

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ТРЕХФАЗНОГО МАГНИТНОГО УСИЛИТЕЛЯ НА ЯКОРЬ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА НА НИЗКИХ СКОРОСТЯХ

М. А. БОРОВИКОВ

(Представлено научным семинаром электромеханического факультета)

Работа трехфазного магнитного усилителя с самонасыщением (рис. 1) при углах насыщения сердечников $\alpha_s > 60^\circ$ и малом значении противо-э. д. с. значительно отличается от описанной в [1] для режимов при $\alpha_s < 60^\circ$. На рис. 2 приведена схема замещения усилителя для интервалов, в течение которых за счет затягивания процесса спадания тока до углов прекращения $\alpha_n > 120^\circ$ потенциал зажима Р может стать отрицательным относительно N и на якоре двигателя появляются отрицательные напряжения. В моменты появления отрицательных напряжений два сердечника, до этого находящиеся в процессе размагничивания (на рис. 2 сердечники В и С'), вновь намагничиваются положительными напряжениями. Из шести сердечников усилителя три намагничиваются за счет наличия на их рабочих обмотках положительных напряжений, два остаются насыщенными за счет протекания тока нагрузки по рабочим обмоткам и лишь один размагничивается и на его рабочей обмотке наводится отрицательная э. д. с.

Величину этой э. д. с. можно приблизительно определить, если допустить, что омическое сопротивление цепей управления равно нулю. В этом случае в установившемся режиме магнитный усилитель может работать при напряжении управления $U_y = 0$, то есть

$$0 = U_{yA} + U_{yA'} + U_{yB} + U_{yB'} + U_{yC} + U_{yC'} \quad (1)$$

В интервале $0 < \theta < \alpha_s - 60^\circ$ (см. рис. 3) на обмотке А напряжение равно U_{1-3} , на обмотках В и С' $U_{pB} = U_{pC'} = U_{2-3}$ (рис. 2), на обмотках В' и С напряжения равны нулю. Так как сердечники А, В и С' не насыщены, напряжения U_{pA} , U_{pB} и $U_{pC'}$ трансформируются в цепь управления:

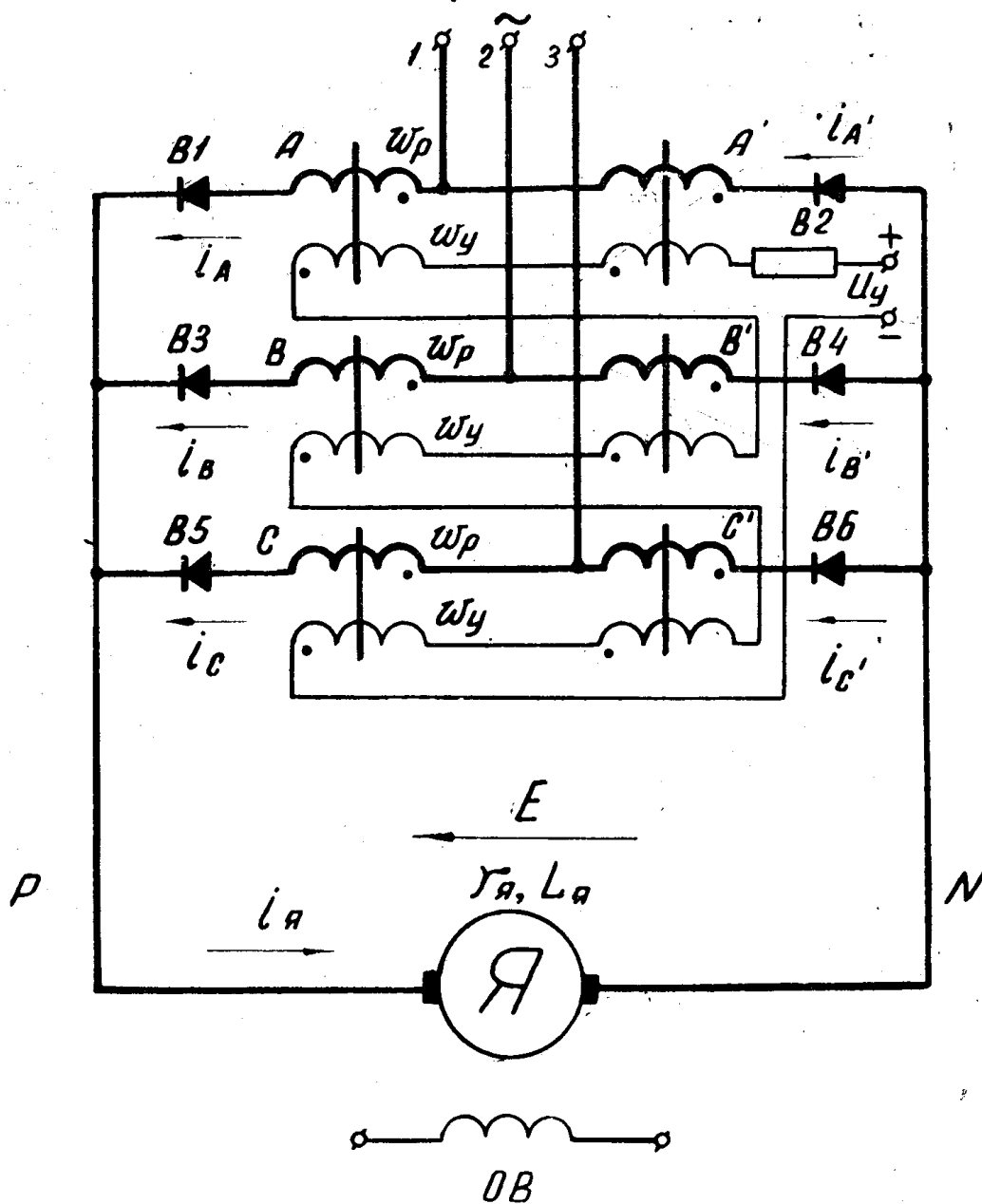


Рис. 1.

$$\begin{aligned}
 U_{yA} &= U_{pA} \frac{w_y}{w_p} = U_{1-3} \frac{w_y}{w_p}, \\
 U_{yB} &= U_{pB} \frac{w_y}{w_p} = U_{2-3} \frac{w_y}{w_p}, \\
 U_{yC} &= U_{pC} \frac{w_y}{w_p} = U_{2-3} \frac{w_y}{w_p}, \\
 U_{yB'} &= U_{yC} = 0
 \end{aligned}
 \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} U_{yA} \\ U_{yB} \\ U_{yC} \\ U_{yB'} \end{aligned}} \right\} \quad (2)$$

Сопоставляя (1) и (2), найдем напряжение на обмотке управления $U_{yA'}$:

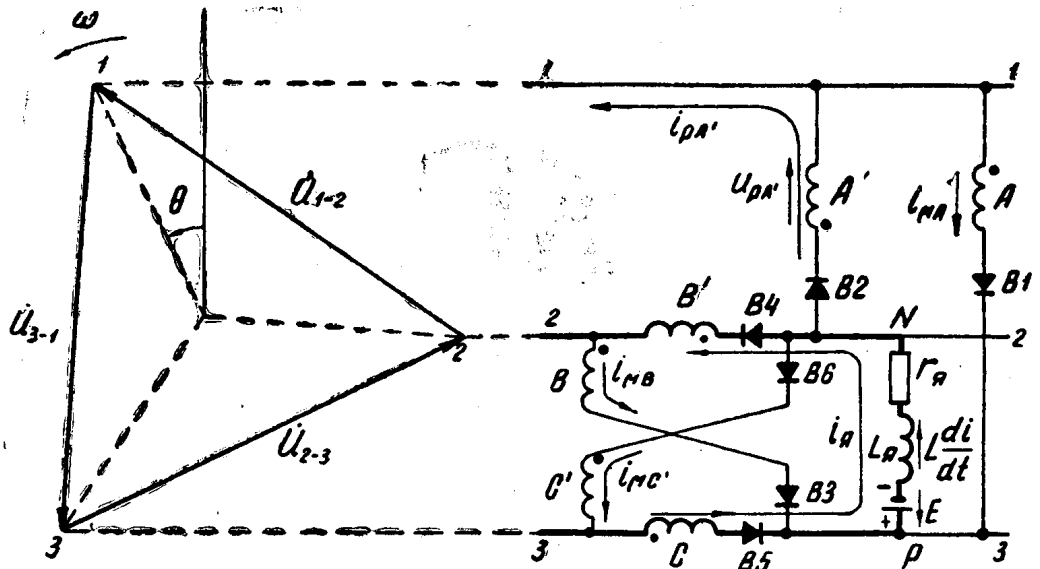


Рис. 2.

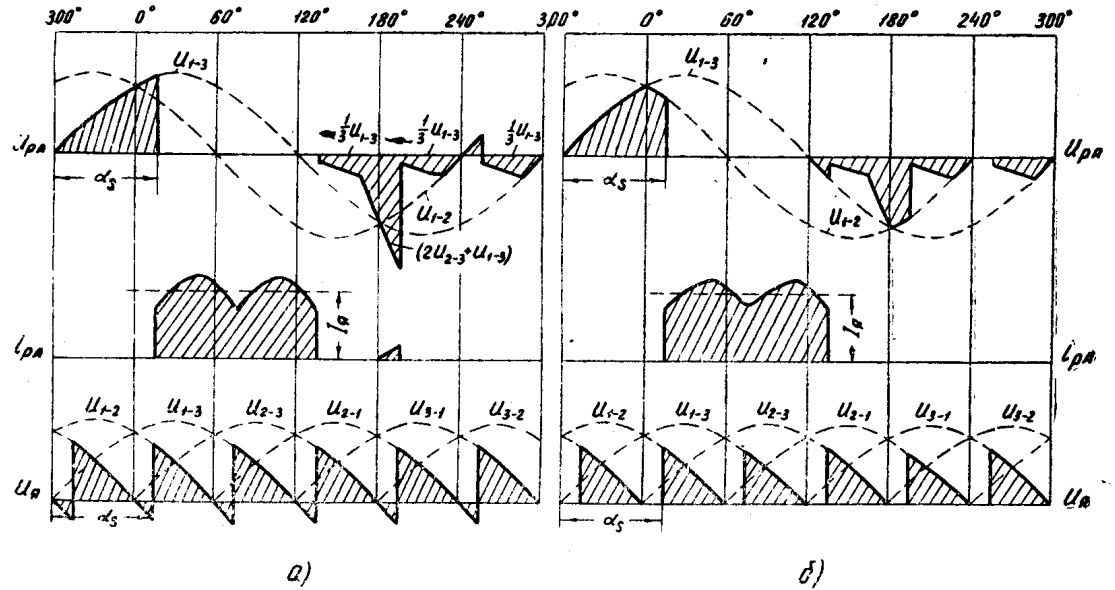


Рис. 3.

$$U_{yA'} = -\frac{w_y}{w_p} (2U_{2-3} + U_{1-3}). \quad (3)$$

Это отрицательное напряжение вызывает размагничивание сердечника A' и при этом на рабочей обмотке наводится э. д. с.

$$U_{pA'} = U_{yA'} \frac{w_p}{w_y} = -(2U_{2-3} + U_{1-3}). \quad (4)$$

На рис. 3а изображено рабочее напряжение только для обмотки A , на которой также наводится э. д. с. в соответствии с (4), но только через 180° от рассматриваемого интервала.

Эта э. д. с. даже с учетом потерь на трансформацию оказывается больше, чем линейное напряжение (U_{1-2} для момента по рис. 2). За счет разности напряжений $U_{pA'}$ и U_{1-2} по цепи: зажим 2—обмотка

В' — вентили В4, В2 — обмотка А — зажим 1, — может протекать ток i_{pA}' , величина которого ограничивается омическим сопротивлением цепи, индуктивностью рассеивания рабочей обмотки, но который не может быть больше прямого тока через вентиль В4. Так как сердечник А' не насыщен, ток i_{pA}' , вызовет протекание соответствующего тока в обмотке управления за счет трансформации

$$i_y = i_p \frac{w_p}{w_y} \quad (5)$$

Трансформированный в цепь управления ток, протекая от конца обмотки к началу, может вывести сердечники В' и С из насыщения, так что ток нагрузки i_d будет протекать далее по обмоткам ненасыщенных сердечников, что вызывает дальнейшее увеличение тока трансформации в цепи управления. Диаграммы тока рабочей обмотки и напряжения на якоре приведены на рис. 3а.

Это явление приводит к неустойчивой работе усилителя при пассивной нагрузке, сходной с релейным эффектом у однофазных усилителей со средней точкой при работе на активно-индуктивную нагрузку постоянного тока [2]. Характеристика управления трехфазного МУ при работе на пассивную нагрузку приведена на рис. 4а.

При работе магнитного усилителя по схеме рис. 1 на двигатель, имеющий достаточно большой $t_{\Sigma\phi}$, описанное явление приводит к неустойчивой работе привода на нижних скоростях. В этом случае при появлении отрицательных напряжений на якоре, возникает процесс уменьшения угла насыщения и увеличения напряжения и тока якоря, и при нагрузке вида $M_c = \text{const}$ двигатель начинает работать в автоколебательном режиме: при увеличении тока якоря двигатель разгоняется, возрастает э. д. с. и запирает усилитель, — двигатель тормозится, уменьшается э. д. с. и теперь вновь возрастает ток и т. д. Механические характеристики двигателя при работе на низких скоростях по схеме рис. 1 приведены на рис. 4б.

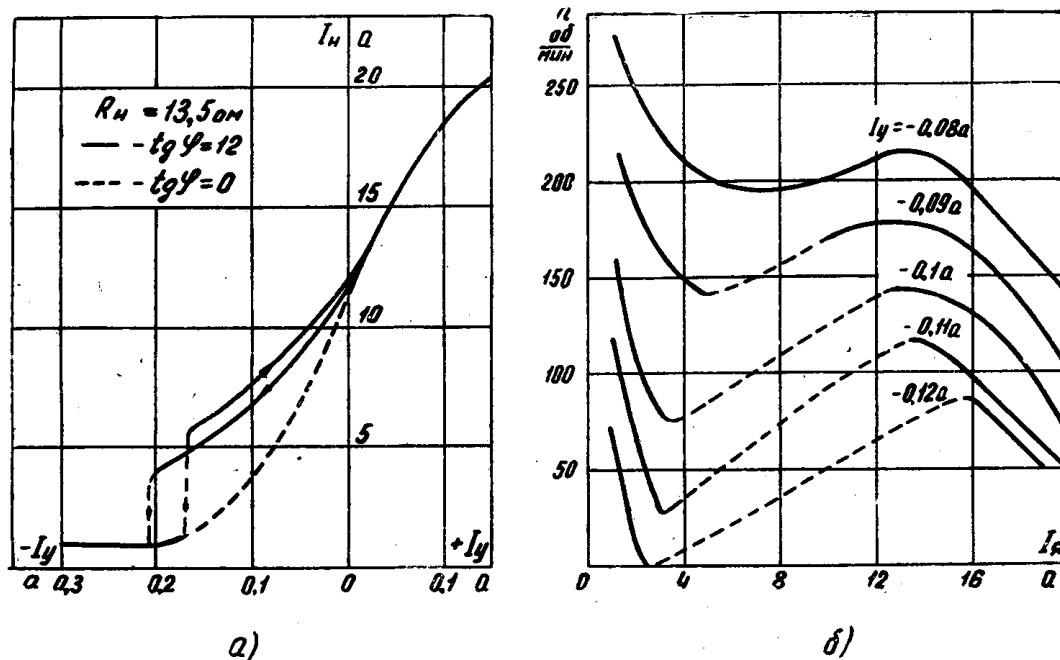


Рис. 4.

Участки характеристик, на которых возникают автоколебания, вычерчены пунктирными линиями.

Описанное явление всегда возникает в приводах, если у усилителя обеспечивается режим «свободного намагничивания», при котором одна или несколько обмоток управления питается от источника с малым внутренним сопротивлением и когда соотношение (1) оказывается близким к реальному. С точки зрения обеспечения нормальной работы привода описанный эффект является вредным и его требуется устранить.

Неустойчивость привода по схеме рис. 1 можно устранить, обеспечивая режим «вынужденного подмагничивания» сердечников усилителя. Это достигается как введением большого активного сопротивления, так и введением индуктивности в цепь обмоток управления. Оба этих способа практически неприемлемы: в первом случае понижается коэффициент усиления МУ, во втором случае ухудшаются его динамические показатели.

Более рациональным оказывается применение шунтирующего вентиля (рис. 5а). В этом случае отрицательные напряжения на якоре срезаются и намагничивание сердечников усилителя происходит практически так же, как и при активном сопротивлении в цепи нагрузки (см. рис. 3б); ток разряда индуктивности якоря замыкается теперь через шунтирующий вентиль $B_{ш}$, поэтому на рабочих обмотках не может появиться избыточных напряжений и трансформация рабочих токов в цепь управления невозможна. Механические характеристики привода по схеме рис. 5а не имеют неустойчивых участков (см. рис. 5б).

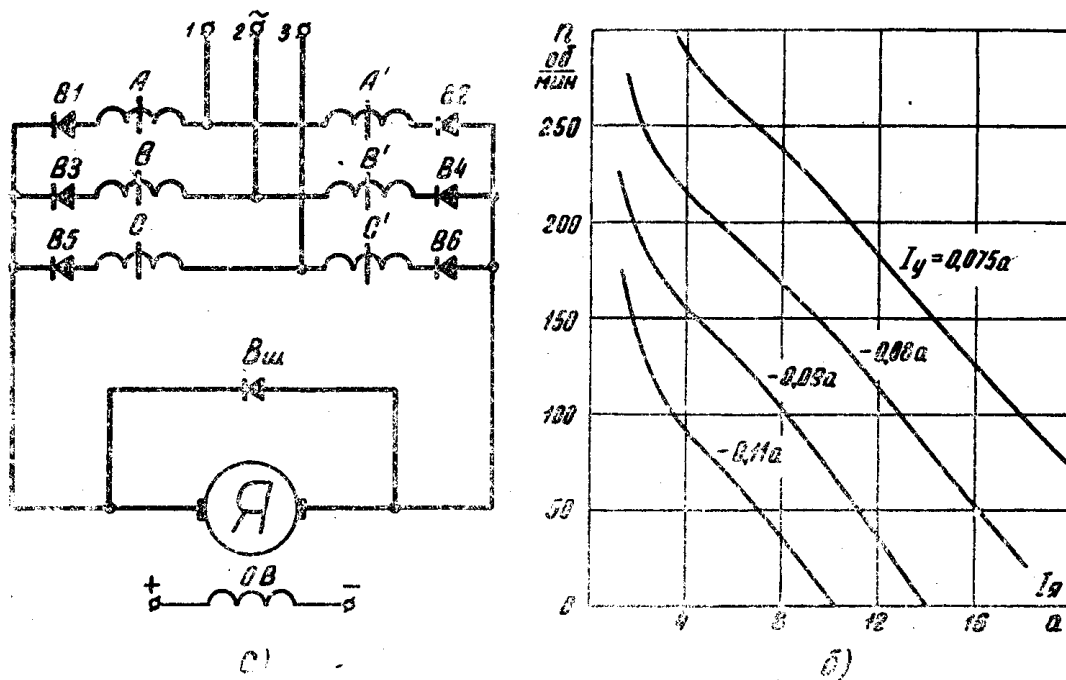


Рис. 5.

Тем же свойством обладает схема магнитного усилителя с так называемой контурной внутренней обратной связью (рис. 6). В этой схеме мост выпрямителей 2В выполняет роль шунтирующего вентиля, и релейный эффект невозможен.

Схема рис. 6 может оказаться более выгодной, чем схема рис. 5а, при применении селеновых выпрямителей: количество выпрямителей в

том и другом случае оказывается примерно одинаковым, но обратное напряжение на вентилях 1В рис. 6 в качественных усилителях меньше (на шайбу), чем на вентилях 1В—6В схемы рис. 5а, поэтому размагничивание усилителя обратными токами меньше и схема рис. 6 обеспечивает большой коэффициент усиления. При применении германиевых или кремниевых выпрямителей схема рис. 5а по качеству не уступает схеме рис. 6, а по расходу вентилях может оказаться более выгодной.

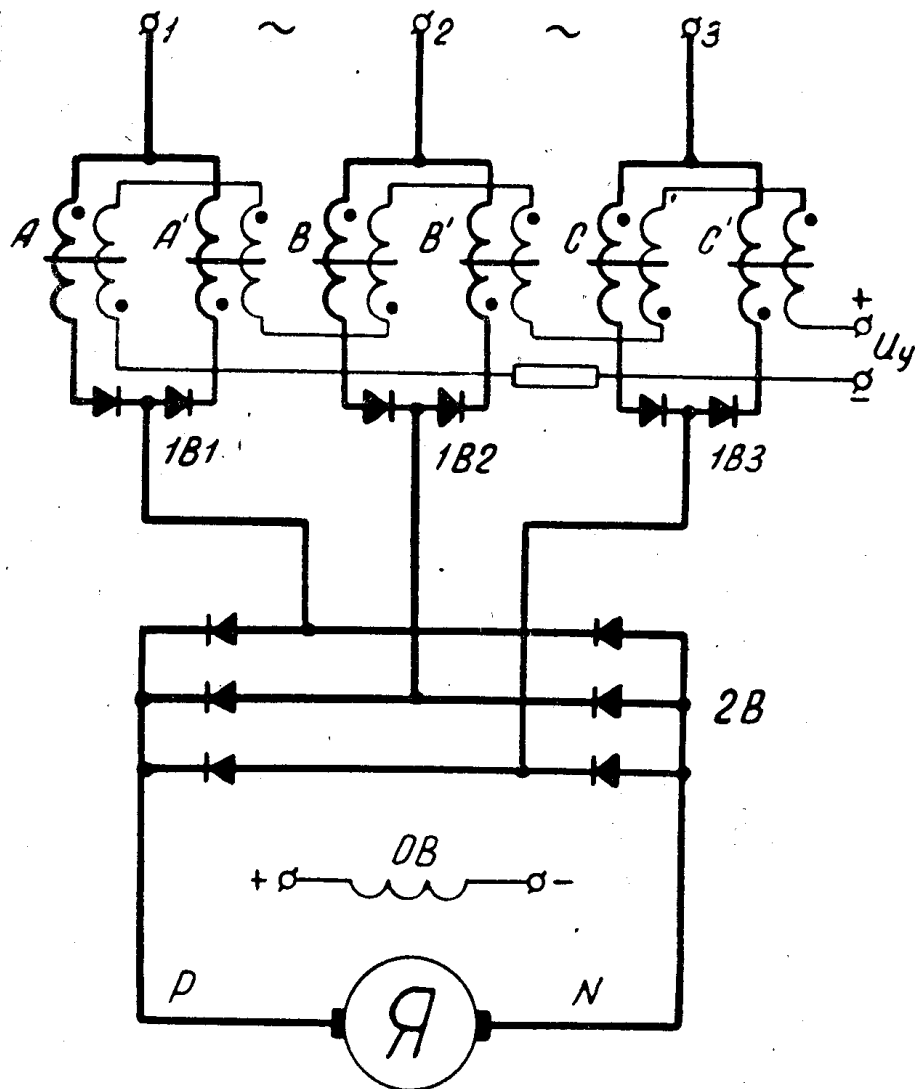


Рис. 6.

Анализ схемы рис. 5а при $\alpha_s > 60^\circ$ по методике, описанной в [1], позволяет получить необходимые соотношения для токов:

$$I_{\text{я}} = \frac{3U_m}{\pi R_{\text{г}}} \left[1 + \cos \left(\alpha_s + \frac{\pi}{3} \right) - \frac{E}{U_m} \frac{\pi}{3} \right], \quad (6)$$

$$I_{\text{в ш}} = I_{\text{я}} \left(\frac{3\alpha_s}{\pi} - 1 \right), \quad (7)$$

где $R = r_{\text{я}} + 2r_{\text{в}} + 2r_{\text{р}}$,

$$\gamma = 2 - \frac{3\alpha_s}{\pi} - \frac{r'_{я}}{R} \left(\frac{3\alpha_s}{\pi} - 1 \right),$$

$r'_{я}$ — сопротивление якоря и $B_{ш}$.

При $\alpha_s < 60^\circ$ шунтирующий вентиль не оказывает влияния на работу схемы и справедливо соответствующее выражение [1].

Выводы

Для устранения влияния индуктивности в цепи нагрузки трехфазного магнитного усилителя, вызывающей при малом импедансе цепей управления релейный эффект усилителя при работе его на пассивную нагрузку или автоколебания двигателя при работе привода на низких скоростях, целесообразно устанавливать вентиль, шунтирующий нагрузку встречно выходному напряжению МУ. Шунтирующий вентиль, кроме этого, расширяет границы режима непрерывных токов нагрузки, а следовательно, и границы линейности характеристик двигателя, что в свою очередь упрощает расчеты.

Тот же результат обеспечивается применением схемы МУ с отдельным выпрямительным мостом.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. А. Боровиков. Работа трехфазного магнитного усилителя на якорь двигателя постоянного тока независимого возбуждения. Труды четвертого Всесоюзного совещания по автоматизированному электроприводу. Издательство «Энергия», 1965.
2. Г. Ф. Сторм. Магнитные усилители. Издательство иностранной литературы, 1957.