

ФОРМИРОВАНИЕ НА ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НАГРУЗОК, СТАТИСТИЧЕСКИ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ РЕАЛЬНЫМ

Б.П. КОНОВАЛОВ

В протяженной распределительной сети калийного рудника потеря напряжения достигает 10-15%, ухудшается работа электроприводов добычных и транспортных машин на удаленных горных участках. Повышение качества электрической энергии в сети рудника сопряжено с применением различных компенсирующих устройств потерь напряжения и реактивной мощности [1].

Проведение активного эксперимента по исследованию влияния компенсирующих устройств на режимы напряжений и нагрузок в реальных условиях связано с невозможным вмешательством в нормальный ход технологического процесса и производством дорогостоящих опытов. Активный эксперимент можно провести в лабораторных условиях на физической модели с соблюдением некоторых критериев подобия [2].

При работе реальной системы в широком диапазоне нагрузок трехфазная сеть полагается симметричной, поэтому на лабораторной установке [3], отвечающей физическому подобию, моделировались только продольные параметры с соблюдением критерия подобия [2]

$$L_0 / (R_0 t) = idem ,$$

где L_0 - индуктивность, Г/км; R_0 - активное сопротивление, Ом/км в реальном масштабе времени t .

Создание случайных нагрузок, эквивалентных по своим характеристикам реальным, связано с необходимостью использования генераторов случайных шумов инфранизких и низких частот с постоянными от опыта к опыту характеристиками. Сложность стабилизации характеристик у известных генераторов [4, гл. I] привела к необходимости использования псевдослучайных сигналов (ПСС). Эти сигналы являются периодическими, и требуемые характеристики у ПСС можно получить на длине реализации в один период. У случайных же сигналов для этого необходима реализация бесконечной длины. На практике всегда имеют дело с реализациями конечной длины, обладающими сплошным спектром.

ПСС, взятый на бесконечно длинном интервале времени, имеет линейчатый спектр. Процесс называется длинным или коротким в зависимости от того,

сколько периодов процесса успевают пройти за время наблюдения. Если наблюдать отрезок процесса, не превышающий периода, то спектр ПСС не успевает сгруппироваться и будет, как и у случайного сигнала, сплошным. В качестве одного из типов ПСС можно использовать реализации случайного процесса, записанную на носитель информации.

Таким образом, четкой границы с точки зрения реальных характеристик между случайными и псевдослучайными сигналами провести нельзя [2], но существует четкое разграничение по способу получения сигналов - в составе генератора ПСС отсутствует первичный источник случайного процесса.

Делая выбор между непрерывными и дискретными ПСС, предпочтение следует отдать последним, так как их реализация более легко осуществима на ЦВМ. При вероятностном моделировании на ЦВМ следует априорно задать базовое распределение [4, 5]. В качестве базовой выбрана двоичная последовательность $\{0, 1\}$ с вероятностью появления нуля и единицы, равной 0,5.

Для системы электроснабжения группы горных участков калийного рудника распределение нагрузок и соответствующих им отклонений напряжения близко к нормальному закону [1]. Поэтому равномерное распределение $\{0, 1\}$ программным путем на ЦВМ с помощью машинного датчика случайных чисел было трансформировано в нормальное распределение натурального ряда чисел от 1 до 9, соответствующего в принятом масштабе (рис.1,а) расстоянию между отверстиями на каждой из 7 дорожек перфоленты (рис.1,б). Перфорация ленты не в кодах ЦВМ, а по ее длине приводит к упрощению схемного решения генератора ПСС.

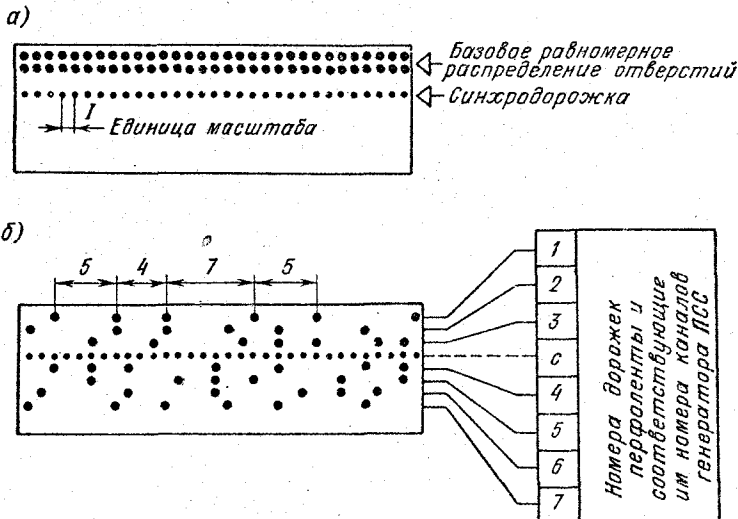


Рис.1. Задачник псевдослучайных сигналов ПСС: а - исходное распределение; б - априорно задаваемый закон распределения расстояний между отверстиями по длине носителя

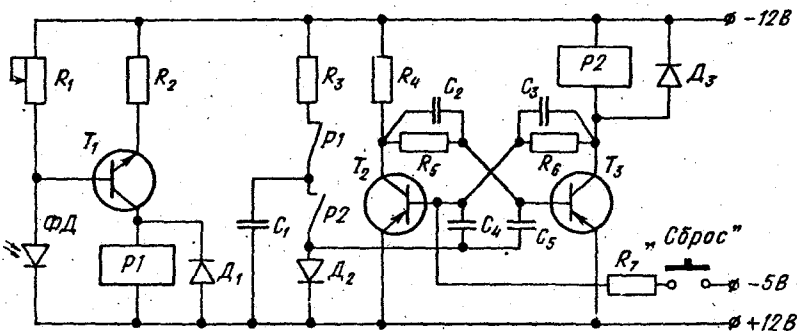


Рис.2. Принципиальная схема одного канала генератора псевдослучайных сигналов

Для имитации нагрузок реальной системы разработан многоканальный генератор псевдослучайных сигналов^х (ПСС). Принцип его работы ясен из рис.2. Носитель информации о псевдослучайном процессе (рис.1,б) с помощью лентопротяжного механизма перемещается с наперед заданной постоянной скоростью перед считывающим блоком фотодиодов ФД. Световые импульсы, изменяя сопротивление ФД, усиливаются в первом каскаде T_1 и поступают на вход стартового мультивибратора $T_2 - T_3$, в одно из плеч которого включено промежуточное реле P_2 . Это реле включено или выключено в зависимости от состояния плеч мультивибратора.

Через контакты промежуточного реле P_2 сигнал поступает во внешнюю цепь на силовое реле, контакторы или управляющие электроды тиристоров. Регулируя скорость протяжки, можно изменить (сместить) спектр процесса. В описываемом варианте ПСС верхняя граничная частота $f_{гр}$ определяется верхней частотой срабатывания реле, что в свою очередь и определяет максимальную скорость протяжки носителя v_{max}

$$f_{гр} = \frac{v_{max}}{a + d/2} < f_{max \text{ реле}}$$

где a - расстояние между отверстиями на дорожке ленты, мм; d - диаметр отверстия, мм.

Нижняя частота не ограничивается. Перед началом работы все промежуточные реле приводятся в одинаковое положение кнопкой «Сброс». В окончательном каскаде ПСС осуществляется деление на два числа импульсов (см.рис.2), поступающих со считывающего блока ФД, и реле P_2 в течение промежутка времени между двумя отверстиями на дорожке задатчика ПСС находится поочередно в состоянии «Включено» или «Выключено». Таким образом ПСС реализует нормальный закон распределения в равной мере для обоих этих состояний.

Конструктивно ПСС выполнен в виде отдельного переносного блока. Полученный с помощью ЦВМ задатчик ПСС, на каждой из семи дорожек которого

^х В разработке и наладке ПСС принимали участие О.В.Иванов, Е.М.Проскураков, В.Г.Бугаков.

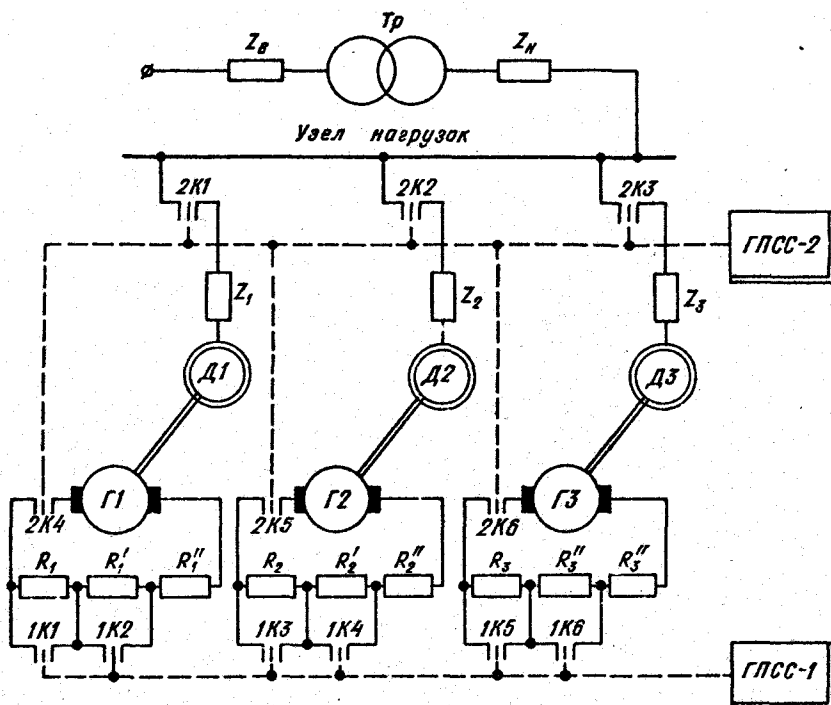


Рис.3. Принципиальная схема лабораторной установки

реализован нормальный закон распределения расстояний между отверстиями, использован в лабораторных экспериментах для имитации нагрузок, вероятностные характеристики которых близки реальным.

Имитация нагрузок реальной системы на лабораторной установке (рис.3) осуществляется с помощью двухмашинных агрегатов асинхронный двигатель Д - генератор Г постоянного тока с независимым возбуждением. Нагрузки R_1-R_3 в якорной цепи Г1-Г3 управляются с помощью ПСС-1 (контакты 1К1-1К6), а сочетания пусковых, рабочих и режимов холостого хода создаются ПСС-2 (контакты 2К1-2К6). Сопротивления Z линий в масштабе сопротивлений соответствуют: Z_B - главного фидера, Z_H - отходящих линий горных участков, $Z_1 - Z_3$ - гибких кабелей основных электроприемников горного участка. Мощность трансформатора Tr в масштабе соответствует мощности реальной системы.

В опытах использованы априорные данные о реальной системе электро-снабжения горных участков.

1. Коэффициенты участия отдельных нагрузок k_y в суммарной нагрузке узла приняты по номинальным нагрузкам агрегатов, мощности которых в принятом при моделировании масштабе равны фактическим среднестатистическим величинам нагрузок питающих линий горных участков:

Нагрузки двухмашинных агрегатов

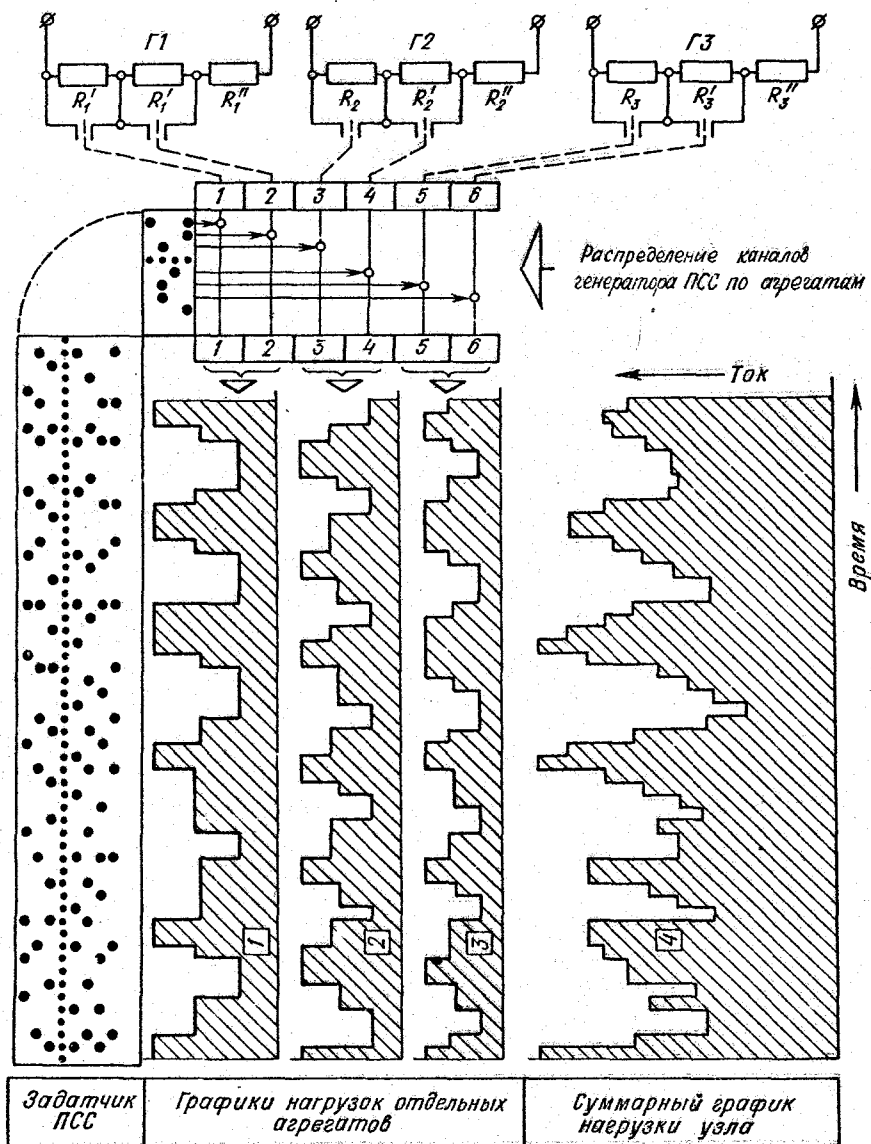


Рис.4. Пример реализации принципа формирования нагрузок с заданным законом распределения вероятностей

$$k_{y1} = I_{H1} / I_{H4} = 0,417; \quad k_{y2} = 0,333; \quad k_{y3} = 0,250,$$

где I_{H1} - номинальная нагрузка первого агрегата, I_{H4} - номинальная суммарная нагрузка узла ($I_{H4}^* = 1,0$).

2. Коэффициенты корреляции между нагрузками отдельных агрегатов и суммарной нагрузкой узла

$$r_{14} = 0,70; \quad r_{24} = 0,45; \quad r_{34} = 0,40.$$

3. Коэффициенты загрузки k_n для отдельных агрегатов и суммарной нагрузки узла приняты одинаковыми ($k_n = 0,65$) и равными среднестатистической нагрузке главного фидера системы электроснабжения горных участков [1].

4. Коэффициент мощности $0,5 \leq \cos \varphi_4 \leq 0,8$.

Методика лабораторных экспериментов по имитации графиков нагрузок наглядно представлена на рис.4. Нагрузки отдельных агрегатов имитируют нагрузки отдельных горных участков калийного рудника, а суммарная нагрузка узла - нагрузку главного фидера. Как видно из рисунка, при трех ступенях нагрузки и двух коммутаторах можно получить только 4 различных уровня нагрузки каждого агрегата. В суммарном же графике нагрузки трех агрегатов число таких уровней достигает 64, что позволяет сформировать график любого типа.

Номинальная величина суммарного тока всех агрегатов в относительных единицах принята $I_4^* = I_4 / I_{4H} = 1,0$. Результаты обработки на ЦВМ графиков рис.4 показывают хорошее совпадение полученных и априорно задаваемых величин k_y , r , k_n даже для такого небольшого отрезка задатчика ПСС. Автокорреляционные функции всех нагрузок содержат периодические компоненты, которые проявляются в ПСС, как отмечалось ранее, наиболее четко при длительности воспроизведения, превышающей период ПСС. Средняя величина периода, полученная в результате обработки, равна 9,25 единиц масштаба задатчика (рис.1,а) при теоретически заданной 10,0 (рис.1,б). Запаздывание n^* при расчете автокорреляционных функций нагрузок берется в единицах масштаба задатчика, фактическое же запаздывание в реальном масштабе времени зависит от скорости протяжки

$$t = n^* / v, \quad \text{с.}$$

Только изменением скорости протяжки задатчика ПСС, изображенного на рис.4, можно получить графики нагрузок с автокорреляционными функциями видов $e^{-\alpha n^*}$, $\cos bn^*$, $e^{-\alpha n^*} \cos bn^*$, наиболее часто встречающихся в исследованиях режимов работы горных машин и режимов работы энергосистем.

Идентификация спектров реальных нагрузок и имитируемых на физической модели показывает (с доверительной вероятностью 0,95) их статистическую эквивалентность [1]. Таким образом, появляется возможность подвергнуть проверке различные компенсаторы потерь напряжения на физической модели.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коновалов Б.П. Исследование качества напряжения в распределительных сетях калийных рудников. - Автореф. канд. дисс. ЛГИ, 1977.
2. Веников В.А. Теория подобия и моделирование применительно к задачам электроэнергетики. М., Высшая школа, 1966.
3. Коновалов Б.П. Установка для исследования качества напряжения в шахтных участковых распределительных сетях со случайными нагрузками. - Новые исследования в горной электромеханике. Л., изд. ЛГИ, 1972, вып. 4.
4. Поляк Ю.Г. Вероятностное моделирование на вычислительных машинах. М., Советское радио, 1971.
5. Корн Г. Моделирование случайных процессов на аналоговых и аналого-цифровых машинах. М., Мир, 1968.