменениями (набросами) активной нагрузки на DP и реактивной нагрузки на DQ, может быть ориентировочно определено по формуле :

$$\Delta U = \frac{\Delta P R \pm \Delta Q X}{S_k Z} = \frac{\Delta P \frac{R}{X} \pm \Delta Q}{S_k \frac{Z}{X}}$$

где  $\Delta U$  – потеря напряжения, о.е.

$\Delta P$ ,  $\Delta Q$  – изменения (набросы) активной и реактивной трехфазной мощности ЭП, (МВт и Мвар);

$R$ ,  $X$  – активное и реактивное сопротивление на фазу (см. таблицу 4.1), Ом;

$Z$  – полное сопротивление, Ом;

$S_k$  – мощность к.з. в точке, в которой проверяется колебания напряжения, МВА.

Таблица 1 – Значения сопротивлений элементов сети

Элемент сети	Соотношения между активными и индуктивными сопротивлениями элементов сети r/x
Воздушные линии 110,220 кВ	0,125,0,5
Кабельные линии 6,10 кВ	1,25,5
Токопроводы 6,10 кВ	0,04,0,11
Трансформаторы 2,5,6,3	0,06,0,143
Трансформаторы 63,500 МВА	0,02,0,05
Реакторы РБА 6,10 кВ до 1000 А	0,02,0,067
Паротурбинные генераторы 12,60 МВт	0,012,0,02
Паротурбинные генераторы 100,500 МВт	0,0075,0,01
Подстанции в распределительных сетях	0,067 и выше

Активное сопротивление всех элементов сети, кроме кабелей, значительно меньше индуктивного. Но в заводских сетях крупных предприятий при широком внедрении токопроводов 6,10 кВ и глубоких вводов 110,220 кВ. Они становятся малопротяженными, и их доля резко снижается. Поэтому они не оказывают большого влияния на результирующее значение отношения  $r/x$  в целом по предприятию. Это позволит упрощенно рассчитать колебания напряжения при резкопеременных ударных нагрузках.

Исходя из вышеприведенных соотношений  $r/x$  при расчетах колебания напряжения, в среднем можно принять, что лежит она в пределах 0,1,0,03. При этом отношение  $z/x$  получается примерно равным 1. С учетом этих допущений:

$$\delta U = \frac{(0,1 \div 0,03)\Delta P \pm \Delta Q}{S_x}$$

Учитывая малое отношение  $r/x$  элементов сети, активным сопротивлением вообще можно пренебречь. Тогда колебания напряжения можно определить по еще более простой формуле:

$$\delta U = \pm \frac{\Delta Q}{S_x}$$

На основе изложенного, можно сделать вывод о том, что при заданных набросах  $\Delta P$  и  $\Delta Q$  значение колебаний определяется мощностью к.з. питающей сети, и чем последняя выше, тем меньше колебания.

Вторым существенным источником колебаний напряжения являются дуговые сталеплавильные печи (ДСП). При работе ДСП имеют место частые отключения, число которых достигают 10 и более в течение одной плавки. Наиболее тяжелые условия получаются в период расплавления металла и в начале окисления. При этом возникают эксплуатационные толчки тока. Значение тока при толчке зависит от вместимости печи, параметров печного трансформатора, полного сопротивления короткой сети.

При совместном питании ДСП и так называемой «спокойной» общецеховой нагрузки размах изменения напряжения  $\Delta U$  на шинах вторичного напряжения 6, 10 кВ понизительного трансформатора ГПП можно с достаточной для практических целей точностью определить по формуле:

$$\delta U = \frac{S_T}{S_x} \cdot 100\%$$

Таким образом, значения размахов изменения напряжения в основном определяется мощностью к.з. питающей сети.

Колебания напряжения вызываются резким изменением нагрузки на рассматриваемом участке электрической сети, например, включением асинхронного двигателя с большой кратностью пускового тока, технологическими установками с быстропеременным режимом работы, сопровождающимися толчками активной и реактивной мощности, такими, как привод реверсивных прокатных станков, дуговые сталеплавильные печи, сварочные аппараты и т.п.

Колебания напряжения характеризуются двумя показателями:

- размахом изменения напряжения  $\Delta U_t$ ;
- дозой фликера  $P_f$ .

Размах изменения напряжения  $\Delta U_t$  вычисляют по формуле, %:

$$\delta U_i = \frac{(U_i - U_{i+1})}{U_{ном}} \cdot 100\%,$$

где  $U_i, U_{i+1}$  – значения следующих один за другим экстремумов (или экстремума и горизонтального участка) огибающей среднеквадратичных значений напряжения, в соответствии с рисунком 4.1.

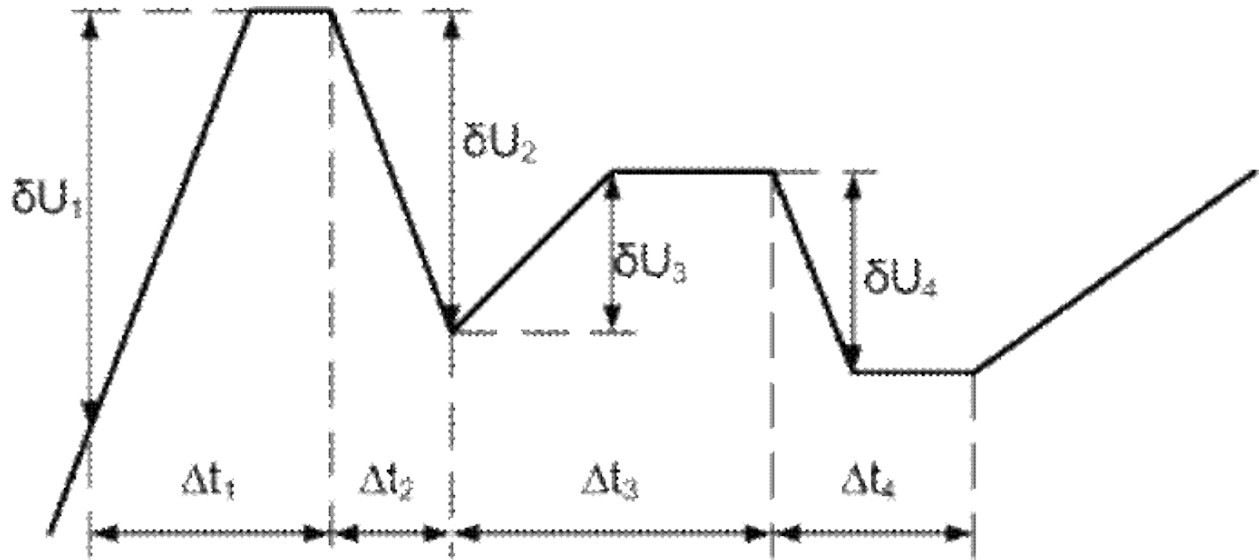


Рисунок 1 – Колебания напряжения

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

$$F_{\delta U} = \frac{m}{T},$$

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 (колебаний напряжения) осуществляется с помощью кривых зависимости допустимых размахов колебаний от частоты повторений изменений напряжения или интервала времени между последующими изменениями напряжения.

КЭ в точке общего присоединения при периодических колебаниях напряжения, имеющих форму меандра (прямоугольную) (см. рисунок 4.2),

считают соответствующим требованиям стандарта, если измеренное значение размаха изменений напряжения не превышает значений, определяемых по кривым рисунка 4.2 для соответствующей частоты повторения изменений напряжения  $F_{du}$ , или интервала между изменениями напряжения  $Dt_{i,i+1}$ .

Предельно допустимое значение суммы установившегося отклонения напряжения  $\delta U_y$  и размаха изменений напряжения  $\delta U_t$  в точках присоединения к электрическим сетям напряжением 0,38 кВ равно  $\pm 10\%$  от номинального напряжения.

Доза фликера - это мера восприимчивости человека к воздействию колебаний светового потока, вызванных колебаниями напряжения в питающей сети, за установленный промежуток времени.

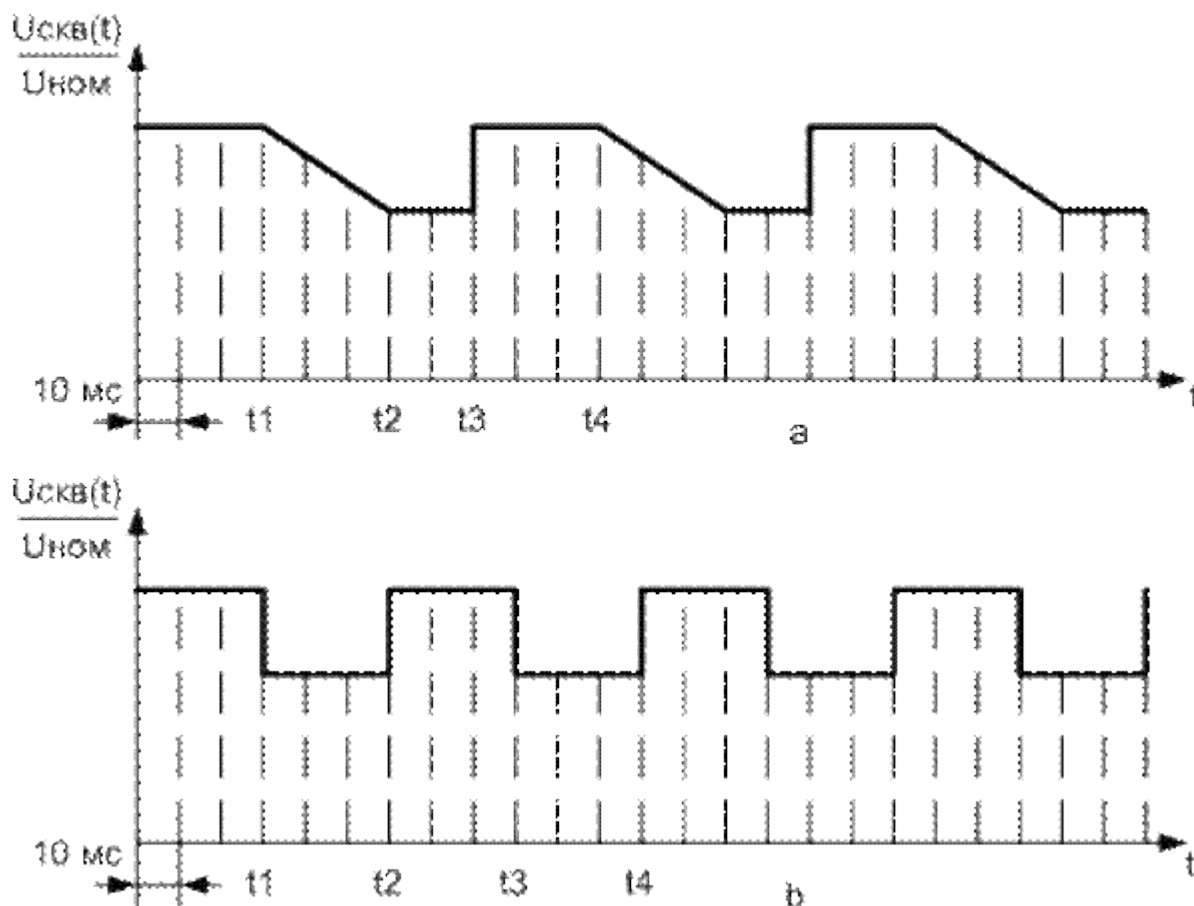


Рисунок 2 – Колебания напряжения произвольной формы (а) и имеющие форму меандра (б)

Стандартом устанавливаются кратковременная ( $P_{st}$ ) и длительная дозы фликера ( $P_{Lt}$ ) (кратковременную 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. В настоящее

время в Республике Беларусь началась разработка фликерметров для контроля колебаний напряжения.

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 колебаниях напряжения с формой, отличающейся от меандра).

Предельно допустимое значение для кратковременной дозы фликера в точках общего присоединения потребителей электроэнергии, располагающих лампами накаливания в помещениях, где требуется значительное зрительное напряжение, равно 1,0, а для длительной - 0,74, при колебаниях напряжения с формой, отличающейся от меандра.

Влияние колебаний напряжения на работу электрооборудования.

Отклонения напряжения, усугублённые резкопеременным характером, ещё более снижают эффективность работы и срок службы оборудования. Вызывают брак продукции. Способствуют отключению автоматических систем управления и повреждению оборудования. Так, например, колебания амплитуды и, в большей мере, фазы напряжения вызывают вибрации электродвигателя, приводимых механизмов и систем. В частности, это ведёт к снижению усталостной прочности трубопроводов и снижению срока их службы. А при размахах колебаний более 15 % могут отключаться магнитные пускатели и реле.

Не менее опасна, вызываемая колебаниями напряжения, пульсация светового потока ламп освещения. Её восприятие человеком – *фликер* – утомляет, снижает производительность труда и, в конечном счёте, влияет на здоровье людей. Мера восприятия человеком пульсаций светового потока – доза фликера. Наиболее раздражающее действие фликера проявляется при частоте колебаний 8,8 Гц и размахах изменения напряжения  $\delta U_t = 29\%$ . Причём, при одинаковых колебаниях напряжения отрицательное влияние ламп накаливания проявляется в значительно большей мере, чем газоразрядных ламп.

Мероприятия по снижению колебаний напряжения:

1) Применение оборудования с улучшенными характеристиками. Применение электродвигателей со сниженным пусковым током и улучшенным  $\cos \phi$  при пуске.

2) Подключение к мощной системе электроснабжения.

3) Разнесение питания спокойной и резкопеременной нагрузок на разные трансформаторы или секции сборных шин.

4) Снижение сопротивления питающего участка сети.

На практике не обоснованно, но активно применяют последние два мероприятия.