

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА СТАБИЛИЗАЦИИ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ НА ОСНОВЕ АВТОНОМНЫХ ИНВЕРТОРОВ ТОКА

Митяшин Н. П., Миргородская Е. Е., Нугаев Э. К., Ширяева Л. Н.
Саратовский государственный технический университет, г. Саратов
Тел. +7(845-2)79-44-91 E-mail: yugol@sstu.ru

Аннотация. Описываются пути повышения качества стабилизации выходного напряжения преобразователей частоты для питания групповой нагрузки на основе автономных инверторов тока. Рассматриваются мероприятия как по оптимизации регулятора, так и по модернизации силовой части схемы.

Ключевые слова: преобразователь частоты, автономный инвертор тока, стабилизация, оптимизация, модернизация.

Постановка задачи

Преобразование частоты требуется для потребителей, нуждающихся в нестандартной частоте. В частности таким потребителем является групповая двигательная нагрузка цеха внутришлифовальных станков. Функциональное назначение и условия эксплуатации нагрузки предъявляют к источнику электропитания ряд требований, среди которых одним из основных является поддержание с требуемой точностью заданных значений выходного напряжения при изменении нагрузки и напряжения исходной сети [1].

Существующие системы стабилизации, как правило, обладают либо низким быстродействием, либо допускают кратковременные броски напряжения и тока в силовой части схемы. Причина – трудности оптимизации динамических свойств системы из-за отсутствия адекватной динамической модели преобразователя. К тому же, при синтезе системы стабилизации часто не учитывается сильное влияние величины нагрузки на динамику преобразователя. Поэтому по-прежнему остается актуальной проблема поиска решения, обеспечивающего повышение качества стабилизации напряжения в автономных системах электропитания динамичной нагрузки. В связи с этим в настоящей работе предлагается вариант построения системы стабилизации выходного напряжения преобразователей частоты для питания групповой двигательной нагрузки (ГДН) на основе автономных инверторов тока (АИТ). Идея модернизации заключается в придании системе свойств адаптации к изменению величины и характера нагрузки за счет соответствующего изменения параметров регулятора и структуры силовой части схемы.

Методы решения

В процессе решения общей поставленной задачи решались следующие частные задачи.

1. Идентификация преобразователя, как динамического звена при фиксированной статической нагрузке.
2. Синтез регулятора системы стабилизации для фиксированных значений статической нагрузки и последующего синтеза адаптивного регулятора на основе нейронной сети по методу Такаги-Сугено [2].
3. Разработка схем АИТ с переменной структурой для исключения чрезмерных потерь мощности и ухудшения качества кривой выходного напряжения при компенсации избыточной реактивной мощности коммутирующих конденсаторов (КК) [3].
4. Разработка системы управления структурой АИТ в функции величины и характера нагрузки.

Идентификация преобразователя, как динамического звена при фиксированной статической нагрузке в настоящей работе производится таким образом, чтобы полученная модель могла быть непосредственно использована при аналитическом синтезе регулятора. В качестве объекта идентификации рассматривается автономный инвертор, на входе которого включен фильтр звена постоянного тока, поскольку именно эта часть преобразователя содержит инерционные звенья, определяющие динамические свойства преобразователя.

Рассматривается как дискретная модель преобразователя, адекватно отображающая импульсную природу инвертора, так и непрерывная модель по огибающей переходных процессов всех инерциальных токов и напряжений преобразователя. При этом дифференциальный порядок непрерывной модели соответствует максимальному порядку линейных структур, возникающих в процессе переключений управляемых клапанов инвертора.

Воспользуемся методом одного интервала, изложенного, например, в [3]. В соответствии с этим методом, существует интервал симметрии структур инвертора, длительность которого τ равна шестой части периода для трехфазных мостовых схем. Структуры, возникающие в остальные интервалы, подобны структурам этого интервала. При этом непрерывный вектор переменных состояния может быть однозначно преобразован к

разрывному вектору \vec{x} , для которого значения в начальные моменты любых двух последовательных интервалов \vec{x}_n и \vec{x}_{n+1} связаны соотношением:

$$\vec{x}_{n+1} = Ke^{A\tau} \vec{x}_n + K(e^{A\tau} - E)A^{-1} \vec{b} u.$$

Здесь A – матрица дифференциального уравнения для структуры первого интервала

$$\dot{\vec{x}} = A \vec{x} + \vec{b} u,$$

$e^{A\tau}$ – матричная экспонента, \vec{b} – постоянный вектор, u – величина входного напряжения инвертора, являющаяся для него управляющим воздействием, K – матрица преобразования симметрии.

Обозначив $D = Ke^{A\tau}$ и $\vec{d} = K(e^{A\tau} - E)A^{-1} \vec{b}$, получим искомую дискретную модель:

$$\vec{x}_{n+1} = D \vec{x}_n + \vec{d} u.$$

Для получения непрерывной модели инвертора вводится непрерывная «огибающая» вектор-функция $y(t)$, для которой $y(n\tau) = y_n = \vec{x}_n$. Дифференциальное уравнение для этого огибающего вектора имеет вид

$$\dot{y} = S y + f u,$$

где

$$S = \frac{1}{\tau} \ln D, \quad f = S(e^{S\tau} - E)^{-1}(e^{S\tau} - K)A^{-1} \vec{b}.$$

В формуле для матрицы непрерывной модели S рассчитывается матричный логарифм. Этот расчет представляет наибольшие вычислительные трудности, связанные с нахождением

собственных чисел матрицы D и последующим применением формулы Лагранжа – Сильвестра [4].

Наличие динамических моделей преобразователя для различных величин нагрузки позволяет для каждой из них найти параметры регулятора, обеспечивающего приемлемую динамику стабилизации. Для использования этих результатов при изменяющейся в реальной масштабе времени нагрузки предлагается использовать метод адаптации Такаги-Сугено [2]. В рассматриваемом случае это сводится к применению нечеткой нейронной сети (НС) для распознавания области пространства «ток нагрузки - коэффициент мощности нагрузки - напряжение питающей сети» и последующего расчета соответствующих результату распознавания значений коэффициентов регулятора.

Помимо регулирования напряжения звена постоянного тока стабилизация выходного напряжения АИТ достигается также за счет стабилизации коэффициента передачи инвертора по напряжению, что неизбежно влечет применение компенсаторов избыточной реактивной мощности конденсаторной батареи (КБ). Это приводит к потерям энергии и снижению качества кривой выходного напряжения. Для минимизации этого авторами предлагаются схемы АИТ с переменной структурой КБ. Применение таких схем целесообразно в преобразователях для питания групповой двигательной нагрузки, в которой мощность каждого двигателя группы не превышает 3-5% мощности всей нагрузки. Такая ситуация характерна, например, в цехах внутришлифовальных станков подшипниковых заводов.

Управление структурой АИТ осуществляется модернизированной НС, исключаяющей «колебание» структуры на границах распознаваемых областей.

Полученные результаты

Предложенные схемы преобразователей и алгоритмы регулирования исследованы на компьютерных моделях. В диапазоне нагрузки от номинальной до десятикратной разгрузки и при 5% набросе и сбросе нагрузки адаптивная система стабилизации обеспечивает не более, чем 5-7 % отклонение напряжения от номинального значения в течение 10-15 периодов частоты выходной частоты.

Литература

1. Зиновьев Г. С. Основы силовой электроники. – Новосибирск: НГТУ, 2003. – 664 с.
2. Рутковская Д., Пилинский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. Пер. с польск. И.Д. Рудинского. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 452 с.
3. Митяшин Н. П. Гибкие преобразовательные комплексы / Н. П. Митяшин, Ю. Б. Томашевский. Саратов: СГТУ, 2002, 128 с.
4. Беллман Р. Введение в теорию матриц /Р. Беллман. М., 1969 г., 368 с.