

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕВЕРСИВНОГО ЭМУ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

А. И. СКОРОСПЕШКИН, М. Л. КОСТЫРЕВ, А. П. ФЕЛЬЗИНГ

(Рекомендована семинаром кафедр электрических машин и общей электротехники)

В автоматике широко распространена система коллекторный электромашинный усилитель — двигатель постоянного тока (ЭМУ-ДПТ). Существенный недостаток такой системы — наличие двух коллекторов, что иногда нежелательно, а в некоторых случаях (жесткие требования к уровню радиопомех и др.) вообще недопустимо.

В этом отношении преимущество находится на стороне бесколлекторных электромашинных усилителей. Однако следует отметить, что в технической литературе почти совершенно отсутствуют сведения по вопросам теории, проектирования, исследования характеристик. Имеются лишь некоторые схемные решения [1].

Нами спроектирована, изготовлена и исследована модель бесколлекторного реверсивного двухфазного ЭМУ с выходом на повышенной регулируемой частоте. В настоящей статье приводятся некоторые результаты исследования, касающиеся использования обратного синхронного поля (о. с. п.) и выходного напряжения.

На рис. 1 приведена схема усилителя, поясняющая принцип его работы. Схема состоит из трех каскадов: 1) синхронного генератора обращенного типа, 2) асинхронного преобразователя частоты, 3) однофазного синхронного генератора. Все три каскада, либо два из них,

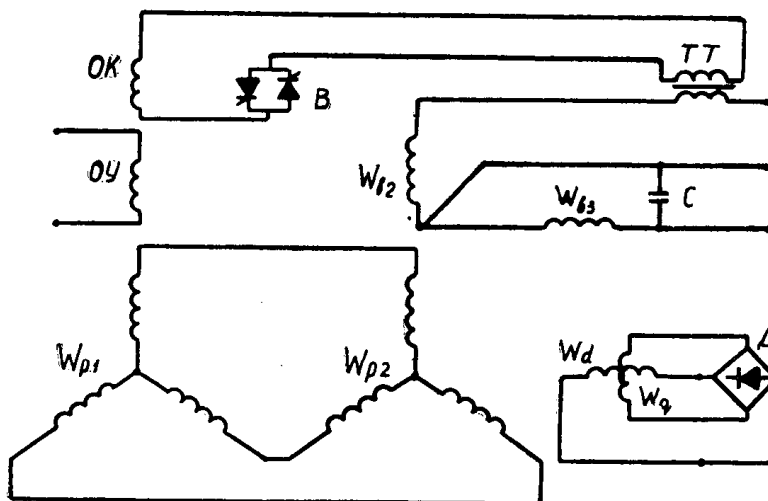


Рис. 1. Схема реверсивного двухфазного усилителя переменного тока.

могут быть объединены в одном магнитопроводе при выполнении условий совмещения [2].

Работу усилителя можно пояснить следующим образом.

При подаче сигнала на обмотку управления ОУ в обмотке ротора W_{p1} наводится э. д. с. E_1 с частотой

$$f_1 = p_1 \cdot n_p, \quad (1)$$

где p_1 — число пар полюсов первого каскада,

n_p — скорость вращения ротора.

По обмотке ротора W_{p2} , подключенной к W_{p1} , потечет переменный ток, создающий поле, вращающееся относительно статора со скоростью

$$n_c = n_p \pm \frac{f_1}{p_2}, \quad (2)$$

здесь p_2 — число пар полюсов второго каскада.

Знак (+) относится к случаю, когда ротор и поле второго каскада вращаются согласно (наиболее целесообразный режим), знак (−) — встречно.

От потока второго каскада в выходной обмотке наводится э. д. с. E_2 с частотой

$$f_{\text{вых}} = p_2 \cdot n_c = (p_2 \pm p_1) n_p. \quad (3)$$

Для увеличения жесткости внешних характеристик второго каскада применяется положительная обратная связь по току, осуществляемая при помощи трансформатора тока (ТТ), блока управляемых вентилей (В) и компенсационной обмотки (ОК).

Третий каскад представляет собой обычный однофазный синхронный генератор. Причем, чтобы на выходе его получить э. д. с. той же частоты, что и на выходе второго каскада, необходимо выполнить следующее условие:

$$p_3 = p_1 + p_2, \quad (4)$$

где p_3 — число пар полюсов третьего каскада.

Возбуждение генератора может быть выполнено от первого каскада через выпрямители [1]. Если же по условиям работы регулируемого двухфазного двигателя, подключенного к выходу усилителя, требуется осуществлять частый и быстрый реверс, то лучше третий каскад выполнить с самовозбуждением.

Для обеспечения самовозбуждения и увеличения жесткости внешней характеристики третьего каскада используется обратное синхронное поле (о. с. п.) и емкость, включаемая на выходе третьего каскада. В этом случае на роторе укладывается специальная обмотка по поперечной оси W_q , которая замыкается через двухполупериодный выпрямитель на обмотку W_d , расположенную по продольной оси. Протекающий по обмотке W_q переменный ток оказывает хорошее демпфирующее действие на о. с. п. по поперечной оси. По обмотке W_d протекает постоянный ток, создающий поток возбуждения генератора.

Амплитуда первой гармоники н. с. обмотки W_d может быть принята по [3]

$$F_d = 0,45 \frac{I_{B3} \cdot W'_{B3}}{p_3} \cdot \frac{W'_d}{W'_q}, \quad (5)$$

где

W'_{B3} — число витков выходной обмотки с учетом обмоточного коэффициента,

W'_d и W'_q — числа витков продольной и поперечной обмоток ротора третьего каскада с учетом обмоточных коэффициентов.

Изменяя отношение $\frac{W_d}{W_q}$, можно получить внешние характеристики различной степени жесткости.

Требуемая н. с. возбуждения с учетом емкости

$$F_n = F_c + F_d = 0,45 \frac{I_c W'_{в3}}{p_2} \left(1 + \frac{W'_d}{W'_q} \right); \quad (6)$$

здесь I_c — ток, протекающий через емкость.

Величина емкости выбирается из условия компенсации индуктивной составляющей тока нагрузки, либо из условия допустимых потерь в выходной обмотке $W'_{в3}$ при чисто емкостной нагрузке.

Чтобы исключить возможные колебания выходного напряжения ввиду некоторого разброса параметров емкости, магнитную цепь генератора следует выполнить с насыщением.

Для обеспечения гарантированного самовозбуждения и устойчивой фазы выходного напряжения в середину пакета ротора запрессована магнитная звездочка, занимающая (8—10) % объема пакета.

Схема усилителя реверсивна, так как при смене полярности сигнала управления фаза выходного напряжения второго каскада изменится на 180° , в то время как фаза выходного напряжения третьего каскада остается без изменения. Регулируемый двухкаскадный асинхронный двигатель изменит направление вращения, т. е. произойдет его реверс.

Основная особенность при работе усилителя на однофазную нагрузку заключается в наличии о. с. п. Устройство на роторе специальной демпферной обмотки не дает нужного эффекта, так как и прямое поле также вращается относительно ротора.

Исследования проводились на модели трехфазного ЭМУ переменного тока, работающего на однофазную нагрузку.

Данные модели:

$$P_n = 480 \text{ вт}, \quad p_p = 50 \text{ об/сек}, \quad U_n = 127 \text{ в}, \quad 2p_1 = 2, \quad f_{\text{вых}} = 200 \text{ гц}, \\ 2p_2 = 6.$$

О. с. п., вращаясь относительно ротора со скоростью

$$n_{\text{р о с п}} = \frac{f_{\text{вых}}}{p_2} + n_p = \left(\frac{p_2 \pm p_1}{p_2} + 1 \right) n_{p1}, \quad (7)$$

наводит в роторной обмотке W_{p2} э. д. с. $E_{\text{р о с п}}$ с частотой

$$f_{\text{р о с п}} = (2p_2 + p_1) n_p = 350 \text{ гц}, \quad (8)$$

которая накладывается на основную э. д. с. ротора E_p и вызывает перенапряжения. Последние составляют 80—90 % от амплитуды основного напряжения ротора. Это необходимо учитывать при выборе изоляции обмотки ротора.

Ток от о. с. п. (рис. 2), протекая по обмотке W_{p2} , создает поле, демпфирующее о. с. п. Качество демпфирования зависит от величины сопротивления контура, образованного роторными обмотками. Чем меньше это сопротивление, тем лучше демпфируется о. с. п.

Так как ток от о. с. п. протекает и по обмотке W_{p1} , то образуется поле, вращающееся относительно статора со скоростью

$$n_{\text{у о с п}} = \frac{f_{\text{р о с п}}}{p_1} + n_p = \frac{2p_2 + 2p_1}{p_1} \cdot n_p. \quad (9)$$

Это поле наводит в обмотке управления э. д. с. с частотой

$$f_{\text{у о с п}} = p_1 \cdot n_{\text{у о с п}} = 400 \text{ гц}, \quad (10)$$

амплитуда которой составляет (4—5) % от напряжения питания обмотки управления. Увеличение активного сопротивления обмотки управле-

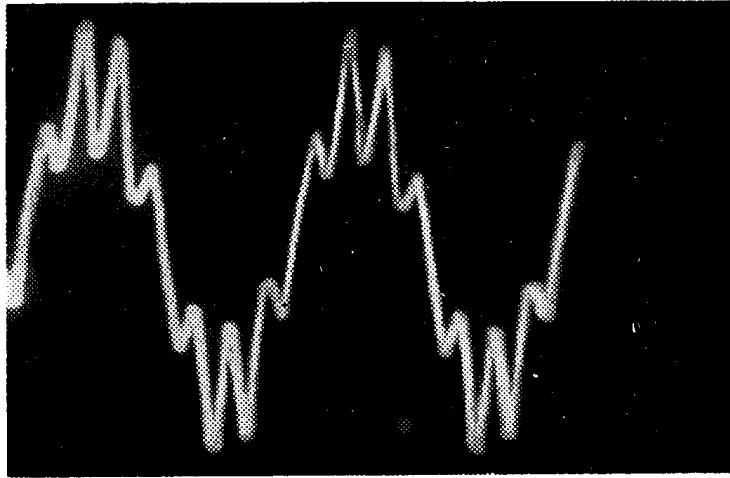


Рис. 2. Осциллограмма тока в роторе при однофазной нагрузке.

ния с целью снижения ее постоянной времени нежелательно, так как приводит к увеличению амплитуды э. д. с.

Для оценки и сравнения качества выходного напряжения были сняты осциллограммы при однофазной и симметричной трехфазной нагрузках (рис. 3, 4). Из сравнения осциллограмм следует, что наличие

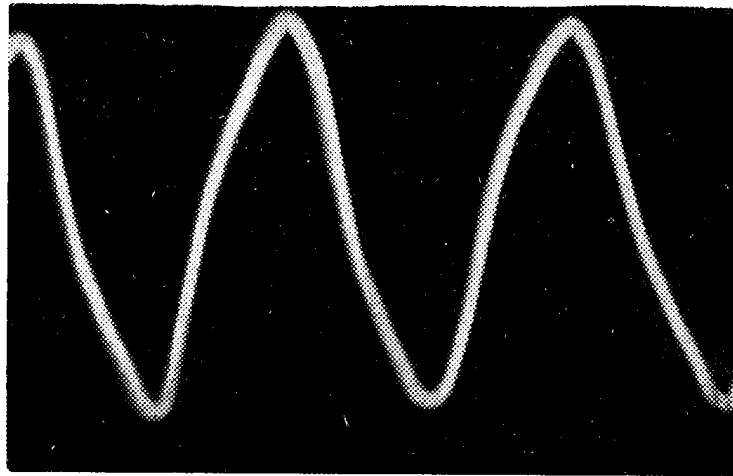


Рис. 3. Осциллограмма выходного напряжения при однофазной нагрузке.

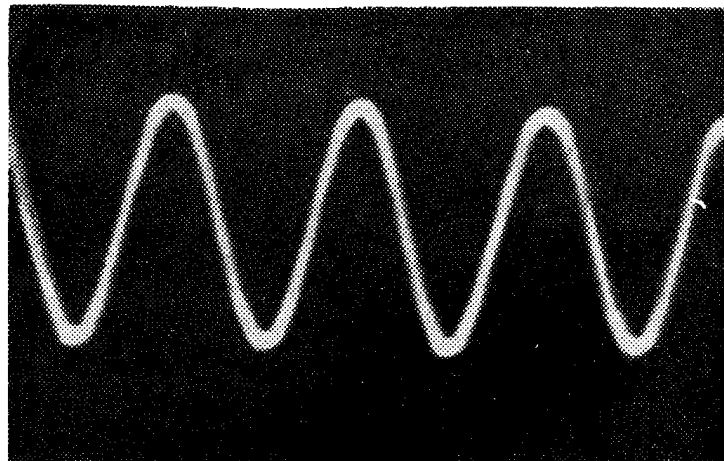


Рис. 4. Осциллограмма выходного напряжения при симметричной трехфазной нагрузке.

о. с. п. (рис. 3) незначительно искажает форму кривой выходного напряжения.

В целом по результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Роторные обмотки достаточно эффективно демпфируют обратное синхронное поле.

2. Э. д. с., наводимая в обмотке управления, имеет небольшую величину и не оказывает существенного влияния на работу усилителя.

3. С целью повышения эффективности демпфирования оси, а следовательно, и улучшения качества выходного напряжения, необходимо, чтобы контур, образованный обмотками W_{p1} и W_{p2} , имел возможно меньшее сопротивление.

4. О. с. п. в третьем каскаде может быть использовано для самовозбуждения и увеличения жесткости внешних характеристик этого каскада.

ЛИТЕРАТУРА

1. E. Mishkin. Poly-field Alternating-Current Induction Machines. United States Patent Office, Dec. 27. 1960, N 2966623.

2. В. С. Новокшенов. Исследование асинхронного бесщеточного преобразователя частоты. Диссертация, Томск, 1960.

3. М. В. Антонов, В. И. Радин. Однофазный синхронный генератор с использованием обратносинхронного поля. «Электротехника», № 5, 1965.