

# КУМУЛЯТИВНЫЙ ПРИНЦИП ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА НАПРЯЖЕНИЯ

Доктор техн. наук КУРЕННЫЙ Э. Г., канд. техн. наук ДМИТРИЕВА Е. Н., инженеры КОВАЛЬЧУК В. М., КОЛОМЫТЦЕВ А. Д.

*Донецк*

Проблема нормирования и улучшения качества напряжения имеет различные аспекты: технический, экономический и социальный [Л. 1]. Она возникает из-за невозможности обеспечения неизменного номинального напряжения на зажимах всех электроприемников. Негативная сущность отхода от оптимальных условий требует достижения разумного компромисса между интересами потребителя и системы, что возможно лишь при использовании показателей качества напряжения, не допускающих субъективного толкования.

Существующие нормы качества такому требованию удовлетворяют не полностью. Это можно объяснить тем, что показатели качества напряжения устанавливались на основании исследований, проводимых для частных случаев процессов изменения напряжения, например, строго периодических. Для таких процессов смысл основных понятий интуитивно ясен, а потому требования к строгости их определений оказались недостаточными для распространения полученных результатов на другие случаи.

Неуниверсальность норм проявляется, главным образом, в отсутствии указаний по выбору длительностей промежутков времени, за которые должны определяться нормируемые показатели. Например, принятое в ГОСТ 13109—67 нормирование отклонений напряжения только по их величине не дает однозначной оценки: допустимая величина может сравниваться с мгновенными или среднеквадратичным (эффективным) значениями отклонений. В первом случае требования к качеству напряжения завышаются, во втором — занижаются.

Это обстоятельство было учтено в [Л. 2, 3], где предложено ввести в стандарт понятие интервалов осреднения, в пределах которых определяются экстремальные значения отклонений напряжения. Однако этот принцип не был обобщен на другие показатели качества напряжения, в частности на колебания напряжения. В статье обосновывается возможность обобщенного подхода к рассматриваемой проблеме, который обеспечивает дифференцированную оценку качества с учетом накопления (кумуляции) воздействий, напряжения на электроприемники. Кроме того, указываются способы анализа доз воздействий случайно изменяющихся процессов путем расчленения реализаций на участки элементарных конфигураций с использованием результатов, полученных для детерминированных процессов.

**Сущность принципа.** Воздействия напряжения  $U(t)$  на сеть и электроприемники не могут проявляться мгновенно, поэтому они должны оцениваться за некоторые отличные от нуля промежутки времени. При длительном приложении неизменного по величине или периодически

изменяющегося напряжения через некоторое время переходные процессы практически заканчиваются. При детерминированном или случайном графиках напряжения сложной формы установившийся процесс не наступает, однако связь между ординатами графика с увеличением интервала времени уменьшается [Л. 4], что позволяет рассматривать график напряжения только на некотором интервале определенной длительности. Таким образом, в каждом конкретном случае можно установить интервал в оценки качества напряжения, который в дальнейшем именуется тэта-интервалом.

Воздействия напряжения весьма разнообразны: например, быстрые его изменения на зажимах осветительных приемников не только вызывают утомление работающих, но и уменьшают срок службы ламп накаливания. Однако все они связаны с избыточным или недостаточным накоплением тех или иных видов в течение соответствующих тэта-интервалов, поэтому количественные характеристики воздействий должны быть интегральными. Следовательно, уместно говорить о «дозах» того или иного воздействия за время  $\theta$ , причем один и тот же график напряжения будет по-разному сказываться на различных приемниках, так как они имеют различные тэта-интервалы.

Итак, кумулятивный принцип оценки качества напряжения заключается в определении (нормировании) количественных характеристик воздействий напряжения на электроприемники за конечные промежутки времени, дифференцированные по типу электроприемников.

С математической точки зрения применение кумулятивного принципа сводится к разысканию за время  $\theta$  экстремальных значений  $\psi_{\theta M}$ ,  $\psi_{\theta m}$  некоторого показателя качества  $\psi_\theta$  и сопоставлению их с допустимыми значениями  $[\psi]$ ,  $[\psi]_M$ . Очевидно, значения  $\psi_\theta$  зависят от положения тэта-интервала на оси времени  $t$  графика напряжения  $U(t)$ . Поскольку заранее неизвестно, где именно будут достигнуты экстремальные значения, необходимо рассмотреть все моменты времени, т. е. осуществить непрерывное перемещение тэта-интервала вдоль графика напряжения. Таким образом, оценка качества напряжения в пределах тэта-интервала не отвергает, а наоборот требует исследования изменений напряжения за длительные промежутки времени  $T \gg \theta$  (теоретически  $T \rightarrow \infty$ , в ГОСТ 13109—67 принято значение  $T$ , равное месяцу).

В общем случае расчетные значения случайной величины  $\psi_\theta$ , имеющей интегральную функцию распределения  $F(\psi_\theta)$ , определяются в соответствии с известным из теории вероятностей принципом практической уверенности [Л. 4]:

$$F(\psi_{\theta M}) = 1 - E_{Mx}; \quad F(\psi_{\theta m}) = 1 - E_{mx} \quad (1)$$

где  $E_{Mx}, E_{mx}$  — вероятности превышения значения  $\psi_{\theta M}$  или понижения

$\psi_{\theta M}$  соответственно, выбираемые в зависимости от конкретных условий задачи в пределах от 0,05 до 0,001.

Граничные вероятности определяют частоты превышения и понижения расчетных значений:

$$V_{\theta M} = \frac{E_{Mx}}{\theta}; \quad V_{\theta m} = \frac{E_{mx}}{\theta} \quad (2)$$

которые не могут отождествляться с «частотами появления» этих значений, так как, например, для непрерывной случайной величины «частота появления» любого значения в точности равна нулю.

Соотношения (1) и (2) позволяют сделать вывод о том, что качество напряжения в общем случае должно оцениваться совокупностью трех (из четырех возможных) показателей: например, величиной (дозой), длительностью воздействия и вероятностью. Количественные значения показателей определяются условиями конкретных задач, а потому могут быть самыми разнообразными. Для единообразия целесообразно один или два из показателей принимать одинаковыми для большинства задач. Так, в ГОСТ 13109—67 дается одно значение граничной вероятности  $E_{Mx} = E_{mx} = E_x = 0,05$ . В тех случаях, когда длительность тэта-интервала заранее неизвестна,  $\theta$  может быть принята из соображений удобства контроля качества напряжения в действующих сетях (например, 5, 10 и 15 мин).

Применение кумулятивного принципа может привести к пересмотру показателей нормирования качества напряжения, однако представляется естественным вначале рассмотреть его следствия применительно к существующей практике. Установление количественных значений критериев качества выходит за рамки статьи.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веников В. А., Либкинд М. С., Константинов Б. А. Народнохозяйственное значение повышения качества электроэнергии.— *Электричество*, 1974, № 11, с. 1—4.
2. Куренный Э. Г., Дмитриева Е. Н. К вопросу о нормировании качества напряжения. — *Изв. вузов. Энергетика*, 1971, № 1, с. 1—6.
3. Куренный Э. Г., Дмитриева Е. Н., Санаев А. М. О необходимости уточнения стандарта на качество электроэнергии. — *Промышленная энергетика*, 1972, № 2, с. 50—52.
4. Электрические нагрузки промышленных предприятий / Волобринский С.Д., Каялов Г. М., Клейн П. Н., Мешель Б. С. М.: Энергия, 1971.
5. Куренный Э. Г., Дмитриева Е. Н. Общий метод расчета пиков

- электрической нагрузки. — Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт, 1970, № 6, с. 139—146.
6. Каждан Э. М., Каждая А. Э. Инженерные методы расчета колебаний напряжения в питающих сетях и характерных узлах нагрузки (металлургических заводов). — В кн.: Инструктивные указания по проектированию электротехнических промышленных установок/ ГПИ Тяжпромэлектропроект, 1972, № 7, с. 3—10.
  7. Каялов Г. М., Куренный Э. Г. Основы расчета колебаний напряжения в электрических сетях. — Электричество, 1967, № 2, с. 5—8.
  8. Константинов Б. А., Багиев Г. Л. Об ущербе при понижении качества напряжения. — Электричество, 1970, № 3, с. 77—78.