

## ИМПУЛЬСНЫЕ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ФАЗОВЫМ РОТОРОМ

А. И. ЗАЙЦЕВ, Ю. П. КОСТЮКОВ

(Рекомендована научным семинаром электромеханического факультета)

Основным направлением технического прогресса в области автоматизированного электропривода становится применение полупроводниковой техники и в первую очередь тиристорных устройств — наиболее экономичных и обладающих повышенной надежностью [1].

Развитие полупроводниковой техники позволяет пересмотреть вопрос о применении импульсного метода для регулирования скорости асинхронных двигателей с фазовым ротором. При применении этого метода управления можно регулировать скорость в довольно широких пределах и получать требуемые механические характеристики. Большим его достоинством является простота схем управления, быстрое действие. Импульсные системы достаточно полно удовлетворяют требованиям некоторых общепромышленных механизмов (насосы, вентиляторы, компрессоры и т. д.) в отношении глубины и плавности регулирования скорости.

Как известно, регулирование скорости асинхронных двигателей с фазовым ротором осуществляется изменением сопротивления в роторной цепи и по каскадным схемам, в которых энергия скольжения через преобразовательное устройство вентильного или машинного типа возвращается в сеть [2]. Импульсный метод регулирования скорости можно применять как в том, так и другом случае. При этом в роторную цепь постоянного тока параллельно преобразовательному устройству или добавочному сопротивлению вводится схема искусственного выключения на тиристорах. Для чисто вентильных систем такая схема обладает некоторыми преимуществами с точки зрения коэффициента мощности питающей сети [3]. Рекуперируемая в сеть энергия зависит от диапазона регулирования и характера нагрузки. Преобразовательное устройство может быть общим для нескольких каскадов.

Для схем с импульсно-регулируемым сопротивлением устраняется основной недостаток реостатного способа — ступенчатость регулирования.

При импульсном методе регулирования скорости осуществляется изменением относительной продолжительности включения силового тиристора, которая равна

$$\gamma = \frac{T - t_u}{T},$$

где:  $T$  — период повторения импульсов;  
 $t_u$  — длительность импульса, соответствующая времени, в течение которого преобразователь (или добавочное сопротивление) проводит ток.

При импульсном регулировании скорости асинхронных двигателей с фазовым ротором наиболее целесообразно применять закон коммутации с постоянным временем отключенного состояния силового тиристора и переменной частотой [4].

Для уменьшения пульсаций тока желательно выбирать  $t_u$  минимально возможным, руководствуясь предельным значением рабочей частоты силового тиристора. Так как коммутационные потери в тиристорах прямо пропорциональны частоте и току, то для получения малых значений  $\gamma$  при вентиляторной нагрузке вполне допустимо завышать рабочую частоту силового тиристора по сравнению с паспортной. Обычно  $t_u$  лежит в пределах  $500 \div 2000$  мксек, где большие значения относятся к приводам с постоянной нагрузкой.

На рис. 1 представлена простейшая схема, в которой используется импульсно-регулируемое сопротивление для контроля скорости двигателя с фазовым ротором (АД). Дроссель  $P$  служит для сглаживания пульсаций тока в цепи ротора.

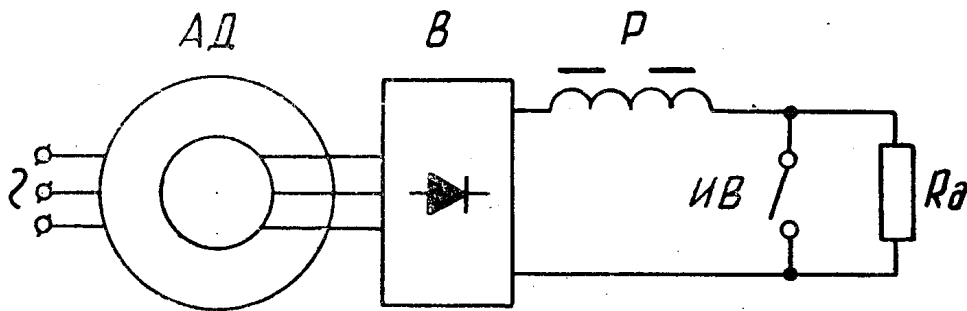


Рис. 1.

Нижний предел регулирования скорости при данной нагрузке определяется величиной добавочного сопротивления  $R_d$ . При  $\gamma=0$  ток ротора замыкается через  $R_d$  и энергия скольжения рассеивается в этом сопротивлении.

Работа на большой скорости достигается увеличением относительной продолжительности включения. При  $\gamma=1$  ротор асинхронного двигателя через выпрямительный трехфазный мост (В) закорачивается силовым тиристором схемы искусственного выключения (ИВ). Остаточное скольжение двигателя определяется падением напряжения в его роторе, выпрямительном мосте и тиристоре. Механическая характеристика почти совпадает с естественной, установка эксплуатируется при наибольшем к. п. д.

При произвольных относительных продолжительностях ( $0 < \gamma < 1$ ) схема искусственного выключения позволяет как бы плавно изменять значение активного сопротивления от величины  $R_d$  до 0.

Регулирование скорости введением сопротивления в роторную цепь не экономично и может применяться только для двигателей мощностью до 100 квт.

Схемы искусственного выключения на тиристо-

ра х. Энергетические показатели и надежность работы импульсных систем зависят от правильного выбора частоты коммутации и схемы искусственного выключения.

Асинхронный двигатель с фазовым ротором может работать в установившемся режиме при кратковременных перегрузках и в переходном процессе, потребляя значительный пусковой ток; также возможна работа двигателя в режиме прерывистых токов; для расширения верхнего и нижнего диапазонов регулирования необходимы пределы изменения  $\gamma$  порядка  $0,05 \div 0,95$ . При больших токах и малых напряжениях величина коммутирующего конденсатора оказывается значительной. Все это предъявляет определенные требования к схемам искусственного выключения. Очевидно, следует отдать предпочтение схемам, у которых энергия, накопленная в коммутирующем конденсаторе, повышается с ростом тока нагрузки, что значительно облегчает процесс отключения силового тиристора. Это достигается включением индуктивности  $L_1$ , работающей в режиме прерывистых токов. При наличии индуктивности  $L_1$  конденсатор заряжается до напряжения большего, чем среднее значение выпрямленного напряжения ( $\gamma=0$ ). Величина этой индуктивности выбирается небольшой (десятки микрогенри), чтобы ограничить максимум прямого напряжения на силовом тиристоре.

Величина емкости конденсатора определяется максимальной величиной коммутируемого тока, напряжением на конденсаторе и временем восстановления управляемости силового тиристора ( $T_1$ ).

Ниже рассматриваются некоторые схемы, которые отличаются способом перезарядки конденсатора и его подключением к зажимам силового тиристора для обеспечения запирающего напряжения последнего. Для упрощения рисунков цепи управления и двигателя опускаются.

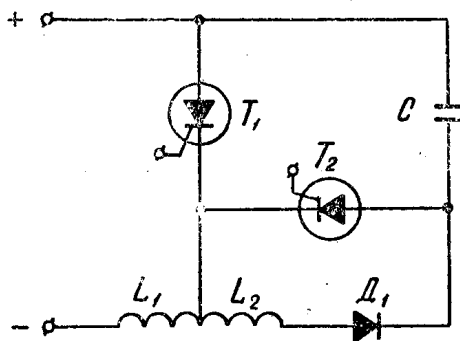


Рис. 2.

На рис. 2. приведена автотрансформаторная схема искусственного выключения [5, 6].

Будем считать, что тиристор  $T_2$  был включен. При включении  $T_2$  нижняя обкладка конденсатора резонансно заряжается через  $L_2$  до максимума положительного напряжения, которое удерживается блокирующим диодом  $D_1$ . Тем временем ток ротора проходит через  $T_1$  и  $L_1$ . После включения  $T_2$  тиристор  $T_1$  оказывается смещенным в обратном направлении и запирается, конденсатор перезаряжается и одновременно

воспринимает на себя ток нагрузки; схема искусственного выключения возвращается в исходное состояние и т. д.

Автотрансформаторная схема по принципу действия аналогична схеме, описанной в [7], за исключением того, что магнитная связь между катушками индуктивности в последней отсутствует.

Так как конденсатор заряжается выше среднего значения напряжения двигателя при  $\gamma=0$ , то возможен разряд конденсатора через  $D_1, L_2, L_1$  и преобразователь или добавочное сопротивление, которые на рисунке не показаны. Уменьшение начального напряжения конденсатора зависит от параметров разрядной цепи и может быть незначительным, в противном случае эффективность коммутационной цепи резко снижается. Этот недостаток проще всего устранить заменой блокирующего диода  $D_1$  тиристором  $T_3$ , работающим синхронно с  $T_1$ .

На рис. 3 приведена модернизированная автотрансформаторная схема, в которой габариты силового тиристора не приходится завышать, так как перезаряд конденсатора происходит только через  $T_3$ . Замыкание тока нагрузки одновременно через  $T_3$  и  $T_2$  практически исключается.

Очевидно, данные схемы целесообразно применять при частотах до 500 гц, при этом элементы конденсаторной коммутации могут иметь небольшие размеры.

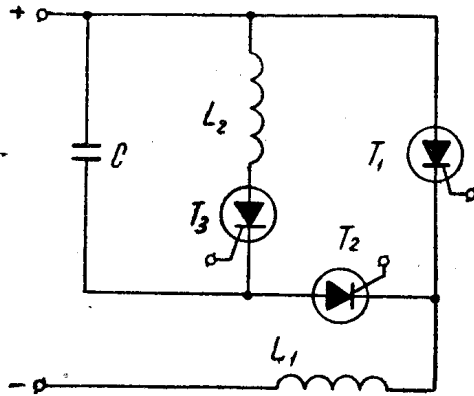


Рис. 3.

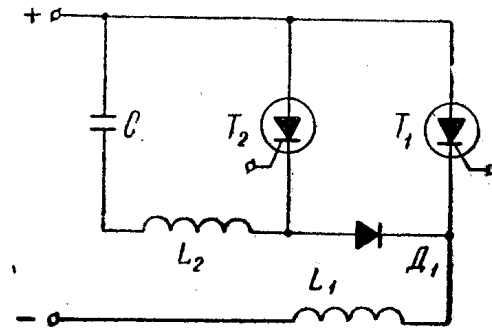


Рис. 4.

Основной недостаток рассмотренных схем и аналогичных [5] — трудно получить малую  $\gamma$  при высокой частоте коммутации, так как конденсатор  $C$  перезаряжается при проводящем силовом тиристоре  $T_1$ .

Указанных недостатков в некоторой степени лишена схема рис. 4 [8], в которой конденсатор  $C$  заряжается через вентиль  $D_1$ . После включения  $T_2$  возникает колебательный процесс в контуре  $L_2-C$ . Когда перезаряд конденсатора закончится, вентиль  $D_1$  начинает проводить ток и оба тиристора выключаются. Полупериод собственных колебаний контура не должен быть больше 30÷40 мксек, иначе габариты конденсатора приходится увеличивать [8].

Номинальная мощность вспомогательного тиристора выбирается из соображений, что наибольший пик тока, проходящий через  $T_2$ , превышает двойное значение тока нагрузки. Хотя  $T_2$  проводит ток короткий промежуток времени, его габариты и стоимость будут большими при частоте модулятора равной 1000 гц и постоянной нагрузке.

Возможны и другие модификации схемы рис. 4. Так, комбинацией вспомогательных тиристорев и насыщающихся дросселей получают более экономичные схемы при частотах 1 кГц и менее [8].

Предлагаемая схема (рис. 5) выгодно отличается от предыдущих меньшими размерами элементов конденсаторной коммутации при частоте 1 кГц и более. Когда на  $T_2$  подается пусковой импульс, конденсатор  $C$  заряжается до напряжения указанной полярности. Резонансный перезаряд коммутирующего конденсатора происходит через катушку индуктивности  $L_2$  и блокирующий

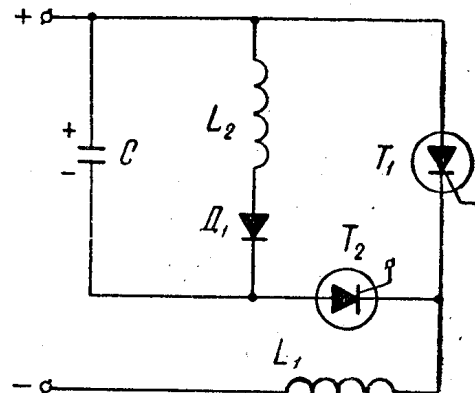


Рис. 5.

диод  $D_1$  в интервале отключенного состояния силового тиристора  $T_1$ . С приходом очередного импульса на  $T_2$  конденсатор  $C$  разряжается и примерно в течение времени восстановления управляемости силового тиристора воспринимает на себя ток двигателя, после этого конденсатор заряжается и все процессы повторяются. В данной схеме предъявляются определенные требования к величине индуктивности  $L_2$ , которая выбирается из условия, чтобы полупериод собственных колебаний перезарядного контура не превышал минимальной длительности периода повторения импульсов и был достаточным для восстановления управляемости вспомогательного тиристора. Таким образом, данная схема применима только при законе коммутации с постоянным временем отключенного состояния силового тиристора и переменной частотой. В схеме рис. 5 легко получить требуемую минимальную  $\gamma$ .

Рассмотренные схемы искусственного выключения (рис. 2—5) обеспечивают надежную коммутацию в области непрерывного тока ротора и не предназначены для работы в области прерывистых токов. Этого недостатка лишена схема с зарядом конденсатора от дополнительного источника (рис. 6). Конденсатор  $C$  заряжается через катушку индуктивности  $L_2$  и блокирующий диод  $D_1$  примерно до двойного напряжения источника питания. Минимальная длительность периода повторения импульсов должна с небольшим запасом превышать полупериод собственных колебаний зарядного контура. Когда отпирается  $T_2$  конденсатор  $C$  разряжается через индуктивность  $L_3$  и на катоде  $T_1$  появляется положительное напряжение, что приводит к запирающему силовому тиристор. Вспомогательный тиристор запирается, когда ток в колебательном контуре  $T_2-L_3-C$  изменяет свое направление. У-

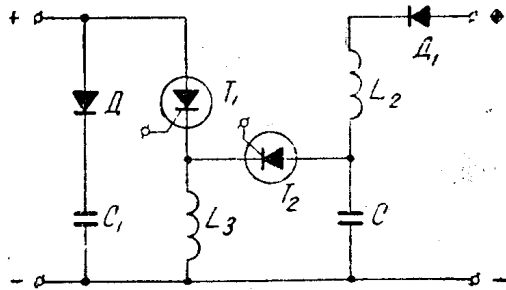


Рис. 6.

словие нормальной работы схемы — амплитуда тока в колебательном контуре должна превышать максимальное значение тока через силовой тиристор. Для получения малого времени восстановления силового тиристора необходимо, чтобы через прибор в период восстановления протекал достаточно высокий обратный ток. С этой целью параллельно преобразовательному устройству (на рис. 6 не показано) включается конденсатор  $C_1$  достаточно большой емкости ( $C_1 \geq C$ ). Импульс обратного тока проходит в контуре  $T_2-T_1-D-C_1$  в течение нескольких микросекунд. При этом элементы коммутирующей цепи имеют небольшие размеры, по сравнению со схемой без  $C$ . Основным недостатком схемы рис. 6 — наличие дополнительного источника.

В заключение отметим, что рассмотренные схемы искусственного выключения могут применяться и для других целей импульсного регулирования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Четвертая Всесоюзная конференция по автоматизированному электроприводу. Решение. ВНИИЭМ, 1965.
2. Д. А. Завалишин, В. А. Прозоров. Основные направления и перспективы развития регулируемого электропривода переменного тока. В сб.: «Автоматизированный электропривод», Наука, 1964.

3. K. Heumann. Pulse Control of D-C and A. C. Motors by Silicon — Controlled Rectifiers. IEEE Transactions on Communication and Electronics, 1964, V. 83, № 73.

4. А. И. Зайцев, Ю. П. Костюков. Асинхронный вентиляный каскад с импульсным управлением. Известия ТПИ, т. 153, 1965.

5. Кремниевые управляемые вентили-тиристоры, Технический справочник (пер. с англ.), Энергия, 1964.

6. Neville W. Mapham, John C. Heu. The control of Battery Powered DC Motors Using SCR'S in the Jones circuit. IEEE International Convention Record, 1964, № T-4.

7. Gurwicz D. Apulsed d. c. motor control system. Electrical Review, 1964, № 175, № 19.

8. R. E. Morgan. Time Ratio Control with combined SCR and SR Commutation. IEEE Transactions on Communication and Electronics, 1964, № 83, № 73.