

УДК 621.311

DOI: 10.30987/conferencearticle_61c997edca8f04.06007974

ИССЛЕДОВАНИЕ КРИТИЧЕСКОГО ВРЕМЕНИ ПЕРЕРЫВА ПИТАНИЯ ДЛЯ УСПЕШНОСТИ САМОЗАПУСКА

Андрей Станиславович Исаев¹, ASIsaew@nirhtu.ru

Михаил Николаевич Ползиков¹, MNPolzikow@nirhtu.ru

¹канд. техн. наук, доц., доцент каф. «ЭПП»

Новомосковский институт Российского химико-технологического университета им. Д.И. Менделеева, Россия, Новомосковск

Аннотация. Работа посвящена моделированию электромеханических переходных процессов при питании от местного источника. Объект исследования – система электроснабжения химического концерна ООО «Щекиноазот». Получено критическое для сохранения исходного режима время перерыва питания при вариации расчетных условий. Задача оценки успешности самозапуска программно решена в Matlab.

Ключевые слова: динамичная устойчивость, самозапуск, синхронный двигатель, математическое моделирование, критический режим, Matlab.

STUDY OF CRITICAL POWER INTERRUPTION FOR SELFSTARTING SUCCESS

Isaev S. Andrey¹, ASIsaew@nirhtu.ru

Polzikov N. Mikhail², MNPolzikow@nirhtu.ru

^{1,2}Candidate of Technical Sciences, associate professor, associate professors of the department «EPP»

^{1,2}Novomoskovsk Institute (branch) of the FSBEI of higher education «Dmitry Mendeleev University of Chemical Technology of Russia», Russia, Novomoskovsk

Abstract. The work is devoted to modeling electromechanical transients when powered from a local source. The object of the study is TKG-1 «Pervomayskaya CHPP», LLC «Shchekinoazot». The time critical for maintaining the initial mode of power interruption is obtained when the design conditions are varied. The problem of evaluating the success of self-launching is programmatically solved in Matlab.

Keywords: dynamic stability, self-starting, synchronous motor, mathematical modeling, critical mode, Matlab.

Устойчивость как частное свойство устойчивого развития для технической системы означает способность сохранять исходный режим при внешних воздействиях. Для задач эксплуатации наиболее актуальными являются электромеханические переходные процессы, возникающие при самозапуске – восстановлении исходного режима двигательной нагрузкой при незначительном перерыве питания.

Объектом исследования является крупный химический концерн ООО «Щекиноазот» (второе предприятие в Тульской области по величине электропотребления – за последние 5 лет рост годового электропотребления от 620,9 до 654,8 млн. кВтч [1]).

Предприятие имеет два независимых источника – питается от энергосистемы (две ГПП напряжением 110/6,3 кВ) и от «Первомайская ТЭЦ» (установленная мощность 105 МВт). На предприятии значительна доля

высоковольтной нагрузки (основные технологические агрегаты) напряжением 6 кВ, включая генераторную установку в производстве серной кислоты. Особенностью предприятия является то, что основной поставщик электроэнергии – местный источник «Первомайская ТЭЦ» (пгт. Первомайский, Щекинский промышленный узел). В этих условиях нельзя рассматривать систему как источник бесконечной мощности, а саму систему как простейшую (генераторная станция, работающая на шины неизменного напряжения – это условие не выполняется).

Переходный процесс как частный случай электромеханического переходного процесса соответствует основному уравнению движения ротора синхронной машины:

$$T_j \frac{d^2\delta}{dt^2} = T_j \frac{d\omega}{dt} = \Delta M = M_a - M_0, \quad (1)$$

где T_j – постоянная инерции; δ – угол между векторами ЭДС и напряжения; ω – угловая скорость; ΔM – небаланс момента; M_0 – нагрузочный (механический) момент; M_a – асинхронный (электромагнитный) момент.

Теория динамической устойчивости разработана и в полной мере изложена в [2]. Но из-за сложности решения (1) в практических инженерных методиках принимаются допущения: 1. постоянство нагрузочного момента; 2. неизменность напряжения в точке подключения нагрузки; 3. линеаризация (1) в виде замены дифференциалов приращениями (метод последовательных интервалов). Эти упрощения модели приводят к утяжелению расчетных условий. Поэтому они вполне корректны при расчете времени самозапуска (реальное время в любом случае не будет превышать полученное значение), но вносят значительную погрешность в определение предельного времени перерыва питания (полученное значение не будет являться критическим).

Нами построена модель системы электроснабжения типичного современного предприятия в Matlab (библиотека *Simulink*). Она включает в себя источник энергии (элемент *Three-Phase Source*), линии электропередач (*Three-Phase PI Section Line*), силовой трансформатор (*Three-Phase Transformer*), нагрузку (*Synchronous Machine*), коммутационные аппараты (*Three-Phase Breaker*), нагрузка на шинах 6 кВ (*Three-Phase Series RLC Load*) и средства изменения (*Three-Phase V-I Measurement*). Используются наработки и алгоритмы [3]. Отличие нашей модели в том, что сеть предприятия рассматривается комплексно как некоторая целостность, на всех уровнях электроснабжения.

Установлено, что для оптимального решения программой уравнения (1) необходимо принять шаг дискретизации (интегрирования) 2 мкс. Для этого в рабочем поле (*Workspace*) необходимо переопределить системную переменную в виде « $T_s=2e-06$ ». Оптимальной вычислительной процедурой является разновидности функции *ode23* (*ode23*, *ode23s*, *ode23tb*), реализующие метод Рунге-Кутты второго/третьего порядка с переменным шагом. Функции

с постоянным (фиксированным) шагом (ode1- ode5) к решению (1) не приводят.

Наиболее типичным для объекта исследования является синхронный двигатель СТД-1600-23У5. Для него проведено моделирование самозапуска при вариации расчетных условий: время перерыва питания, величина напряжения предшествующего режима, коэффициент мощности, суммарная длина питающих кабельных линий. В базе Matlab отсутствует номенклатура электрооборудования РФ, поэтому параметры схемы замещения синхронного двигателя необходимо рассчитывать (использованы материалы [4]).

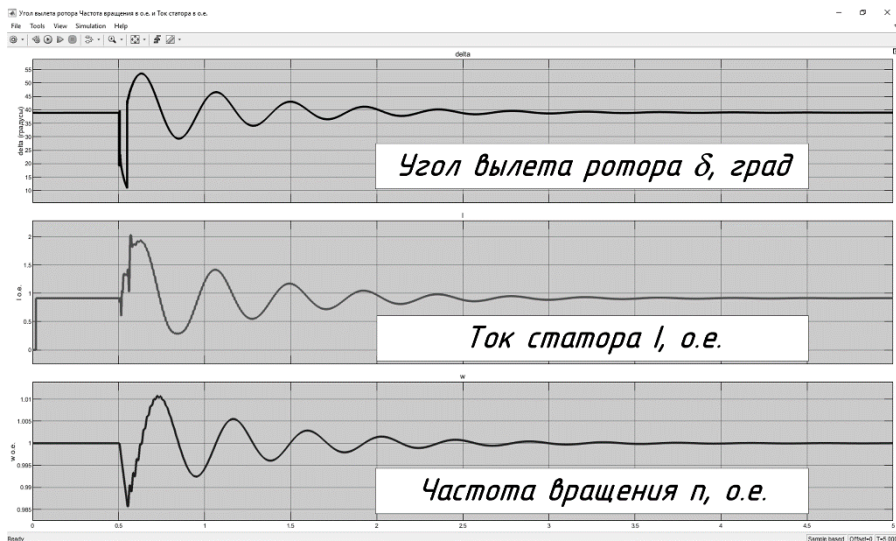


Рисунок 1 – Результаты моделирования самозапуска

Режим моделируется изменением состояния коммутатора *Breaker* (таким же образом, можно задавать и неполнофазный режим). В поле «*Switching times*» вводятся два параметра, время коммутации – соответственно отключения и включения (в секундах). На рис. 1 показаны результаты моделирования самозапуска при времени перерыва питания 0,05 с (задано время коммутации 0,5 и 0,55 с). В данном случае режим является динамически устойчивым – нагрузка восстанавливает исходный режим при времени самозапуска 2,5 с. С увеличением времени перерыва питания определяем критическое время (при большем значении самозапуск неудачен, двигатель останавливается). Результаты расчета критического времени при изменении расчетных условий приведены на рис. 2.

Универсальным способом улучшения самозапуска является уменьшение времени перерыва питания, основанное на использовании быстродействующей автоматики. Но на практике для объекта исследования он практически неприменим (повысить быстродействие имеющихся устройств АВР не представляется возможным). Вторым методом является уменьшение

загрузки двигателя (рис.2-а) – это очевидно, т.к. нагрузочный момент M_0 прямо пропорционален коэффициенту загрузки K_3 (в относительных единицах они эквивалентны). Но на практике подобное уменьшение ограничено технологией – при снижении нагрузки на наиболее ответственных потребителях их самозапуск будет уже неактуален из-за нарушения технологического процесса. Поэтому при анализе критического времени нами варьировались коэффициент мощности $\cos\varphi$, напряжение в узле подключения нагрузки U , длина (как следствие – сопротивление) питающих линий L_Σ (изменялась относительно проектного значения L).

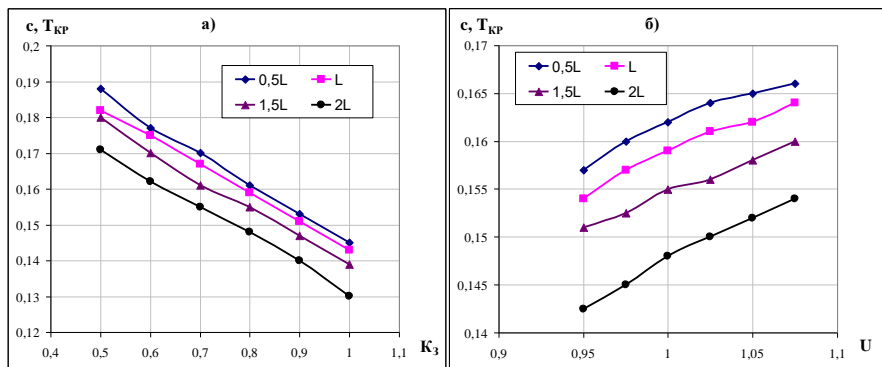


Рисунок 2 – Изменение критического времени при вариации расчетных условий

Таким образом, показана возможность моделирования режима в Matlab, корректность которого подтверждается теоретическими положениями. Для объекта исследования условия обеспечения самозапуска практически сводятся к мероприятиям, улучшающим динамическую устойчивость (повышение напряжения, уменьшение суммарного сопротивления).

Список литературы

1. Постановление Правительства Тульской области №199 от 29.04.2020. Об утверждении схемы и программы развития электроэнергетики Тульской области на 2021-2025 годы.
2. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. М.: Высшая школа, 1985. – 536 с.
3. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. М.: ИД Питер, 2007. – 288 с.
4. Гамазин С.И., Ставцев В.А., Цырук С.А. Переходные процессы в системах промышленного электроснабжения, обусловленные электродвигательной нагрузкой. – М.: Изд-во МЭИ, 1997. – 421 с.

Материал принят к публикации 27.09.21.