

ПОЛИГРАФИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

УДК 621.316.71

Д. А. Анкуда, ассистент (БГТУ)

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ «ЭЛЕКТРОННЫЙ РЕДУКТОР» ДЛЯ ДВУХДВИГАТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЛИСТОРЕЗАЛЬНОЙ МАШИНЫ 2ЛР2-120

Разработан многодвигательный электропривод для листорезальной машины на основе асинхронных электродвигателей и преобразователей частоты с векторным управлением. Предлагается система автоматического управления, обеспечивающая требуемую разность скоростей исполнительных механизмов.

Developed electric drive multimotors on based asynchronous motors with frequency converters with vector control for paper cutting machine. Offered the automatic control system that provides the required difference velocity of actuators.

Введение. Машина листорезальная ротационная 2ЛР2-120 предназначена для поперечной резки рулонной бумаги или картона на листы заданного формата и может быть использована на полиграфических, бумажных, беловых, картонажных и других предприятиях, перерабатывающих указанные материалы [1].

В соответствии с техническими характеристиками, листорезальная машина должна удовлетворять следующим требованиям:

- длина отрезаемых листов 52–140 см;
- диапазон регулирования рабочей скорости 20–180 рез/мин;
- число резов в минуту устанавливается в зависимости от вывода и укладки листов в стопу, на что влияет плотность и качество разрезаемой бумаги и длина отрезаемых листов;
- отклонения длины отрезаемых листов не должны превышать ± 2 мм.

Листорезальная машина состоит из двух частей: основной части машины и рулонной зарядки. Основная часть машины включает в себя механизм резания, цилиндр мерный, выводное устройство и приемку листов. Главной технологической операцией, выполняемой на машине, является резка рулонной бумаги или картона на листы и укладка их в стопу при высокой точности.

Машина предназначена для резки бумаги с двух рулонов одновременно. Они устанавливаются в рулонной зарядке посредством рычагов с выдвигаемыми конусами (бесшпиндельная зарядка). Для каждого рулона имеется колодочный тормоз регулировки натяжения бумаги. Размотка ее с рулонов и подача в механизм резания производится мерным цилиндром с ведущими валиками.

Разрезка материала, движущегося с постоянной скоростью, производится ножом, укрепленным на вращающемся барабане. Изменение

длины отрезаемых листов производится изменением скорости вращения барабана с ножом. Это достигается установкой на валу привода барабана сменного зубчатого колеса с соответствующим числом зубьев. Число зубьев сменного зубчатого колеса соответствует длине отрезаемого листа в сантиметрах.

Для повышения эффективности рулонной бумагорезальной машины предлагается установка индивидуальных управляемых электроприводов на валы резального барабана и мерного цилиндра. Это обеспечит простоту регулировки процесса резания на любой формат, подходящий под размеры машины. Исчезает необходимость в замене сменных зубчатых колес для изменения скорости вращения режущего барабана.

Экономический эффект ожидается от сокращения времени на переналадку машины на иной формат; упрощения обслуживания за счет упрощения кинематической схемы; повышения точности (сложная изношенная кинематическая схема имеет значительный люфт); получения возможности плавно изменять формат отрезаемых листов в широком диапазоне.

Основная часть. Для оснащения двухрулонной листорезальной машины 2ЛР2-120 многодвигательным электроприводом необходимо провести выбор двигателей по мощности для исполнительных механизмов и разработать систему автоматического управления, обеспечивающую согласованную работу двух электроприводов с поддержанием требуемой разницы их скоростей.

Схема протяжки бумаги и основные исполнительные механизмы листорезальной машины приведены на рис. 1. Механизм резания представляет собой барабан 5, установленный в подшипники качения, с закрепленным на нем ножом.

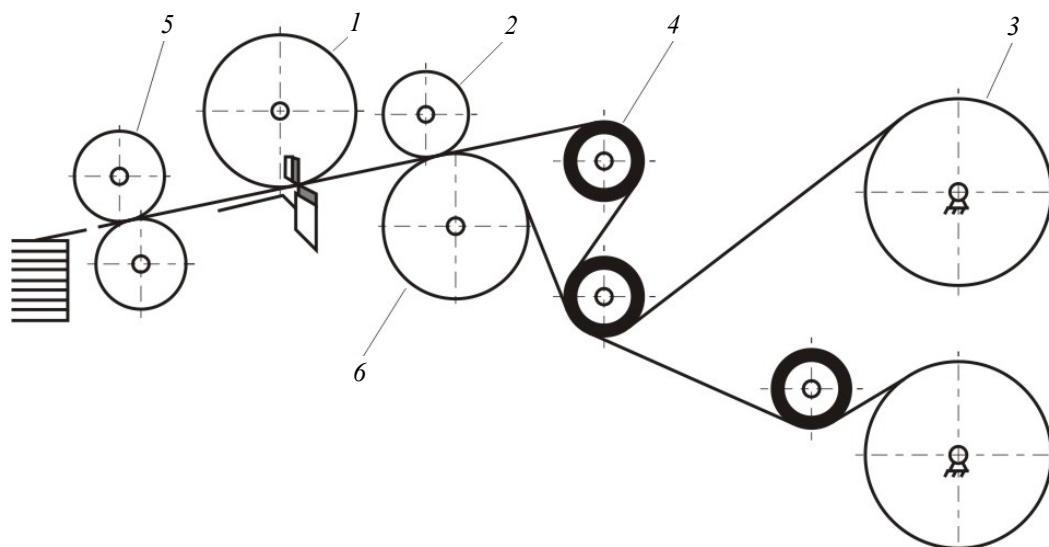


Рис. 1. Схема протяжки бумаги:
 1 – барабан; 2 – ведущий ролик; 3 – рулон бумаги; 4 – обрезиненные валики;
 5 – выводные валики; 6 – мерный цилиндр

Барабан снабжен ленточным тормозом. Неподвижный нож на траверсе устанавливается по выставленному подвижному ножу на барабане регулировочными винтами так, чтобы рез был ровным и чистым, и закрепляется болтами.

Определяем мощность двигателя для привода барабана.

Расчет будем вести для самого тяжелого случая – разрезка картона толщиной 0,8 мм при максимальной ширине рулона 1200 мм на скорости 180 рез/мин.

Сила P , необходимая для разрезки слоя картона, составляет

$$P = kpL, \quad (1)$$

где $k = 1,5$ – коэффициент затупления ножа; $p = 400$ Н/см – погонное усилие резания; $L = 120$ см – ширина материала [2].

Подставив значения в формулу (1), получим

$$P = 1,5 \cdot 400 \cdot 120 = 72\,000 \text{ Н.}$$

Работа сил резания

$$A = PS, \quad (2)$$

где $S = 0,8$ мм – толщина одного листа картона.

Отсюда

$$A = 72\,000 \cdot 0,8 \cdot 10^{-3} = 57,6 \text{ Дж.}$$

Средняя мощность, необходимая для разрезки слоя картонного полотна, составляет

$$N = \frac{A}{t_{\text{ц}} \eta}, \quad (3)$$

где $\eta = 0,95$ – коэффициент полезного действия; $t_{\text{ц}} = 60/n$ – время цикла; $n = 180$ об./мин – максимальная скорость работы машины [1].

Средняя мощность, требуемая для разрезки одного листа картона, для случая максимальной скорости работы машины составит

$$N = \frac{57,6 \cdot 180}{60 \cdot 0,95} = 181,9 \text{ Вт.}$$

Выбираем трехфазный асинхронный двигатель АИР63А4 со следующими характеристиками [3]:

- номинальная мощность $P_{\text{ном}} = 250$ Вт;
- номинальная частота вращения $n = 1350$ об./мин;
- номинальное фазное напряжение $U_{\text{ном}} = 220$ В;
- номинальная частота тока $f_{\text{ном}} = 50$ Гц;
- номинальный КПД $\eta_{\text{ном}} = 68\%$;
- номинальный коэффициент мощности $\cos\varphi_{\text{ном}} = 0,67$;
- момент инерции ротора $J = 1,2 \cdot 10^{-3}$ кг·м².

Основными элементами механизма протяжки бумаги являются мерный цилиндр b и верхний вал с роликами. Цилиндр мерный предназначен для точной подачи бумажной (картонной) ленты в механизм резания. Ролики прижимаются к цилиндру при помощи грузов через рычажную систему, усилие прижатия устанавливается в зависимости от сорта и качества разрезаемого материала путем перемещения грузов на их направляющих. Мерный цилиндр получает вращение от индивидуального привода. Верхние ведущие ролики приводятся в движение через пару цилиндрических зубчатых колес от мерного цилиндра.

Определим требуемую мощность электропривода мерного цилиндра для самого тяжелого случая – разматывания рулона картона шириной 120 см и толщиной 0,8 мм (плотность

400 г/м²) на максимальной скорости. Сила натяжения полотна описывается выражением

$$F = 0,001bK\rho, \quad (4)$$

где b – ширина рулона, см; K – специфический фактор материала, (Н·м²)/(г·см); ρ – поверхностная плотность материала, г/м² [4].

Тогда для случая размотки одного рулона картона шириной 100 см [1] (специфический фактор $K = 50$ (Н·м²)/(г·см), плотность $\rho = 700$ г/м² [4]) натяжение составляет

$$F = 0,001 \cdot 100 \cdot 50 \cdot 700 = 3500 \text{ Н.}$$

Максимальная скорость движения ленты картона в машине по паспорту наблюдается при скорости работы 100 рез/мин при длине отрезаемого листа в 900 мм (0,9 м). Таким образом, максимальная линейная скорость подачи материала

$$v = \frac{100 \cdot 0,9}{60} = 1,5 \text{ м/с.} \quad (5)$$

Расчетная мощность для выбора электродвигателя

$$P = Fv. \quad (6)$$

$$P = 3500 \cdot 1,5 = 5250 \text{ Вт.}$$

Угловая скорость вращения мерного цилиндра радиусом $R = 0,16$ м при максимальной скорости движения ленты

$$\omega = \frac{v}{R} = \frac{1,5}{0,16} = 9,375 \text{ с}^{-1}. \quad (7)$$

Момент статического сопротивления на валу мерного цилиндра

$$M = FR = 3500 \cdot 0,16 = 560 \text{ Н·м.} \quad (8)$$

На основе полученных данных по каталогу выберем трехфазный асинхронный двигатель АИР112М4У3 со следующими характеристиками [3]:

- номинальная мощность $P_{\text{ном}} = 5500$ Вт;
- номинальная частота вращения $n = 1446$ об./мин.
- номинальное фазное напряжение $U_{\text{ном}} = 220$ В;
- номинальная частота тока $f_{\text{ном}} = 50$ Гц;
- номинальный КПД $\eta_{\text{ном}} = 85,5\%$;
- номинальный коэффициент мощности $\cos\varphi_{\text{ном}} = 0,85$;
- момент инерции ротора $J = 17 \cdot 10^{-3}$ кг·м².

Привод механизмов ножа и мерного цилиндра предлагается осуществлять от соответствующих мотор-редукторов. Для согласования скоростей валов электродвигателей и исполнительных механизмов предлагаются следующие редукторы:

– механизм ножа: двухступенчатый цилиндрический редуктор R07 фирмы SEW Eurodrive (Германия) с передаточным числом 7,48 и максимальным моментом на выходном валу 43 Нм;

– механизм мерного цилиндра: двухступенчатый цилиндрический редуктор R67 фирмы SEW Eurodrive с передаточным числом 15,79 и максимальным моментом на выходном валу 580 Нм.

Данные редукторы обеспечивают требуемые диапазоны скоростей валов исполнительных механизмов машины.

Электродвигатели электроприводов исполнительных механизмов должны работать на разных режимах, которые характеризуются своими величинами скоростей (диапазон работы по паспорту машины – 20–180 рез/мин).

Пуск и остановка двигателей должны всегда производиться с заданной интенсивностью, которая в случае мерного цилиндра ограничивается большой инерционностью вращающихся рулонов бумаги.

Валы приводов мерного цилиндра и барабана с ножом должны вращаться со строго заданным рассогласованием скоростей, поддерживаемым с высокой точностью (допустимое отклонение длины отрезаемых листов в ± 2 мм может быть обеспечено при точности поддержания разности скоростей меньше 0,2%).

Эти условия определяют необходимость использования регулируемого электропривода с векторным управлением. Для практической реализации векторного управления предлагается применить преобразователи с векторным управлением Movidrive 60 А фирмы SEW Eurodrive.

Функциональная схема системы автоматического управления (САУ) двухдвигательным электроприводом листорезальной машины представлена на рис. 2. Электропривод исполнительных механизмов построен по схеме преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором (рис. 2). В преобразователях частоты ПЧ1 и ПЧ2 реализовано векторное управление с поддержанием постоянства потокосцепления ротора на номинальном значении. В системе управления каждым электроприводом М1 и М2 с помощью датчиков Д1 и Д2 реализован контур отрицательной обратной связи по скорости.

Настройка регуляторов и проверка работоспособности двухдвигательного электропривода листорезальной машины проводились путем имитационного моделирования в программе Simulink пакета Matlab 6.5. Модель системы автоматического управления «Электронный редуктор» в программе Simulink представлена на рис. 3.

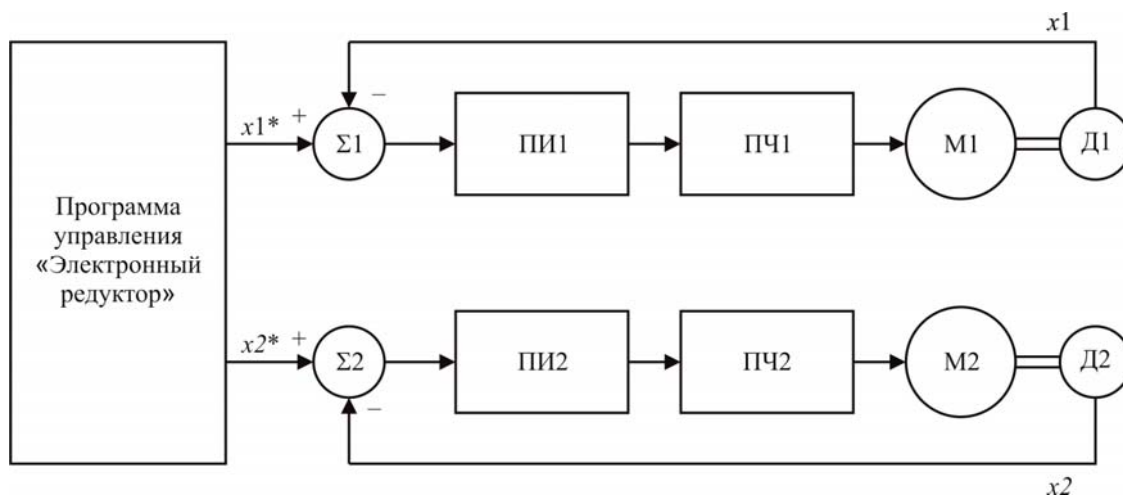


Рис. 2. Функциональная схема управления электродвигателями

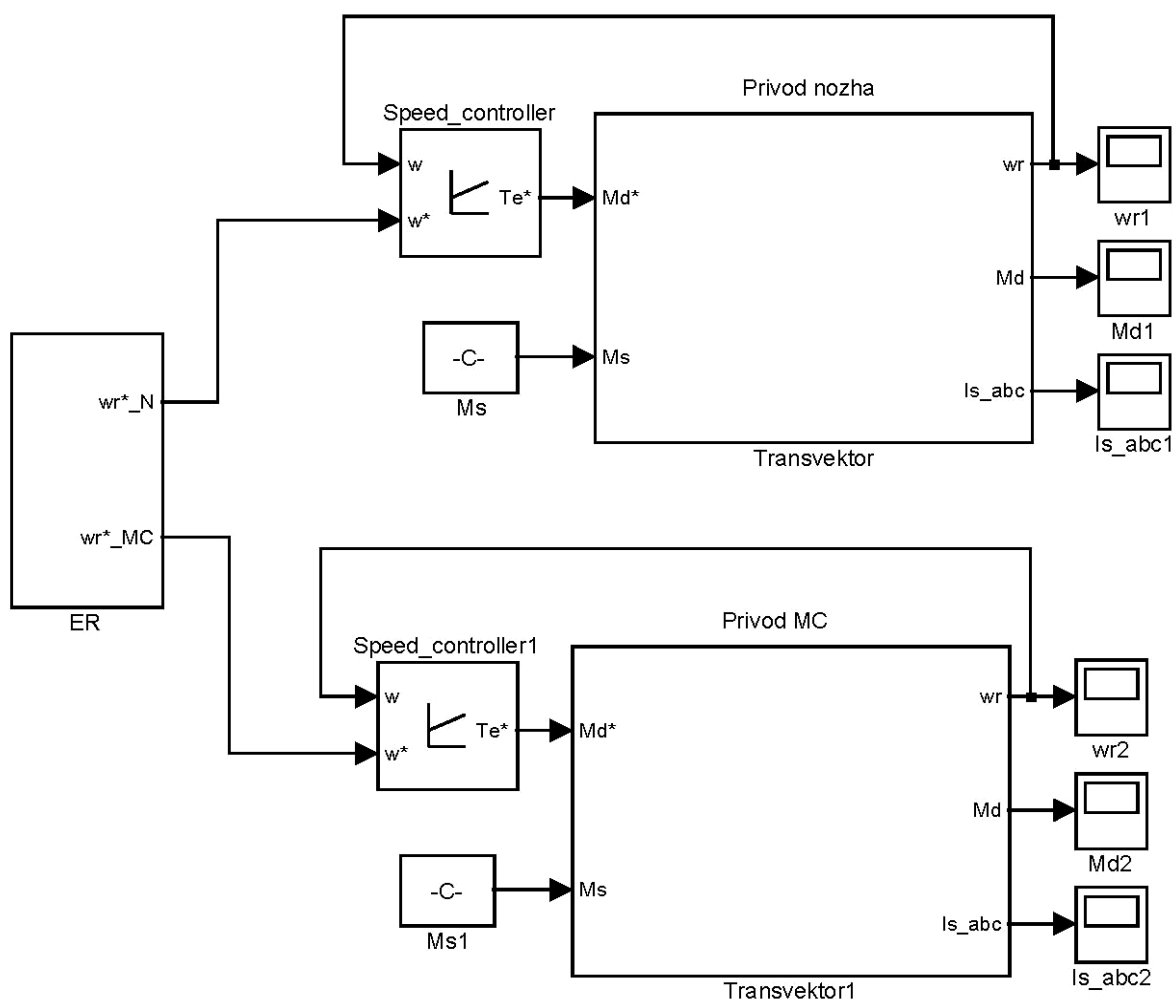


Рис. 3. Модель двухдвигательного электропривода в программе Simulink

На рис. 4 представлена структура блока «Электронный редуктор», который формирует сигналы задания для пары электроприводов исполнительных механизмов. Ведущим в паре является электропривод мерного цилиндра, поскольку он обеспечивает точность и равномерность размотки бумажной ленты.

С пульта управления машины задается скорость электропривода ножа (определяет производительность листорезальной машины). Программа управления на основании производительности рассчитывает требуемую скорость привода мерного цилиндра и формирует сигналы задания $x1^*$ и $x2^*$ для электроприводов.

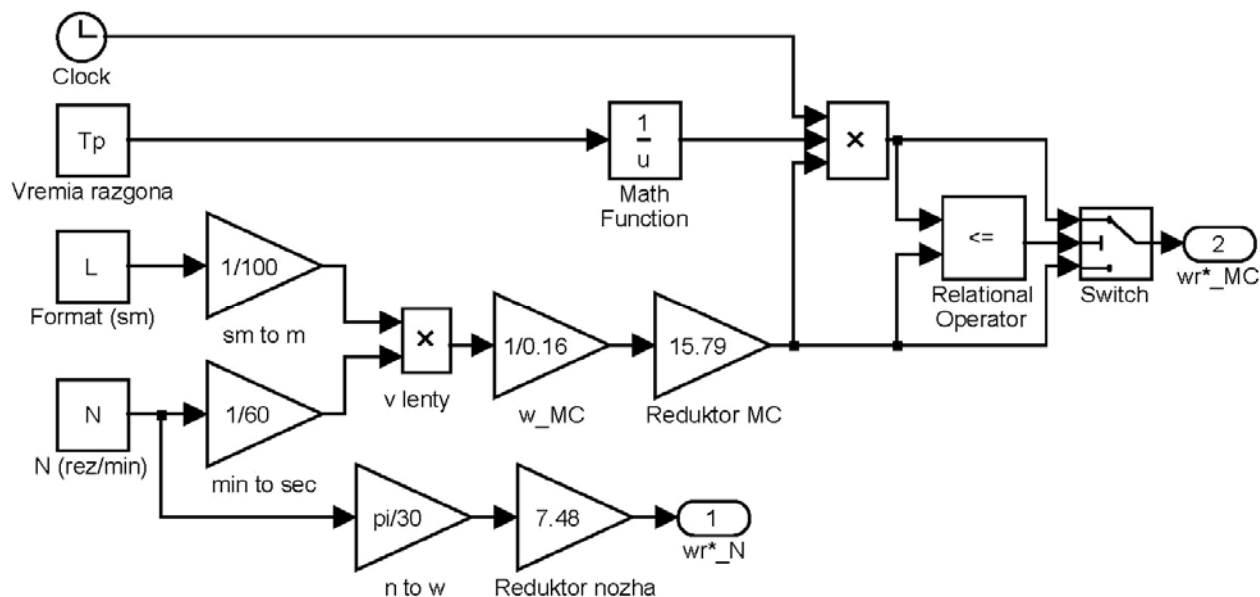


Рис. 4. Структура блока «Электронный редуктор» в программе Simulink

Ограничивающим фактором является скорость движения ленты: для обеспечения точной укладки листов в стопу она не должна превышать 1,8 м/с при размотке бумаги и 1,5 м/с при размотке картона. Поэтому для заданной с пульта длины отрезаемых листов определяется максимальная производительность машины и вырабатывается запрет на ввод значения рабочей скорости выше допустимой.

Входными данными для блока «Электронный редуктор» являются длина отрезаемых листов (в сантиметрах) и скорость работы ножа (количество резов в минуту). Программа определяет требуемые скорости работы электродвигателей с учетом заданных параметров и передаточных чисел электроприводов.

Дополнительно блок «Электронный редуктор» реализует управляемый пуск электропривода мерного цилиндра, при котором рулон будет плавно разгоняться до рабочей скорости. Интенсивность разгона определяется временем разгона, которое так же задается с пульта управления.

Путем моделирования было установлено, что при заданных длине листа 60 см и скорости работы машины 150 рез/мин скорости электроприводов в установившемся режиме составляют $147,3 \text{ с}^{-1}$ для мерного цилиндра и $117,7 \text{ с}^{-1}$ для барабана с ножом, что соответствует длине отрезаемого листа 59,96 см. Таким образом,

отклонение длины отрезаемых листов составляет 0,4 мм при паспортном значении $\pm 2 \text{ мм}$.

Закключение. Результатом исследований стала разработка системы автоматического управления электроприводами механизмов ножа и мерного цилиндра листорезальной машины на основе асинхронных электродвигателей с преобразователями частоты.

Путем имитационного моделирования была проведена настройка ПИ-регуляторов для управления электроприводами. Результаты моделирования показали, что предлагаемая система управления двухдвигательным электроприводом обеспечивает требуемую величину рассогласования скоростей исполнительных механизмов, при которой точность резания превышает исходные паспортные значения.

Литература

1. Техническая документация на рулонную бумагорезальную машину 2ЛР2-120.
2. Хведчин Ю. И. Послепечатное оборудование: учеб. пособие: в 2 ч. М.: МГУП, 2003. Ч. I: Брошюровочное оборудование. 466 с.
3. Лихачев В. Л. Электродвигатели асинхронные. М.: СОЛОН-Р, 2002. 304 с.
4. Техника флексографской печати: учеб. пособие / пер. с нем.; под ред В. П. Митрофанова, Б. А. Сорокина. М.: Изд-во МГУП, 2000. 192 с.

Поступила 20.03.2014