

НЕЙТРАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Н.А. Сердюк¹, К.Е. Рошин¹, В.С. Вихров¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В распределительной системе трехфазная нагрузка несимметрична и нелинейна, поэтому нейтраль играет в распределительной системе очень важную роль. Обычно распределительные сети работают в несбалансированной конфигурации и также обслуживают потребителей. Это приводит к протеканию тока через нейтральный провод и падению напряжения на нейтральном проводе. Несимметричная нагрузка и превышение тока в нейтральном проводе – одна из проблем трехфазных четырехпроводных распределительных систем, вызывающая падение напряжения в нейтральном проводе и создающая проблемы для потребителей. Наличие заземляющего напряжения нейтрали приводит к перекосу фазных напряжений для трехфазных потребителей и снижению напряжения от фазы к нейтрали для однофазных потребителей.

Ключевые слова: трехфазная нагрузка, несбалансированность, нелинейность, нейтраль, распределительная система, падения напряжения, избыточный ток, четырехпроводная система, напряжение заземления, дисбаланс фазных напряжений, однофазные потребители.

NEUTRAL SYSTEMS

N.A. Serdyuk¹, K.E. Roshchin¹, V.S. Vikhrov¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. In a distribution system, the three-phase load is unbalanced and non-linear, so the neutral plays a very important role in the distribution system. As a rule, distribution networks are operated in an unbalanced configuration, and also serve consumers. This leads to current flowing through the neutral wire and a voltage drop on the neutral wire. Unbalanced load and excessive current in the neutral wire are one of the problems in three-phase four-wire distribution systems, which causes a voltage drop on the neutral wire and creates problems for consumers. The presence of a neutral ground voltage leads to an imbalance of phase voltages for three-phase consumers and a decrease in voltage from phase to neutral for single-phase consumers.

Keywords: three-phase load, imbalance, nonlinearity, neutral, distribution system, voltage drops, excess current, four-wire system, ground voltage, phase voltage imbalance, single-phase consumers.

Нейтральная система — это система с задержкой как в состоянии, так и в производной от состояния, и задержка в производной называется нейтральной задержкой. Это делает ее более сложной, чем система с состоянием только с задержкой. Нейронные задержки возникают не только в физических системах, но и в системах управления, где они иногда искусственно добавляются для повышения производительности. Например, повторяющиеся системы управления составляют важный класс нейтральных систем. Критерии стабильности для нейтральных систем можно разделить на два типа: независимые от задержки и зависимые от задержки. Поскольку независимый от задержки тип не учитывает длительность задержки, он, как правило, консервативен. Основные методы изучения зависящих от задержки критериев для нейтральных систем аналогичны тем, которые используются для изучения линейных систем, и основными из них являются преобразования фиксированной модели.

Задержка в производной от состояния придает нейтральной системе особые свойства, не присущие линейным системам. В нейтральной системе нейтральная задержка может быть такой же, как дискретная задержка, или отличается от нее. Критерии в отчетах обычно требуют, чтобы нейтральная задержка была постоянной, либо изменяющейся во времени. Почти все эти критерии учитывают только продолжительность дискретной задержки. Таким образом, они называются зависимыми от задержки и независимыми от нейтральной задержки критериями стабильности.

В данной главе предлагает всесторонний анализ этих различных типов критериев, основанный на подходе FWM. Сначала этот подход используется для исследования систем с переменной во времени дискретной задержкой и постоянной нейтральной задержкой, и получены критерии устойчивости, зависящие от дискретной задержки и независимые от нейтральной задержки. Также можно сказать, что критерий в основанной на преобразовании модели дескриптора, является частным случаем. Кроме того, мы указываем на то, что еще одной причиной консервативности критериев, полученных с использованием неравенства Парка в сочетании с преобразованием модели дескриптора, является то, что при невырожденной матрице коэффициентов терма с дискретной задержкой неравенство Парка приводит к консервативности. Затем для нейтральной системы с

одинаковыми постоянными дискретной и нейтральной задержками мы используем метод функционала Вольтерры с запаздываниями для получения критериев устойчивости, зависящих от задержки; и мы получаем менее консервативные результаты, используя метод функционала Вольтерры с запаздываниями в сочетании либо с параметризованным преобразованием модели, либо с расширенным функционалом Ляпунова-Красовского.

Наконец, для нейтральной системы с различными постоянными дискретной и нейтральной задержками мы используем метод функционала Вольтерры с запаздываниями для получения критерия устойчивости, зависящего от дискретной и нейтральной задержек; и мы показываем, что, когда две задержки идентичны, критерий эквивалентен тому, который получается с использованием метода функционала Вольтерры с запаздываниями для непосредственной обработки идентичных дискретной и нейтральной задержек.

Нейтральные системы с изменяющейся во времени дискретной задержкой

Этот раздел использует метод функционала Вольтерры с запаздываниями для исследования устойчивости нейтральных систем с изменяющейся во времени.

Постановка задачи:

Рассмотрим следующую нейтральную систему с изменяющейся дискретной задержкой:

$$\begin{cases} x(t) - Cx(t - \tau) = Ax(t) + A_d x(t - d(t)), & t > 0, \\ x(t) = \varphi(t), & t \in [-r, 0], \end{cases}$$

где $x(t) \in \mathbb{R}^n$ вектор состояния; A, A_d и C постоянные матрицы с соответствующими размерностями; все собственные значения матрицы C находятся внутри единичного круга; задержка $d(t)$ – это временно-переменная непрерывно дифференцируемая функция удовлетворяющая

$$0 \leq d(t) \leq h$$

И

$$d(t) \leq \mu$$

В контексте исследования нейтральных систем с изменяющимся во времени дискретным запаздыванием важно также рассмотреть вопросы, связанные с их заземлением. Влияние различной задержки на устойчивость системы тесно

связано с эффективностью ее заземления. Это заставляет нас рассмотреть концепцию многократного заземления нейтральной системы, которая играет ключевую роль в обеспечении устойчивости системы при динамических изменениях запаздывания. Такой подход позволяет не только учесть изменения временной задержки, но и обеспечить более надежное и эффективное заземление системы, что важно для обеспечения безопасности и надежности электроэнергетических систем.

Множественно заземленная нейтральная система

На схеме показана система с множественным заземлением нейтрали, широко используемая электросетевыми компаниями в Северной Америке. Чтобы уменьшить доступный ток замыкания на землю, некоторые компании используют реактор с заземлением нейтрали, сохраняя при этом систему с эффективным заземлением.

Множественно заземленная нейтральная (MEN) система заземления – это система, в которой нейтральный провод низкого напряжения используется в качестве низкоомного пути для тока замыкания, а его потенциальное повышение ограничивается путем подключения к земле в нескольких точках по его длине. Нейтральный провод подключается к земле у распределительного трансформатора, у каждого потребителя и на определенных столбах или подземных столбах. Сопротивление между нейтральным проводником распределительной системы и землей не должно превышать 10 Ом в любой точке.

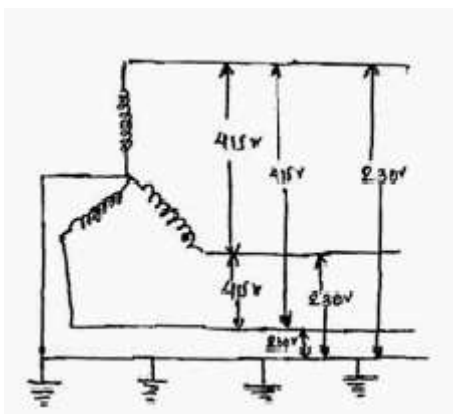


Рисунок 1- Трехфазная четырехпроводная многозаземленная нейтраль

Одно заземленная нейтраль

На схеме видно, что нейтраль также соединена с землей, но нулевой провод протянут вместе с фазными проводами. Представленная конфигурация позволяет размещать электрические нагрузки и трансформаторы между любым из трехфазных проводов, как между фазами, так и/или между фазой и нейтралью.

Это подключение, фаза к нейтрали, заставляет электрический ток протекать через нейтраль обратно к трансформатору. Пока это электрическое подключение допустимо, при условии, что нейтраль изолирована или рассматривается как потенциально заряженная, но будут внесены изменения в будущем, которые отменяют безопасность для общества и животных.

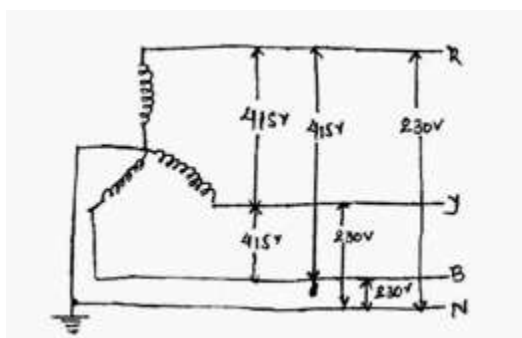


Рисунок 2 - трехфазный четырехпроводный заземлитель с одиночной нейтралью

Список литературы

1. Управление линейными системами нейтрального типа: качественный анализ и реализация обратных связей: монография / В. Е. Хартовский. - Гродно : ГрГУ, 2022. - 499, [1] с.
2. Дифференциальное и интегральное исчисление функций одной переменной : учебное пособие для студентов учреждений высшего образования по физическим специальностям / В. К. Ахраменко [и др.]. – Минск : РИВШ, 2022. – 177 с.: ил.
3. Красовский Н.Н. Управление динамической системой. М.: Наука, 1985. 516 с.
4. Осипов Ю.С. К теории дифференциальных игр систем с последствием // Прикл. математика и механика. 1971. Т. 35, Вып. 2. С. 300–311.
5. Лукоянов Н.Ю., Плаксин А.Р. Дифференциальные игры для систем нейтрального типа: аппроксимирующая модель // Тр. МИАН. 2015. Т. 291. С. 202–214.
6. Hale J. Theory of functional differential Equations. N Y: Springer-Verlag, 1977.

7. Полуэктов А.В., Макаренко Ф.В., Ягодкин А.С. Использование сторонних библиотек при написании программ для обработки статистических данных // Моделирование систем и процессов. – 2022. – Т. 15, № 2. – С. 33-41.

References

1. Control of linear systems of neutral type: qualitative analysis and implementation of feedback: monograph / V. E. Hartovsky. - Grodno: GrSU, 2022. - 499, [1] p.

2. Differential and integral calculus of functions of one variable: a textbook for students of higher education institutions in physical specialties / [V. K. Akhramenko and others]. – Minsk: RIVSH, 2022. – 177 p.: ill.

3. Krasovsky N.N. Dynamic system control. M.: Nauka, 1985. 516 p.

4. Osipov Yu.S. On the theory of differential games of systems with aftereffect // Appl. mathematics and mechanics. 1971. T. 35, Issue. 2. pp. 300–311.

5. Lukoyanov N.Yu., Plaksin A.R. Differential games for systems of neutral type: an approximating model // Proc. MIAN. 2015. T. 291. pp. 202–214.

6. Hale J. Theory of functional differential equations. N Y: Springer-Verlag, 1977.

7. Poluektov A.V., Makarenko F.V., Yagodkin A.S. Using third-party libraries when writing programs for processing statistical data // Modeling of systems and processes. – 2022. – Т. 15, No. 2. – P. 33-41.