

*Памяти  
Ветрова Владимира Ильича  
посвящается*

# ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	6
1. КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ КАК ОСНОВНОЙ КРИТЕРИЙ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ .....	7
2. СИНХРОННЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ .....	18
2.1. Особенности турбогенераторов и гидрогенераторов .....	18
2.2. Факторы, определяющие активную мощность турбогенератора.....	21
2.3. Моменты на валу турбогенератора .....	23
2.4. Основные параметры синхронных генераторов .....	27
2.5. Характеристики синхронного генератора .....	33
2.6. Наиболее вероятные повреждения элементов конструкции статора и их устранение .....	41
2.7. Вероятные повреждения элементов конструкции ротора и их устранение .....	42
3. ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РАБОТА ГЕНЕРАТОРА С ЭНЕРГОСИСТЕМОЙ.....	45
3.1. Общие положения .....	45
3.2. Режим синхронного компенсатора.....	45
3.3. Режим генератора и двигателя.....	47
3.4. Регулирование активной мощности .....	48
3.5. Регулирование реактивной мощности .....	50
3.6. Условия нормальной эксплуатации ТГ .....	52
3.7. Построение диаграммы мощностей .....	54
3.8. Карта допустимых нагрузок.....	60
3.9. Двигательный режим .....	62
3.10. Несимметричная нагрузка .....	63
3.11. Несинусоидальная нагрузка.....	67
4. АСИНХРОННЫЙ РЕЖИМ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ .....	68
4.1. Общие положения .....	68
4.2. Работа турбогенератора в асинхронном режиме при замкнутой и разомкнутой обмотке возбуждения.....	70
4.3. Асинхронный ход с возбуждением .....	73
5. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ СГ .....	76
5.1. Назначение и требования к системам возбуждения .....	76
5.2. Классификация источников питания обмоток возбуждения синхронных машин .....	77
5.3. Схема независимого возбуждения с возбудителем постоянного или переменного тока .....	78
5.4. Схема возбуждения с индукторным генератором .....	81
5.5. Система независимого тиристорного возбуждения .....	83
5.6. Система тиристорного самовозбуждения.....	84
5.7. Бесщеточная система возбуждения.....	85
6. АВТОМАТИЧЕСКОЕ ГАШЕНИЕ ПОЛЯ (АГП) СГ .....	97
6.1. Общие положения .....	97

6.2. Процесс гашения магнитного поля синхронных машин .....	97
6.3. Оптимальные условия гашения поля .....	99
6.4. Разряд обмотки возбуждения на дугогасительную решетку .....	100
6.5. Влияние насыщения магнитопровода и демпферных контуров СГ на процесс гашения поля .....	103
7. АСИНХРОНИЗИРОВАННЫЕ СИНХРОННЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ .....	107
8. ТРАНСФОРМАТОРЫ .....	110
8.1. Электрические параметры трансформаторов.....	110
8.2. Схема замещения трансформатора.....	112
8.3. Конструктивные особенности трансформаторов.....	115
8.4. Тепловой режим трансформатора .....	128
8.5. Включение трансформатора на холостой ход .....	130
8.6. Нагрузочный режим и нагрузочная способность трансформаторов .....	132
8.7. Параллельная работа трансформаторов.....	134
8.8. Сушка трансформатора.....	137
8.9. Повреждения и неисправности при работе трансформаторов .....	138
9. СОБСТВЕННЫЕ НУЖДЫ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ .....	140
9.1. Общая характеристика механизмов собственных нужд .....	140
9.2. Механические характеристики механизмов собственных нужд.....	141
9.3. Общие положения электропривода механизмов собственных нужд .....	144
9.4. Работа асинхронного двигателя в качестве привода .....	150
9.5. Пусковые процессы.....	157
9.6. Способы и схемы управления электродвигателем привода .....	159
9.7. Тепловой режим двигателя электропривода .....	162
10. САМОЗАПУСК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ СОБСТВЕННЫХ НУЖД .....	164
10.1. Общие положения .....	164
10.2. Выбег машинных агрегатов .....	164
10.3. Разгон до номинальной скорости при восстановлении питания.....	168
10.4. Расчет допустимой суммарной мощности неотключаемых электродвигателей при самозапуске .....	169
11. ЛИКВИДАЦИЯ АВАРИЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ СТАНЦИЙ .....	173
11.1. Общие положения .....	173
11.2. Действия персонала при ненормальных режимах и авариях .....	173
11.3. Аварийные состояния энергосистемы и их ликвидация.....	176
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	180

## ВВЕДЕНИЕ

Предлагаемое пособие является результатом многолетнего опыта работы со студентами направления 13.03.02 (13.04.02) «Электроэнергетика и электротехника», которым автор на протяжении ряда лет читал лекции по дисциплинам «Электрические станции», «Основы эксплуатации электрооборудования электрических станций и подстанций» и «Эксплуатационные режимы работы электрооборудования электрических станций и подстанций».

Обслуживание современного электротехнического оборудования станций и подстанций большей частью сложного по конструкции может быть доверено только высококвалифицированному, хорошо обученному и в совершенстве владеющему знаниями и навыками персоналу. Роль персонала особенно возрастает сегодня в условиях, когда 30% электрооборудования станций и подстанций выработало свой основной ресурс, инвестиции в энергетику недостаточны и сохранение оборудования в эксплуатации, продление его срока службы становятся одной из основных задач эксплуатации. В связи с этим в учебном пособии уделено особое внимание эксплуатации высоковольтного силового оборудования электрических станций и подстанций — синхронных генераторов, силовых трансформаторов и электродвигателей собственных нужд.

В последние годы по объективным и субъективным причинам учебная и техническая литература в области электроэнергетики и электроэнергетического оборудования практически не издавалась. Изданная в прошлые годы техническая литература устарела как морально, так и физически. В последние десятилетия появилась достаточно широкая номенклатура электротехнических изделий, обладающих совершенно новыми свойствами и качествами, которые способны обеспечивать неведомые режимы работы. Соответственно появились новые нормативные документы, регламентирующие режимы работы оборудования с учетом новых свойств.

Федеральными государственными образовательными стандартами высшего образования определены области и объекты профессиональной деятельности выпускников, освоивших программы бакалавриата и магистратуры 13.03.02 (13.04.02) «Электроэнергетика и электротехника».

Все вышеперечисленное определило необходимость издания данного учебного пособия.

# 1. КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ КАК ОСНОВНОЙ КРИТЕРИЙ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ

В электротехнике состояние любой электрической системы, характеризующее совокупностью параметров (ток, напряжение, мощность, сопротивление, длительность и т. п.) в заданный момент времени, принято называть **режимом работы системы**. Как правило, режимы работы электрооборудования разнообразны и не только характеризуют его поведение и состояние в заданный момент, но и определяют надежность и долговечность его функционирования в целом.

**Режимом холостого хода** электрической системы и ее элементов принято называть режим, соответствующий нулевому значению ее полезной (рабочей) мощности независимо от значений напряжения и частоты.

**Номинальным режимом** системы называется режим, соответствующий номинальным значениям мощности, тока, напряжения и частоты.

**Режим перегрузки** характеризуется значениями мощности и тока выше номинальных, режим перенапряжения — значением напряжения выше номинального, режим недогрузки — значениями тока и мощности ниже номинальных. Режим короткого замыкания характеризуется наличием в системе не менее двух точек, принадлежащих различным фазам, напряжение и сопротивление между которыми равны нулю (значение тока при этом, как правило, намного больше номинального).

Режим, который характеризуется постоянными значениями параметров или медленным их изменением в заданных пределах, называется **установившимся (статическим)**.

Режим, который характеризуется резким (мгновенным) изменением любого параметра, называется **переходным (динамическим)**. Переходные режимы обычно возникают между двумя установившимися режимами.

**Нормальными режимами** работы электрических систем следует считать режим холостого хода, номинальный режим и режимы с параметрами, отличающимися от номинальных в допускаемых пределах. Все другие режимы систем следует считать **ненормальными**. Любой ненормальный режим должен устраняться при помощи автоматических устройств или обслуживающего персонала.

Ненормальный режим, если он связан с опасностью для жизни людей или большим материальным ущербом, является **аварийным**.

Режимы работы систем, кроме того, разделяют по времени (**длительные** — определенное количество часов, **кратковременные** — минуты и доли секунд и **повторно-кратковременные**) и по характеру нагрузки (**постоянная, переменная, периодическая** или **кратковременная**).

В связи с развитием рыночных отношений электроэнергию следует рассматривать не только как физическое явление, но и как товар, который должен соответствовать определенному качеству и требованиям рынка. Сегодня элек-

трическая энергия является продукцией, которая вырабатывается в энергосистеме и распределяется между электроприемниками.

Федеральный закон «Об электроэнергетике» устанавливает новый характер взаимоотношений между производителем и потребителем электроэнергии, определяет ответственность энергосбытовых организаций и поставщиков электроэнергии перед потребителями за надёжность обеспечения их электрической энергией и её свойства в соответствии с техническими регламентами и иными обязательными требованиями. В связи с этим важнейшим показателем является **качество электрической энергии**, которое определяется совокупностью свойств, определяющих **пригодность электроэнергии для питания электроприемников**.

Если ранее (до 1950-х гг.) критерии качества электроэнергии практически не рассматривались, то сегодня использование сложных систем автоматизации и управления требует совершенно иного подхода и обеспечения высокого качества электроэнергии. Особенно критичны к отклонениям параметров электроэнергии электронные и микропроцессорные устройства.

ГОСТ 32144-2013 (сменивший ГОСТ 13109-97) «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения» регламентирует требования к показателям и нормы качества электрической энергии в установившихся режимах в электрических сетях систем электроснабжения общего назначения переменного трехфазного и однофазного тока частотой 50 Гц в точках, к которым присоединяются электрические сети, находящиеся в собственности различных потребителей электрической энергии, или приемники электрической энергии (точки общего присоединения).

Настоящий стандарт соответствует европейскому региональному стандарту EN 50160:2010. Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution networks («Характеристики напряжения электричества, поставляемого общественными распределительными сетями»).

Нормы, установленные настоящим стандартом, являются обязательными во всех режимах работы систем электроснабжения общего назначения, кроме режимов, обусловленных:

- исключительными погодными условиями и стихийными бедствиями (ураган, наводнение, землетрясение и т. п.);
- непредвиденными ситуациями, вызванными действиями стороны, не являющейся энергоснабжающей организацией и потребителем электроэнергии (пожар, взрыв, военные действия и т. п.);
- условиями, регламентированными государственными органами управления, а также связанными с ликвидацией последствий, вызванных исключительными погодными условиями и непредвиденными обстоятельствами.

**К основным показателям качества электроэнергии**, определяющим свойства электрической энергии, которые характеризуют ее качество, относят:

- отклонение напряжения ( $\delta U$ , %);

- размах изменения напряжения ( $\delta U_t$ , %);
- доза колебаний напряжений ( $\psi$ , %);
- коэффициент несинусоидальности кривой напряжения ( $k_{nc}U$ , %);
- коэффициент  $n$ -й гармонической составляющей напряжения нечетного (четного) порядка ( $kU_{(n)}$ , %);
- коэффициент обратной последовательности напряжений ( $k_2U$ , %);
- коэффициент нулевой последовательности напряжений ( $k_0U$ , %);
- длительность провала напряжения ( $\Delta t_{пр}$ , с);
- импульсное напряжение ( $U_{имп}$ , В, кВ);
- отклонение частоты ( $\Delta f$ , Гц).

**Дополнительные показатели качества электроэнергии**, представляющие собой формы записи основных показателей качества электроэнергии и используемые в других нормативно-технических документах:

- коэффициент амплитудной модуляции напряжений ( $k_{мод}$ );
- коэффициент небаланса междуфазных напряжений ( $k_{неб.м}$ );
- коэффициент небаланса фазных напряжений ( $k_{неб.ф}$ ).

В течение 95% времени суток (22,8 ч) показатели качества электроэнергии не должны выходить за пределы нормально допустимых значений, а в течение всего времени, включая послеаварийные режимы, они должны находиться в пределах максимально допустимых значений.

#### **а) Отклонение напряжения $\delta U$ , %.**

Отклонение напряжения — это один из самых важных показателей качества электроэнергии. Отклонение напряжения находится по формуле

$$\delta U_t = ((U_t) - U_n) / U_n \cdot 100\%,$$

где  $U_t$  — действующее (текущее) значение напряжения прямой последовательности основной частоты, или просто действующее значение напряжения (при коэффициенте несинусоидальности, меньшем или равном 5%), в момент времени  $t$ , кВ;  $U_n$  — номинальное напряжение, кВ.

В трехфазной сети величина

$$U_t = 1/3 (U_{AB(1)} + U_{BC(1)} + U_{AC(1)}),$$

где  $U_{AB(1)}$ ,  $U_{BC(1)}$ ,  $U_{AC(1)}$  — действующие значения междуфазных напряжений основной частоты.

Нормальная работа электроприемников в сетях напряжением до 1 кВ обеспечивается при условии, что отклонения напряжения на их входе не превышают  $\pm 5\%$  (нормальное значение) и  $\pm 10\%$  (максимальное значение).

В сетях напряжением 6–20 кВ устанавливается максимальное отклонение напряжения  $\pm 10\%$ .

#### **б) Колебания напряжения.**

Данный параметр характеризует временные отклонения амплитуды колебаний напряжения. Осциллограмма процесса представлена на рисунке 1.1.

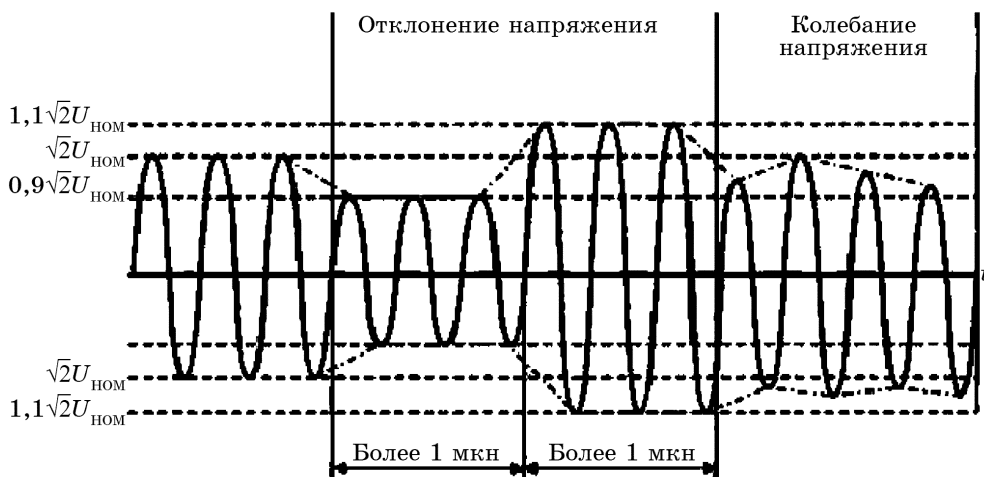


Рис. 1.1

Установившееся отклонение и колебание напряжения

Колебания напряжения — это составной параметр качества электроэнергии, поскольку для характеристики колебаний напряжения необходимо учитывать:

- размах изменений;
- дозу колебаний (частоту повторений);
- длительность отклонений.

Для первых двух пунктов необходимо дать небольшие пояснения.

#### *Размах изменения напряжения*

Данный параметр качества электроэнергии описывается разностью между максимальными и минимальными отклонениями. Коэффициент размаха определяется следующей формулой:

$$(U_{\text{pmax}} - U_{\text{pmin}})/U_{\text{ном}},$$

где  $U_{\text{pmax}}$  — максимальная величина размаха;  $U_{\text{pmin}}$  — минимальная;  $U_{\text{ном}}$  — номинальное значение.

К размахам изменения напряжения относят одиночные изменения напряжения любой формы с частотой повторения от двух раз в минуту (1/30 Гц) до одного раза в час, имеющие среднюю скорость изменения напряжения более 0,1% в секунду (для ламп накаливания) и 0,2% в секунду для остальных приемников.

Допустимое значение для коэффициента размаха — не более 10%.

#### *Доза колебаний напряжения (Доза фликера)*

Данный параметр введен в стандарт для учета влияния на человека мерцания, производимого источниками света по причине изменения амплитуды напряжения. Измерения производятся при помощи специальных приборов, определяющих допустимое мерцание.

При использовании показателя «доза колебаний напряжения» оценка допустимости размаха изменения напряжения может не производиться, так как



рассматриваемые показатели взаимозаменяемы. Доза колебаний напряжения идентична размаху изменения напряжения и в действующих электрических сетях вводится по мере их оснащения соответствующими приборами.

Доза колебаний напряжения также представляет собой интегральную характеристику колебаний напряжения, вызывающих у человека накапливающееся за установленный период времени раздражение из-за миганий света в диапазоне частот от 0,5 до 0,25 Гц.

Допустимое максимальное значение дозы колебаний напряжения ( $\psi$ , (%)<sup>2</sup>) в электрической сети, к которой присоединяются осветительные установки, не должно превосходить:

0,018 — с лампами накаливания в помещениях, где требуется значительное зрительное напряжение;

0,034 — с лампами накаливания во всех других помещениях;

0,079 — с люминесцентными лампами.

Данный критерий служит для описания частоты, с которой происходят отклонения. Следует учитывать, что если временной период между колебаниями меньше 30,0 мс, то их необходимо рассматривать как одно отклонение. Число изменений напряжения в единицу времени, т. е. частота изменения напряжения, находится по формуле

$$F = m/T,$$

где  $m$  — число изменений напряжения за время  $T$ ;  $T$  — общее время наблюдения размахов напряжения, в расчетах принимается равным 10 мин.

Таким образом, основные требования, предъявляемые к колебаниям напряжения, обуславливаются соображениями защиты зрения человека.

Установлено, что наибольшая чувствительность глаза к мерцанию света находится в области частоты, равной 8,7 Гц. Поэтому для ламп накаливания, обеспечивающих рабочее освещение при значительных зрительных напряжениях, размах напряжения допускается не более 0,3%, для ламп накаливания в быту — 0,4%, для люминесцентных ламп и других электроприемников — 0,6%.

#### **в) Коэффициент временного перенапряжения.**

Эта характеристика определяет, насколько текущая амплитуда выше предельно допустимого порога. Такие отклонения характерны при перенапряжениях вследствие КЗ или коммутационных процессов. Случайный характер отклонений не позволяет нормировать показатель, но собранная статистика используется при определении качества электроэнергии однофазной или трехфазной сети.

#### **г) Коэффициент несинусоидальности кривой напряжения.**

При работе в сети мощных выпрямительных и преобразовательных установок, а также дуговых печей и установок для сварки, т. е. нелинейных элементов, происходит искажение синусоидальных кривых тока и напряжения. Несинусоидальные кривые тока и напряжения представляют собой гармонические колебания, имеющие различные частоты (промышленная частота — это низшая гармоника, все остальные по отношению к ней — высшие гармоники).

Высшие гармоники в системе электроснабжения вызывают дополнительные потери энергии, сокращают срок службы косинусных конденсаторных батарей, электродвигателей и трансформаторов, приводят к трудностям при наладке релейной защиты и сигнализации, а также эксплуатации электроприводов с тиристорным управлением и т. д.

Содержание высших гармоник в электрической сети характеризуется **коэффициентом несинусоидальности кривой напряжения**  $k_{\text{нс}U}$ , который определяется по выражению

$$k_{\text{нс}U} = \frac{1}{U_n} \sqrt{\sum_{n=2}^N U_n^2} \cdot 100\%,$$

где  $N$  — порядок последней из учитываемых гармонических составляющих;  $U_n$  — действующее значение  $n$ -й ( $n = 2, \dots, N$ ) гармонической составляющей напряжения, кВ.

Нормальные и максимальные допустимые значения  $k_{\text{нс}U}$  не должны соответственно превышать:

- в электрической сети напряжением до 1 кВ — (–5...+10%);
- в электрической сети напряжением 6–20 кВ — (–4...+8%);
- в электрической сети напряжением 35 кВ — (–3...+6%);
- в электрической сети напряжением 110 кВ и выше — (–2...+4%).

Для снижения высших гармоник применяются силовые фильтры, представляющие собой последовательное соединение индуктивного и емкостного сопротивлений, настроенных в резонанс на определенную гармонику. С целью исключения гармоник низших частот применяют преобразовательные установки с большим числом фаз.

**д) Коэффициент  $n$ -й гармонической составляющей напряжения нечетного (четного) порядка.**

**Коэффициент  $n$ -й гармонической составляющей напряжения нечетного (четного) порядка** представляет собой отношение действующего значения  $n$ -й гармонической составляющей напряжения к действующему значению напряжения основной частоты, т. е.  $k_{U(n)} = (U_n/U_n) \cdot 100\%$ . По значению коэффициента  $k_{U(n)}$  определяется спектр  $n$ -х гармонических составляющих, на подавление которых должны быть рассчитаны соответствующие силовые фильтры.

Нормальные и максимальные допустимые значения не должны соответственно превышать:

- в электрической сети напряжением до 1 кВ — (–3...+6%);
- в электрической сети напряжением 6–20 кВ — (–2,5...+5%);
- в электрической сети напряжением 35 кВ — (–2...+4%);
- в электрической сети напряжением 110 кВ и выше — (–1...+2%).

**е) Несимметрия напряжений.**

Несимметрия напряжений возникает из-за нагрузки однофазных электроприемников. Так как распределительные сети напряжением выше 1 кВ работают с изолированной или компенсированной нейтралью, то несимметрия напря-

жений обусловлена **появлением** напряжения обратной последовательности. Несимметрия проявляется в виде неравенства линейных и фазных напряжений и характеризуется **коэффициентом обратной последовательности напряжений**:

$$k_{2U} = (U_{2(1)}/U_n) \cdot 100\%,$$

где  $U_{2(1)}$  — действующее значение напряжения обратной последовательности основной частоты трехфазной системы напряжений, кВ.

Значение величины  $U_{2(1)}$  можно получить измерением трех напряжений основной частоты, т. е.  $U_{A(1)}$ ,  $U_{B(1)}$ ,  $U_{C(1)}$ . Тогда

$$U_{2(1)} = \frac{\sqrt{3}(U_{A(1)}y_A + U_{B(1)}y_B + U_{C(1)}y_C)}{y_A + y_B + y_C},$$

где  $y_A$ ,  $y_B$  и  $y_C$  — проводимости фаз А, В и С приемников.

Наличие напряжения обратной последовательности приводит к дополнительному нагреву обмоток возбуждения СГ и увеличению их вибрации, к дополнительному нагреву электродвигателей и резкому сокращению срока службы их изоляции, снижению реактивной мощности, генерируемой силовыми конденсаторами, дополнительному нагреву линий и трансформаторов, увеличению количества ложных срабатываний релейной защиты и т. д.

На зажимах симметричного электроприемника нормально допустимый коэффициент несимметрии равен 2%, а максимально допустимый — 4%.

**ж) Коэффициент нулевой последовательности напряжений.**

$$k_{0U} = (U_{0(1)}/U_{н.ф.}) \cdot 100\%,$$

где  $U_{0(1)}$  — действующее значение напряжения нулевой последовательности основной частоты, кВ;  $U_{н.ф.}$  — номинальное значение фазного напряжения, кВ.

Величина  $U_{0(1)}$  определяется измерением трехфазных напряжений основной частоты, т. е.

$$U_{0(1)} = \frac{U_{A(1)}y_A + U_{B(1)}y_B + U_{C(1)}y_C}{y_A + y_B + y_C + y_0},$$

где  $y_A$ ,  $y_B$ ,  $y_C$  и  $y_0$  — проводимости фаз А, В, С приемника и нулевого провода;  $U_{A(1)}$ ,  $U_{B(1)}$ ,  $U_{C(1)}$  — действующие значения фазных напряжений.

Допустимое значение  $U_{0(1)}$  ограничивается требованиями, предъявляемыми к отклонению напряжения, которые удовлетворяются коэффициентом нулевой последовательности, равным 2% в качестве нормального уровня и 4% максимального уровня.

**з) Провал напряжения и интенсивность провалов напряжения.**

**Провал напряжения** — это внезапное значительное понижение напряжения в точке электрической сети, за которым следует восстановление напряжения до первоначального или близкого к нему уровня через промежуток времени от нескольких периодов до нескольких десятков секунд.

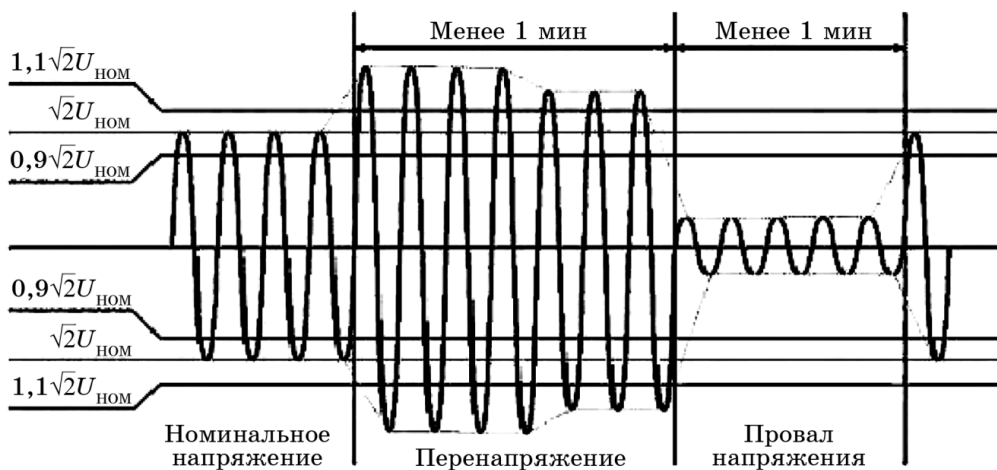


Рис. 1.2

Осциллограмма перенапряжения и провала напряжения

**Длительность провала напряжения**  $\Delta t_{\text{пр}}$  — интервал времени между начальным моментом провала напряжения и моментом восстановления напряжения до первоначального или близкого к нему уровня, т. е.  $\Delta t_{\text{пр}} = t_{\text{вос}} - t_{\text{нач}}$ .

Значение  $\Delta t_{\text{пр}}$  может составлять от нескольких периодов до нескольких десятков секунд. Провал напряжения характеризуется **глубиной провала**  $\delta U_{\text{пр}}$ , представляющей собой разность между номинальным значением напряжения и минимальным действующим значением напряжения  $U_{\text{мин}}$  в течение провала напряжения (выражается в процентах номинального значения напряжения или в абсолютных единицах) и его **интенсивностью**.

Величина  $\delta U_{\text{пр}}$  определяется следующим образом:

$$\delta U_{\text{пр}} = ((U_{\text{н}} - U_{\text{мин}}) / U_{\text{н}}) \times 100\% \quad \text{или} \quad \delta U_{\text{пр}} = U_{\text{н}} - U_{\text{мин}}^*.$$

**Интенсивность провалов напряжения**  $m^*$  представляет собой частоту появления в сети провалов напряжения определенной глубины и длительности, т. е.

$$m^* = (m(\delta U_{\text{пр}}, \Delta t_{\text{пр}}) / M) \times 100\%,$$

где  $m(\delta U_{\text{пр}}, \Delta t_{\text{пр}})$  — число провалов напряжения глубиной  $\delta U_{\text{пр}}$  и длительностью  $\Delta t_{\text{пр}}$  за время  $T$ ;  $M$  — суммарное число провалов напряжения за время  $T$ .

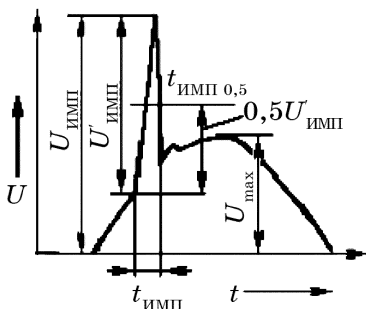
К провалам напряжения, возникающим в большинстве случаев при коротких замыканиях в сети, чувствительны некоторые виды электроприемников (ЭВМ, силовая электроника), поэтому в проектах электроснабжения таких приемников должны предусматриваться меры по снижению длительности, интенсивности и глубины провалов напряжения.

Допустимые значения длительности провалов напряжения ГОСТ не указывает.

#### и) Импульсное напряжение.

Импульсное напряжение — это резкое изменение напряжения, за которым следует восстановление напряжения до обычного уровня за промежуток

времени от нескольких микросекунд до 10 мс. Оно представляет собой максимальное мгновенное значение напряжения импульса  $U_{\text{имп}}$  (рис. 1.3).



**Рис. 1.3**  
Импульсное напряжение

Импульсное напряжение характеризуется амплитудой импульса  $U'_{\text{имп}}$ , представляющей собой разность между импульсом напряжения и мгновенным значением напряжения основной частоты, соответствующим моменту начала импульса.

Длительность импульса  $t_{\text{имп}}$  — интервал времени между начальным моментом импульса напряжения и моментом восстановления мгновенного значения напряжения до обычного уровня. Может быть вычислена длительность импульса  $t_{\text{имп}0,5}$  по уровню  $0,5$  его амплитуды (см. рис. 1.3).

Импульсное напряжение определяется в относительных единицах по формуле  $\Delta U_{\text{имп}} = U_{\text{имп}} / (\sqrt{2} U_{\text{н}})$ .

К импульсам напряжения чувствительны такие электроприемники, как ЭВМ, силовая электроника и др. Импульсные напряжения появляются вследствие коммутаций в электрической сети. Допустимые значения импульсных напряжений ГОСТ не нормирует, но при разработке конкретных проектов электроснабжения меры по снижению импульсных напряжений должны предусматриваться.

#### **к) Отклонения частоты.**

Изменения частоты обусловлены изменениями суммарной нагрузки и характеристиками регуляторов частоты вращения турбин. Большие отклонения частоты возникают в результате медленного регулярного изменения нагрузки при недостаточном резерве активной мощности.

Частота напряжения, в отличие от других явлений, ухудшающих качество электроэнергии, является общесистемным параметром: все генераторы, присоединенные к одной системе, генерируют электроэнергию на напряжении одинаковой частоты — 50 Гц.

Как известно из курса ТОЭ, в нормальном установившемся режиме суммарная мощность, вырабатываемая всеми генераторами электрической системы, должна быть точно равна суммарной мощности всех электроприемников, подключенных к системе в данный момент. Поэтому любое изменение мощности нагрузки вызывает изменение частоты, что приводит к изменению выработки активной мощности генераторов, для чего блоки «турбина — генератор»

оборудуют устройствами, позволяющими регулировать поступление энергоносителя в турбину в зависимости от изменений частоты в электрической системе.

При определенном росте нагрузки оказывается, что мощность блоков «турбина — генератор» исчерпана. Если нагрузка продолжает увеличиваться, баланс устанавливается при пониженной частоте — возникает отклонение частоты. В этом случае говорят о дефиците активной мощности для поддержания номинальной частоты.

Отклонение частоты  $\Delta f$  от номинального значения  $f_n$  определяется по формуле

$$\Delta f = f - f_n,$$

где  $f$  — текущее значение частоты в системе.

Изменения частоты, превышающие 0,2 Гц, существенно влияют на технико-экономические показатели работы электроприемников, поэтому нормально допустимое значение отклонения частоты равно  $\pm 0,2$  Гц, а максимально допустимое значение отклонений частоты составляет  $\pm 0,4$  Гц. В послеаварийных режимах допускается отклонение частоты от 0,5 до  $-1$  Гц в течение не более 90 ч в год.

Отклонение частоты от номинальной приводит к увеличению потерь энергии в сети, а также к снижению производительности технологического оборудования.

**л) Коэффициент амплитудной модуляции напряжения и коэффициент небаланса междуфазных и фазных напряжений.**

Коэффициент амплитудной модуляции напряжения характеризует колебания напряжения и равен отношению полуразности наибольшей и наименьшей амплитуд модулированного напряжения, взятых за определенный интервал времени, к номинальному или базовому значению напряжения, т. е.

$$k_{\text{мод}} = (U_{\text{нб}} - U_{\text{нм}}) / (2\sqrt{2} U_n),$$

где  $U_{\text{нб}}$  и  $U_{\text{нм}}$  — соответственно наибольшая и наименьшая амплитуды модулированного напряжения.

Коэффициент небаланса междуфазных напряжений  $k_{\text{неб.мф}}$  характеризует несимметрию междуфазных напряжений и равен отношению размаха небаланса междуфазных напряжений к номинальному значению напряжения:

$$k_{\text{неб.мф}} = ((U_{\text{нб}} - U_{\text{нм}}) / U_n) \times 100\%,$$

где  $U_{\text{нб}}$  и  $U_{\text{нм}}$  — наибольшее и наименьшее действующие значения из трех междуфазных напряжений.

Коэффициент небаланса фазных напряжений  $k_{\text{неб.ф}}$  характеризует несимметрию фазных напряжений и равен отношению размаха небаланса фазных напряжений к номинальному значению фазного напряжения:

$$k_{\text{неб.ф}} = ((U_{\text{нб.ф}} - U_{\text{нм.ф}}) / U_{\text{н.ф}}) \times 100\%,$$

где  $U_{\text{нб}}$  и  $U_{\text{нм}}$  — наибольшее и наименьшее действующие значения из трехфазных напряжений;  $U_{\text{н.ф}}$  — номинальное значение фазного напряжения.

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)