

Анкуда Д. А., студент; Беляев В. П., доцент

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА С УЛУЧШЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

This article is the overview of new electro drive control method and a suggestion of technical solution for practical application of given method.

Анализ таких электромеханических систем, как электропривод, используемых в полиграфическом оборудовании в качестве основного источника механической энергии, показывает, что его механическая часть представляет собою многосвязную, многоэлементную систему, в составе которой, кроме ротора (якоря) двигателя и исполнительных органов, имеется многочисленное количество кинематических передач различного типа (шестеренчатые, цепные, винт-гайка, конические, червячные и т. п.). Движущиеся с различными скоростями элементы этой системы характеризуются значительными моментами инерции. Это же относится и к исполнительным органам полиграфических машин, каковыми являются формные и печатные цилиндры, ножи резальных машин, плиты прессов и т. п.

Приведенные моменты инерции этих органов или сопоставимы, или превышают моменты инерции вращающихся частей электромеханического преобразователя — ротора (якоря) электродвигателя. Особенно это относится к исполнительным органам, вращающимся со скоростями большими, чем скорости вала приводного двигателя. Такая ситуация предопределяет необходимость создания больших динамических моментов электроприводов для приведения в движение полиграфического оборудования.

Большие динамические моменты, возникающие в процессе пуска, негативно влияют на износ механической части электропривода и на долговечность самого механического оборудования. Кроме этого, указанные процессы сопровождаются значительными бросками тока, превышающими в несколько раз номинальное значение, а значит, и существенными потерями мощности, существенным нагревом двигателя.

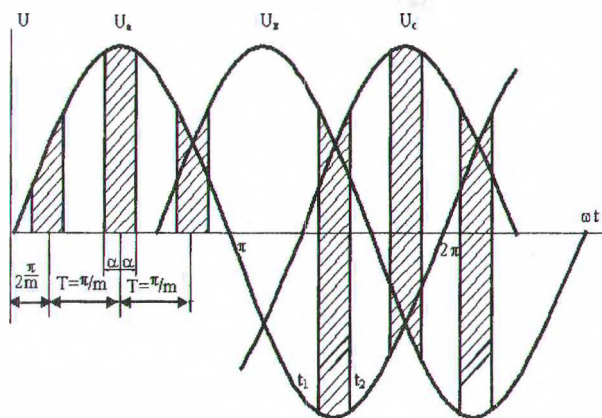


Рис. 1

Эти броски пускового тока, протекающие по обмоткам двигателя, создают в них динамические усилия, приводящие к вибрациям обмоток статора и ротора двигателя и его механической части.

Для устранения этих недостатков следует формировать динамические процессы полиграфического оборудования, т. е. формировать в течение времени переходного процесса значение момента электродвигателя с целью минимизации этого времени или создания ограниченной по ускорению данного оборудования. Этот вопрос решается в различных по типу системах управляемого электропривода постоянного и переменного тока разными способами.

Регулируемый электропривод постоянного тока имеет два канала управления: по цепи обмотки якоря (силовой канал) и по цепи обмотки возбуждения (слаботочный канал). В силовом канале управления имеется щеточно-коллекторный узел, через который проходит основной поток мощности. Этот узел ограничивает максимальное значение тока, а значит — электромагнитный момент двигателя и, следовательно, быстродействие электропривода. Кроме этого, двигатель постоянного тока в силу своей конструкции требует больших капитальных и эксплуатационных затрат.

Двигатель переменного тока проще по конструкции, требует меньших по сравнению с двигателем постоянного тока капитальных и эксплуатационных затрат, однако имеет один канал управления: обмотки статора. В электроприводах переменного тока на основе короткозамкнутого асинхронного двигателя управляемое формирование динамического момента может реализоваться или изменением питающего электродвигатель напряжения, или частотным способом. Частотный способ управления асинхронным двигателем наиболее универсален и обладает высокой регулируемостью, но сопряжен с использованием преобразователя частоты со сложной схемой его силовой части и сложной системой управления. Для достаточно простых задач типа только управляемого пуска и торможения целесообразно использовать для формирования динамического момента изменение напряжения, поступающего на обмотки статора двигателя, т. е. так называемое параметрическое управление. Известно, что момент, развиваемый электродвигателем переменного тока, пропорционален квадрату напряжения,

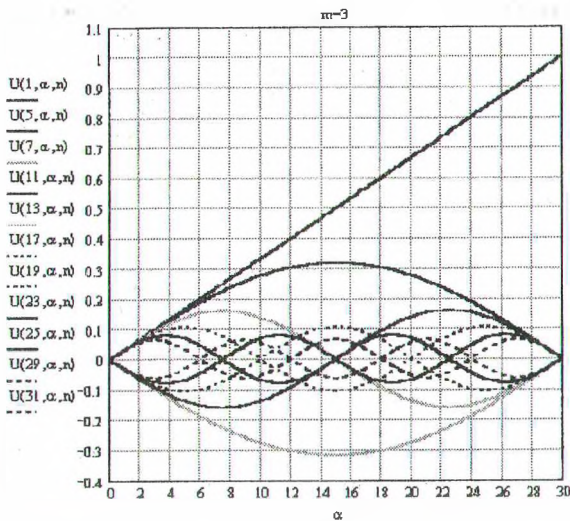


Рис. 2. Зависимость амплитуд гармоник от угла управления при $m = 3$

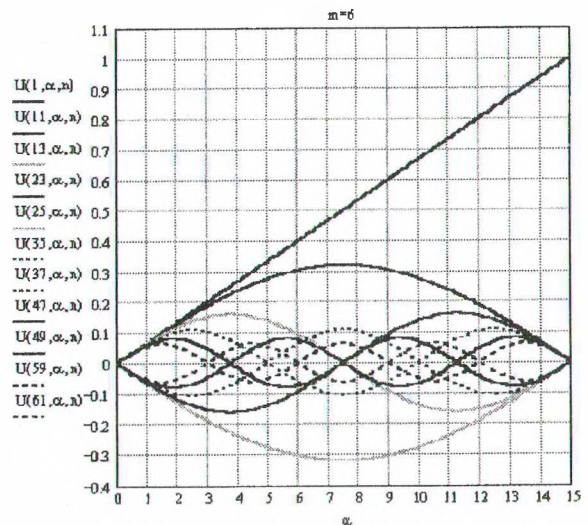


Рис. 3. Зависимость амплитуд гармоник от угла управления при $m = 6$

прикладываемого к обмоткам статора двигателя. Механическая характеристика $M = f(s)$ асинхронного двигателя описывается следующим выражением:

$$M_{\text{дв}} = \frac{3U_{\phi}^2 \frac{R_2'}{s}}{\omega_0 \left[\left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + x_k^2 \right]}$$

из которого ясно видна зависимость момента от напряжения (здесь U_{ϕ} — фазное напряжение, питающее обмотки статора асинхронного двигателя). Можно выделить следующие недостатки данного способа:

- с уменьшением напряжения уменьшаются значения пускового и максимального значения момента двигателя;
- диапазон регулирования скорости мал;
- модуль жесткости статических характеристик уменьшается, что способствует ухудшению точности регулирования.

Для реализации такого способа регулирования между питающей сетью и обмотками статора двигателя включается преобразователь напряжения (регулятор напряжения). В его роли могут выступать электромашинный преобразователь, электростатический аппарат (автотрансформатор, фазорегулятор, индукционный регулятор) или полупроводниковый преобразователь (транзисторный, тиристорный, симисторный). Каждый из указанных преобразователей имеет свои преимущества и недостатки в изготовлении и в эксплуатации, и его применение обосновывается в каждом конкретном случае технико-экономическим расчетом. В настоящее время получили распространение полупроводниковые преобразователи. Теория и практика применения полупроводниковых пре-

образователей напряжения достаточно хорошо исследована, например [1, 2, 3].

Основным способом параметрического управления асинхронным двигателем в этих исследованиях является классический фазовый способ регулирования напряжения. Особенность преобразователя такого типа состоит в том, что на обмотки статора асинхронной машины подается несинусоидальное напряжение, гармонический состав которого ухудшается с увеличением угла управления. Известно, что высшие гармоники:

- во-первых, осуществляют дополнительный нагрев двигателя;
- во-вторых, гармонические токи с номерами $3k + 1$ и $3k - 1$ ($k = 0, 1, 2, 3, \dots$) создают в воздушном зазоре двигателя соответственно прямо и обратно вращающиеся поля и электромагнитные моменты, в результате чего образуются колебания результирующего момента на валу двигателя и, как следствие, его скорости;
- в-третьих, гармонические с номерами $3k$ образуют пульсирующие поля, не участвующие в создании пускового момента двигателя, а, следовательно, еще больше уменьшают значение пускового момента, ослабляя динамику пуска.

Для устранения или ослабления указанных недостатков предлагается формирование изменения напряжения на обмотках статора не столь простым способом, как классическое фазовое управление. Возможны следующие приемы его формирования, а именно:

- из одного импульса, симметрично расположенного относительно центра полупериода напряжения;
- из нескольких импульсов одинаковой или переменной ширины, произвольно расположенных на полупериоде напряжения;
- из нескольких импульсов разной ширины, произвольно расположенных на полупериоде напряжения;

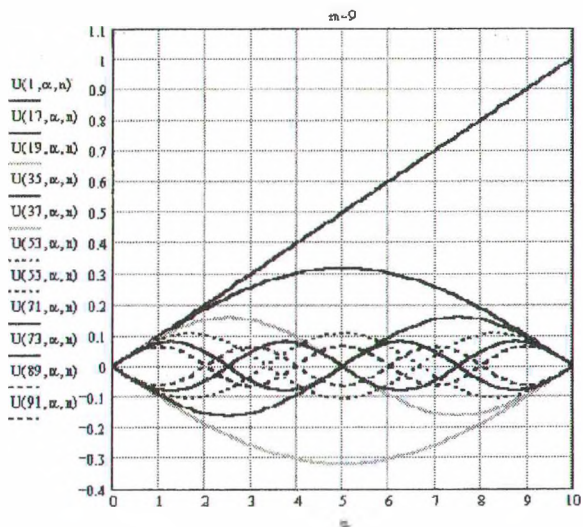


Рис. 4. Зависимость амплитуд гармоник от угла управления при $m = 9$

— из нескольких пульсов одинаковой или переменной ширины, расположенных на полупериоде определенным образом.

В задачу каждого из этих вариантов входит уменьшение высших гармоник в питающем обмотку двигателя напряжении. Тем самым улучшаются энергетические показатели двигателя.

Рассмотрим последний вариант и одну из его интерпретаций [4] (рис. 1). Формирование напряжения на каждом полупериоде выполняется из пульсов, центры которых отстоят друг от друга на расстояние π/m , где $m = 3, 6, 9, 12, \dots$ В полупериоде находится целое число пульсов. Центр первого пульса располагается в точке $\pi/2m$ от начала полупериода, положение фронтов каждого пульса изменяется в ту и другую сторону от центра пульса. Кроме того, количество пульсов m на каждом полупериоде трехфазной системы напряжения выбирается из соотношения

$$n = 2mk \pm 1.$$

Здесь $k = 1, 2, 3, 4, \dots$, а n — номер выбранной гармоники, которая должна присутствовать в промодулированном напряжении.

Угол регулирования α может изменяться по любому закону: прямоугольному, пропорциональному, синусоидальному и т. п. Например, если в напряжении допускаются 5, 7, 11, 13 и т. д. гармоники, то число пульсов на полупериоде $m = 3$, если 11, 13, 23, 25, то $m = 6$. Следовательно, рассматриваемый способ широтно-импульсной модуляции переменного напряжения осуществляет подавление определенных гармоник, чем улучшает гармонический состав питающего напряжения и тем самым энергетические показатели, а также позволяет сформировать симметричную трехфазную систему как для фазных, так и для линейных напряжений. Другие способы могут не позволить получить симметричную трехфазную систему. Зависимо-

сти амплитуд гармоник от угла регулирования при разных значениях m приведены на рис. 2, 3, 4.

Рассмотренные способы широтно-импульсной модуляции могут быть реализованы с помощью полупроводникового преобразователя. Для реализации управления двигателя до 30 кВт и более полупроводниковый преобразователь может быть построен на транзисторных ключах.

Рассмотрим один вариант (рис. 5). Регулятор состоит из двух диодно-транзисторных пар на каждую фазу напряжения питания. Включение транзисторов осуществляется подачей напряжения управления на базы транзисторов. Допустим, что в момент формирования на входе пульса напряжение на входе U_a и U_c положительно, а U_b отрицательно. Тогда следует подать напряжение управления на базы транзисторов VT1 и VT5. Причем плюс напряжения управления прикладывается к точке a , а минус к точке b . Ток управления транзистором протекает через переход база-эмиттер, например транзистор VT1, резистор R1, диод VD8. Падение напряжения на резисторе R1 и диоде VD8 прикладывается к переходу база-эмиттер транзистора VT2, но имеет полярность, обратную полярности напряжения управления для включения этого транзистора. Это способствует надежному состоянию транзистора VT2. При включенных VT1 и VT5 ток нагрузки по фазам протекает по указанному пути, в фазе B — через диод VD4. Так формируется передний фронт пульса. Задний фронт формируется путем закрытия транзисторов VT1 и VT5. При реактивном характере нагрузки асинхронного двигателя во избежание перенапряжения возникающих при коммутации фаз нагрузки необходимо организовать пути свободной ее циркуляции. Это достигается снятием напряжения с баз транзисторов VT1 и VT5 и подачей на базы транзисторов VT2 и VT6, причем плюс напряжения подается на точку b , а минус — на a . Падение напряжения на резисторе R1 способствует быстрому закрытию VT1 и удерживанию его в этом состоянии, а транзисторы VT2 и VT6 открываются и совместно с диодом VD3 организуют цепь свободной циркуляции тока нагрузки между ее фазами: короткое замыкание фаз.

В случае, если U_a положительное, а U_b и U_c отрицательные, даны пути протекания тока. Изменяя время подачи импульсов управления на включение и выключение транзисторов VT1 и VT2 и т. д. по отношению начала синусоид, можно сформировать любой закон широтно-импульсной модуляции переменного напряжения, поступающего на нагрузку.

Заключение. Рассмотренный способ широтно-импульсного формирования напряжения

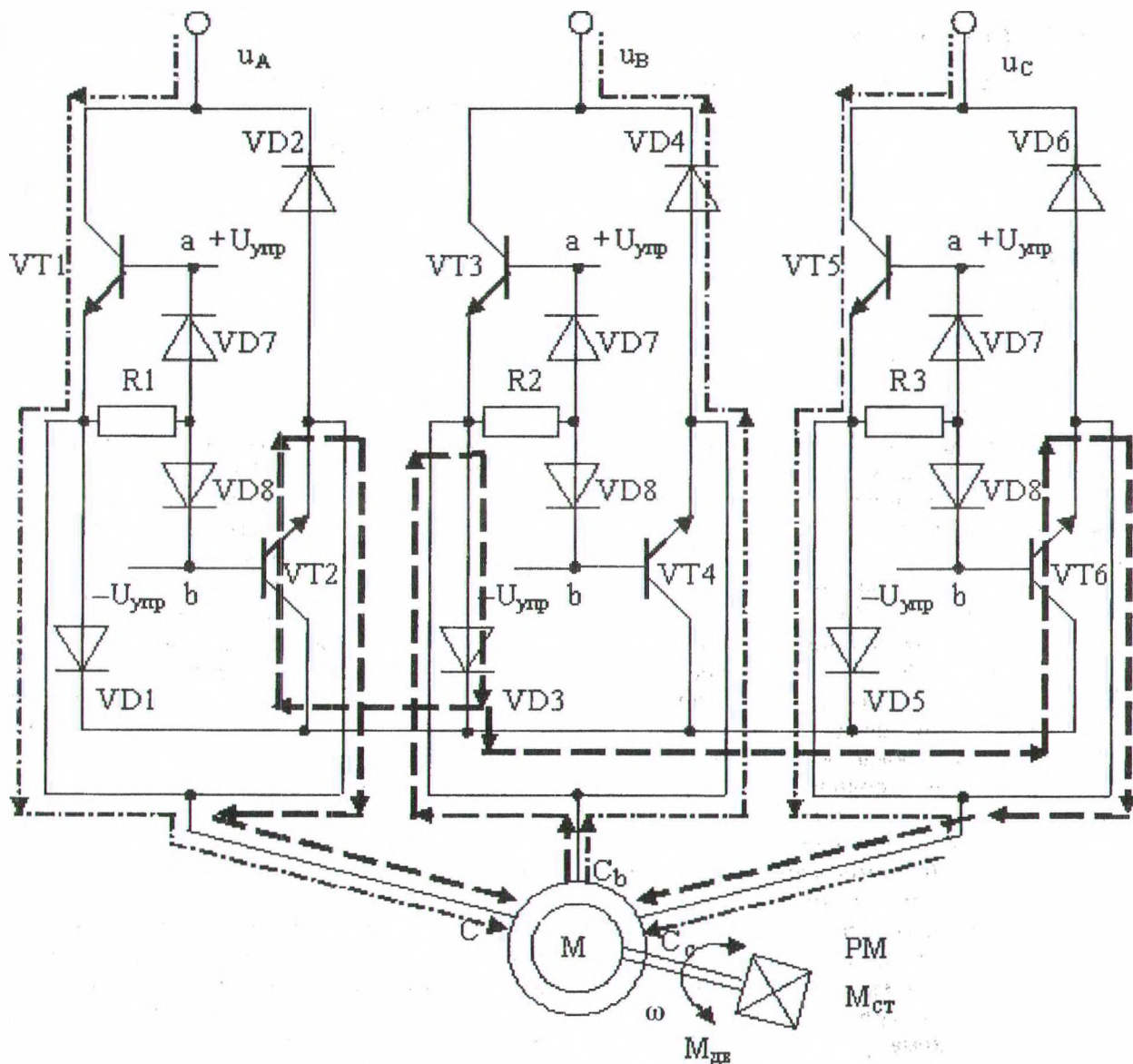


Рис. 5

питания асинхронного двигателя электро-механической системы обладает пониженным содержанием высших гармонических составляющих, негативно влияющих на электромагнитный момент двигателя, меньшими потерями при регулировании. В целом амплитудный состав ШИМ-напряжения остается постоянным, а только сдвигается в область высших гармонических, где в силу большого сопротивления двигателя они не оказывают существенного влияния на его электромагнитный момент, а, следовательно, и на скорость ротора. Снижение потерь и улучшение качества электромагнитного момента расширяют диапазон регулирования скорости рассматриваемого способа по сравнению с традиционным фазовым способом. Способ формирования ШИМ-напряжения рекомендуется для управления динамическими процессами асинхронного электропривода, а также для создания улучшенных механических статических ха-

рактеристик при определенном диапазоне регулирования скорости. Применение этого способа управления характеризуется энергосбережением в динамических режимах.

Литература

1. Шубенко В.А., Браславский И.Я. Тиристорный асинхронный электропривод с фазовым управлением. - М.: Энергия, 1972. - 200 с.
2. Глазенко Т.А., Хрисанов В.И. Полупроводниковые системы импульсного асинхронного электропривода малой мощности. - Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1983. - 176 с.
3. Карташов Р.П., Кулиш А.К., Чехет Э.М. Тиристорные преобразователи частоты с искусственной коммутацией. - К.: Техніка, 1979. - 152 с.
4. А.С. 764096 (СССР) Способ широтно-импульсной модуляции выходного напряжения переменного тока. В.П. Беляев, Г.И. Гульков, В.Г. Сидоров. Оpubл. В Б.И. 1980. № 34.