

Способ относится к электротехнике, в частности к области управления полупроводниковыми приводами постоянного тока независимого возбуждения, преимущественно электротранспорта с бортовой аккумуляторной батареей, например: электромобилей, электрокар, электропогрузчиков, электроштабелеров и т.д.

Известно, что регулирование скорости тягового электродвигателя независимого возбуждения может осуществляться несколькими способами; путем изменения величины сопротивления, включенного в якорь двигателя, путем изменения напряжения, подаваемого на якорь электродвигателя, в том числе и с помощью широтно-импульсного регулирования полупроводниковым преобразователем (первая зона регулирования), путем изменения магнитного потока (тока возбуждения) обмотки независимого возбуждения (вторая зона регулирования), причем, и в этом случае регулирование можно осуществлять или путем изменения сопротивления, включенного в цепь обмотки возбуждения, или с помощью широтно-импульсного преобразователя ("Системы транзисторно-тиристорного управления для аккумуляторных электромобилей с рекуперацией энергии" Step up chopper drive with regeneration for battery operated vehicle control. Dubey G. K. ... "IEEE-IAS (Ind Appl.Soc) 20 th Annu. Meet, Toronto, Oct. 6 - 11, 1985. Conf. Rec." New York, N.-Y. 1985, 1052 - 1054).

Однако, на практике еще и до настоящего времени распространен способ изменений напряжения, подаваемого на якорь электродвигателя (а следовательно и регулирование его скорости) с помощью переключения ступеней аккумуляторной батареи (Патент США №3566985, НКИ 180 - 26), что в ряде случаев дает положительный эффект.

Рекуперативное торможение тягового электродвигателя независимого возбуждения транспортного средства может осуществляться также несколькими способами (Павлов В.Б. и др. Полупроводниковые преобразователи в автономном электроприводе постоянного тока. - К.: Наук. думка, 1987. - С.284). Так, если в начале торможения электродвигатель находится во второй зоне регулирования с максимальными оборотами, т.е. ток возбуждения имел минимальное значение, а транспортное средство продолжает увеличивать скорость, например, при движении под уклон, то в этом случае скорость двигателя превысит заданную, и он перейдет в режим генератора, т.е. его э.д.с. станет больше напряжения аккумуляторной батареи, якорный ток изменяет свой знак на обратный, развиваемый момент тоже меняет свой знак, так как на валу электродвигателя появляется тормозной момент, а энергия электродвигателя, работающего в режиме генератора, отдается в аккумуляторную батарею. Такой режим может наступить в любом другом случае, когда скорость машины превысит любую заданную, а цель подключения электродвигателя дает возможность осуществлять генераторное торможение.

Другой способ рекуперативного (импульсного) торможения осуществляется следующим образом. Якорная цепь электродвигателя кратковременно замыкается (широтно-импульсным полупроводниковым преобразователем), в результате чего в ней накапливается электромагнитная энергия, которая после размыкания полупроводникового ключа отдается в аккумуляторную батарею по предварительно сформированной электрической цепи. При этом на валу электродвигателя возникает тормозной момент, величина которого, также как и величина рекуперативной энергии, зависит от продолжительности замкнутого состояния полупроводникового ключа. Таким образом, можно затормозить машину до весьма низкой скорости, однако, недостатком способа импульсной рекуперации является повышение потерь энергии в полупроводниковом ключе и якорной цепи.

Наиболее близким к предлагаемому является способ рекуперативного генераторного торможения, осуществляемого путем изменения величины магнитного потока (тока возбуждения) обмотки независимого возбуждения электродвигателя постоянного тока (Патент Японии №50 - 25676, кл. В60L15/20), при скорости вращения электродвигателя выше номинальной, работающего в генераторном режиме и питающегося от ступенчато переключающейся аккумуляторной батареи. В этом случае для торможения электродвигателя, скорость которого находится во второй зоне регулирования, т.е. ток возбуждения имеет минимальное значение, последний увеличивается до своей номинальной величины с интенсивностью, обеспечивающей необходимую интенсивность торможения.

Таким образом, электродвигатель искусственно переводится в генераторный режим до скорости, равной его номинальному значению, то есть до тех пор, когда ток возбуждения (магнитный поток) достигает номинальной величины, и увеличивать его больше не представляется возможным.

Потери при таком регулировании значительно ниже, так как величина тока в цепи возбуждения на порядок меньше, чем в якорной цепи.

Однако недостатком описанного способа является его небольшой диапазон торможения - только до номинальной скорости электродвигателя, а при необходимости дальнейшего торможения переходит к режиму с импульсной рекуперацией с повышенными потерями.

Задачей изобретения является повышение эффективности рекуперативного генераторного торможения путем расширения его диапазона.

Решение поставленной задачи достигается тем, что в способе рекуперативного генераторного торможения, заключающемся в плавном увеличении магнитного потока обмотки независимого возбуждения при скорости вращения электродвигателя постоянного тока выше номинальной, работающего в генераторном режиме и питающегося от ступенчато переключающейся аккумуляторной батареи, при достижении электродвигателем номинальной скорости вращения напряжение на его зажимах понижают ступенчатым переключением аккумуляторной батареи, при этом магнитный поток обмотки независимого возбуждения вначале скачком уменьшают до минимальной величины, а затем снова плавно увеличивают.

В предложенном способе по сравнению с прототипом достигается новый технический результат за счет плавного регулирования тока обмотки независимого возбуждения тягового электродвигателя постоянного тока при рекуперативном торможении в сочетании с переключением секций аккумуляторной

батареи, когда ток возбуждения изменяют скачком, что позволяет повысить эффективность рекуперативного торможения путем расширения его диапазона.

Это позволяет сделать вывод, что совокупность существенных признаков, предложенных в ограничительной и отличительной частях формулы изобретения, является необходимой и достаточной для получения нового технического результата и тем самым, обеспечивается достижение поставленной задачи.

Предлагаемый способ может быть реализован известным устройством (Патент США №3387194, НКИ 318 - 139), в котором при включении в качестве тягового электродвигателя с независимым возбуждением, магнитный поток регулируется с помощью импульсного преобразователя, а напряжение подаваемое на якорную обмотку - путем ступенчатого переключения секций аккумуляторной батареи.

Таким образом, в тяговом режиме для двигателя с независимым возбуждением вначале устанавливается номинальный ток возбуждения и с помощью параллельно-последовательного подсоединения секций аккумуляторной батареи производится трогание с места, разгон и регулирование скорости двигателя до значения скорости, соответствующего номинальному току возбуждения.

При необходимости дальнейшего увеличения скорости машины (переход во вторую зону) с помощью полупроводникового импульсного преобразователя в цепи обмотки независимого возбуждения уменьшают ток возбуждения до необходимой величины.

Так осуществляется двухзонное регулирование скорости вращения электродвигателя в тяговом режиме.

Предлагаемый способ рекуперативного торможения с помощью известного устройства осуществляется следующим образом. Если скорость электродвигателя в тяговом режиме соответствовала второй зоне регулирования, то все секции аккумуляторной батареи включены последовательно, то есть на якорь электродвигателя подается полное напряжение источника питания, и ток возбуждения имеет величину ниже номинального значения. В этом случае с помощью импульсного преобразователя вначале плавно увеличивают ток возбуждения до номинального значения при неизменной величине напряжения на якоре электродвигателя. Благодаря переходу электродвигателя в генераторный режим на его зажимах появляется ЭДС, превышающая напряжение аккумуляторной батареи, что приводит к возникновению рекуперативного тока, подзаряжающего аккумуляторную батарею, и тормозного момента на валу электродвигателя.

При достижении электродвигателем скорости вращения, соответствующей номинальному магнитному потоку (току возбуждения), ЭДС электродвигателя становится равной напряжению аккумуляторной батареи, и процесс рекуперативного торможения прекращается.

В случае необходимости продолжения процесса рекуперативного торможения согласно предлагаемому способу скачком уменьшают ток возбуждения до минимальной величины и переключают секции аккумуляторной батареи, снижая ее напряжение, подводимое к якору электродвигателя.

Затем снова увеличивают ток возбуждения до номинального значения, до тех пор, пока протекает процесс рекуперации.

Таких переключений в процессе торможения можно произвести несколько, в зависимости от необходимой глубины торможения и возможного числа переключаемых секций.

При этом следует отметить, что ввиду того, что электромагнитные процессы в схеме протекают значительно быстрее, чем механические процессы в системе привода машины, скачкообразные изменения тока возбуждения и напряжения аккумуляторной батареи не оказывают какого-либо влияния на плавность рекуперативного торможения предлагаемым способом. Энергетическая эффективность такого способа рекуперации повышается не только за счет снижения потерь в якорной цепи, так как отпадает необходимость осуществления импульсной рекуперации, но и за счет увеличения емкости аккумуляторной батареи в процессе пересоединения ее секций из последовательного не параллельное.

При этом можно значительно повысить величину рекуперативного тока, имеющего соответствующие ограничения для каждого типа аккумуляторной батареи и величины ее емкости, что снижает потери при рекуперации энергии и повышает интенсивность и надежность такого вида торможения.

Таким образом, по сравнению с прототипом, использование предлагаемого изобретения позволяет получить положительный эффект, заключающийся в расширении диапазона рекуперативного торможения путем периодического плавного увеличения тока возбуждения и уменьшением его величины в моменты уменьшения напряжения на зажимах аккумуляторной батареи. При этом регулирование осуществляется только по цепи обмотки возбуждения, что сокращает потери в силовой цепи регулирования при рекуперативном торможении в основной части диапазона скоростей вращения электродвигателя независимого возбуждения, т.е. по сравнению с прототипом достигается новый технический результат.