

**УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ
НЕСИММЕТРИИ РЕЖИМА**

В. В. ЛИТВАК, В. В. ПРОКОПЧИК

(Представлена научным семинаром кафедр электрических станций
и электрических систем и сетей)

Одним из важнейших показателей качества электрической энергии является степень несимметрии напряжений. Она характеризуется напряжениями обратной и нулевой последовательностей. Искажение симметрии трехфазной системы напряжения в электрических системах может приводить к весьма тяжелым техническим и экономическим последствиям в зависимости от глубины и длительности этого искажения. Появление напряжения обратной последовательности, например, вызывает в статорах вращающихся электрических машин появление переменного магнитного поля обратной последовательности, а в роторах — токов двойной частоты. Это вызывает дополнительный нагрев обмоток вращающихся электрических машин. Аналогично происходит процесс дополнительного нагрева и трансформаторов. Вследствие этого может иметь место ограничение нагрузки вращающихся машин и недоиспользование мощности трансформаторов [1].

Источниками несимметрии в сетях металлургических заводов являются трехфазные дуговые электропечи и однофазные электроприемники.

Существующие аналитические методы определения несимметрии режима позволяют приближенно получить точечные значения напряжений прямой, обратной и нулевой последовательностей по измеряемым значениям фазных и междуфазных напряжений [2]. Однако величины, вычисленные по этим методам, дают представление о режиме только в фиксированный момент времени для одной или нескольких реализаций, и такая оценка применима только лишь для сетей с достаточно спокойным режимом напряжений.

По своей сущности степень несимметрии напряжений является интегральным критерием качества электроэнергии, так как воздействие несимметрии нагрузок на элементы сети и электроприемники определяется не мгновенными значениями ординат напряжений обратной и нулевой последовательностей, а отдельными участками их графиков [3].

Величины U_2 и U_0 непрерывно меняются во времени и для определения законов их распределения больше всего подходит аппарат случайных функций времени. Интегральную оценку влияния несимметрии напряжений на режим работы сети и электроприемников целесообразно производить по «времени пребывания» реализации случайной функции выше уровня анализа (допустимого уровня) и по количеству электроэнергии, переданной потребителям за это время.

В соответствии с этим контроль за несимметрией трехфазной системы напряжения может быть осуществлен следующим образом. Напряжения обратной или нулевой последовательностей выделяются с помощью фильтров ФНОП или ФННП, включаемых в исследуемой точке электрической сети, и подаются через режекторный фильтр основной частоты в измерительный блок (рис. 1). Если измеряемое напряжение U_2 или U_0 превышает напряжение уставки, то измерительный орган дает сигнал запуска счетчика времени и энергии.

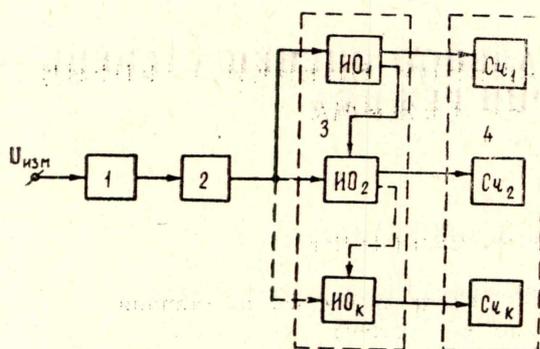


Рис. 1. Структурная схема устройства. 1 — ФНОП или ФННП; 2 — режекторный фильтр основной частоты; 3 — измерительный блок; 4 — блок индикации

Поскольку случайные процессы $U_2(t)$ и $U_0(t)$ эргодичны и не имеют сменной и суточной нестационарности [1, 4], то, меняя уставки измерительного органа и измеряя при каждом новом значении уставки время пребывания и количество электроэнергии, потребленной за это время, можно получить ряд точек и построить по ним кривую функций распределения, так как существует определенная связь между функцией распределения вероятностей стационарного эргодического случайного процесса $X(t)$ и относительным временем пребывания реализации $x(t)$ этого процесса выше заданного уровня анализа x (рис. 2, а) [5]. Формула оценки дополнительной функции распределения $F_1(x) = P[X(t) > x]$, устанавливающая указанную связь, имеет вид:

$$F_1^*(x) = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n \tau_i.$$

Для уменьшения времени исследования, а также при исследовании процессов, обладающих недельной (суточной) нестационарностью, число каналов в измерительном блоке и блоке индикации должно быть увеличено. Работа устройства для такого случая может быть описана по структурной схеме (рис. 1) следующим образом.

Измерительные органы каналов постоянно находятся в работе и, если измеряемое напряжение превышает напряжение уставки, дают сигнал запуска «своих» электросчетчиков и временных устройств блока индикации. Причем пуск счетчиков времени и энергии канала с меньшей по напряжению уставкой возможен только лишь в том случае, если канал с большей установкой находится в несработавшем состоянии. В противном случае на его измерительный орган поступает сигнал запрета. Таким образом, квантованием входного напряжения по уровням, осуществляется измерение времени пребывания реализации и количество электроэнергии, потребленной за это время, в каждом интервале уровней анализа, так как уставки каналов по напряжению отличаются на определенную величину ΔU . Связь между плотностью распределения $W(x)$ и относительным временем пребывания реализации внутри одного интервала, например, интервала Δx между уровнями x_1 и x_2 (рис. 2, б) выражается следующим образом:

$$W^*(x) = \frac{1}{T \Delta x} (\Delta t_1 + \Delta t_3 + \dots + \Delta t_{2n+1}).$$

Эта связь позволяет определить плотность распределения вероятностей для всего диапазона уровней анализа, если данные измерений сгруппировать и представить в виде гистограммы.

Ожидаемые погрешности измерений не будут существенно превосходить допустимых значений при правильном выборе числа уровней анализа, ширины интервала Δx и продолжительности исследования. Решение этих вопросов в данной работе не приводится.

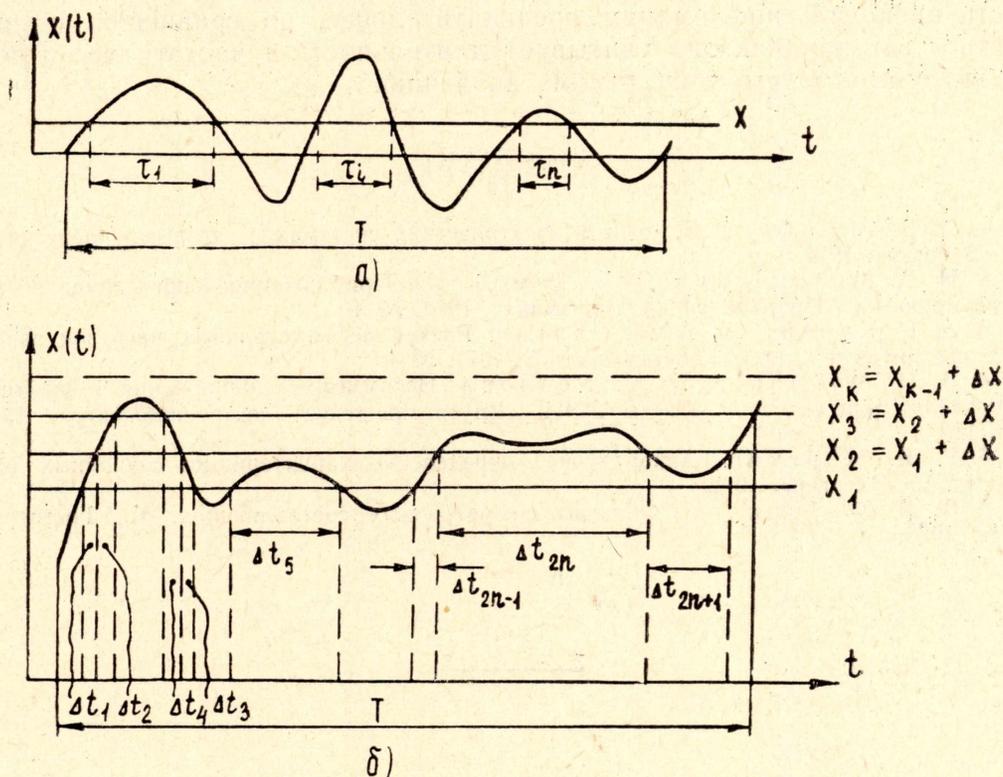


Рис. 2.

Был разработан и изготовлен опытный образец прибора, в котором в качестве ФНОП использовался $R-C$ фильтр с компенсацией небаланса при изменении температуры. Обычные ФНОП, применяемые в релейной защите, непригодны из-за грубой регулировки величины небаланса и сильной температурной зависимости сопротивлений их элементов. В изготовленном фильтре в качестве активных сопротивлений использовались высокостабильные металлопленочные резисторы типа С2-13 и термокомпенсация потребовалась только для емкостных сопротивлений, входящих в контур. Поскольку с увеличением температуры емкость металобумажных конденсаторов уменьшается, а емкостное сопротивление увеличивается, то для компенсации этого изменения часть активного сопротивления контура была выполнена из меди, как материала с температурным коэффициентом сопротивления (ТКС) того же знака.

Фильтр напряжений нулевой последовательности был выполнен с тремя одинаковыми емкостями [6]. Трудности заключаются только в подборе одинаковых по величине емкостей.

Измерительные органы предлагаемого устройства построены на базе туннельных диодов, работающих в качестве амплитудных селекторов. Уставки срабатывания измерительных органов могут регулироваться плавно или дискретно от $+1\%$ до $+10\%$ по отношению к номиналь-

ному напряжению сети. Погрешность срабатывания измерительных органов по шкале уставок, при изменении температуры окружающей среды от минус 20 до плюс 40°C, проверялась экспериментально и не превышает $\pm 0,5\%$ от соответствующего значения уставки.

Счетчики времени выполнены на синхронных электродвигателях ДСД60-Л1, для подсчета числа оборотов которых использованы счетные механизмы от электросчетчиков, что позволяет представлять информацию о времени пребывания в цифровом непрерывном виде. Непрерывность цифровой информации предпочтительнее, по сравнению с дискретностью, так как она учитывает длительность и частоту несоответствия параметра его допустимому значению.

ЛИТЕРАТУРА

1. Д. В. Тимофеев. Режимы в электрических системах с тяговыми нагрузками. М., «Энергия», 1972.
 2. Н. А. Мельников, Д. В. Тимофеев. Приближенное определение несимметрии режима. «Промышленная энергетика», 1972, № 4.
 3. Э. Г. Куренный, А. М. Санаев. Расчет несимметричных нагрузок заводских электрических сетей. «Электричество», 1971, № 4.
 4. В. П. Муравьев, Н. М. Козлова. Несимметрия напряжения в шахтных распределительных сетях. Труды МЭИ, «Внутризаводское электроснабжение», 1972, вып. 103.
 5. Г. Я. Мирский. Аппаратурное определение характеристик случайных процессов. М., «Энергия», 1972.
 6. В. Л. Фабрикант. Фильтры симметричных составляющих. М., Госэнергоиздат, 1962.
-