

ОСОБЕННОСТИ КОММУТАЦИИ ЭМУ ПОПЕРЕЧНОГО ПОЛЯ ПРИ РАБОТЕ НА ПЕРЕМЕННОМ ТОКЕ

Б. И. КОСТЫЛЕВ, А. И. СКОРОСПЕШКИН

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин и общей электротехники)

К настоящему времени ЭМУ поперечного поля, работающие на переменном или пульсирующем сигнале управления, находят все более широкое применение в различных схемах автоматического управления и электропривода [1, 2].

ЭМУ поперечного поля является специфичной машиной постоянного тока. Эта специфика обусловлена наличием двух комплектов щеток, неравномерным распределением тока по обмотке якоря, существенным влиянием на характеристики реакции коммутационных и вихревых токов, свойствами магнитной системы.

При работе ЭМУ на переменном токе, кроме указанных обстоятельств, появляются новые особенности, обусловленные переменным током. Прежде всего, к ним следует отнести трансформаторные связи. Так, по продольной оси усилителя (рис. 1) трансформаторно связаны обмотки управления, компенсационная, якорная, дополнительных полюсов и секции, коммутируемые в поперечной цепи. При этом обмотку управления, питаемую переменным током, можно рассматривать как первичную обмотку трансформатора по отношению к остальным обмоткам. Обмотки компенсационная, дополнительных полюсов и якоря

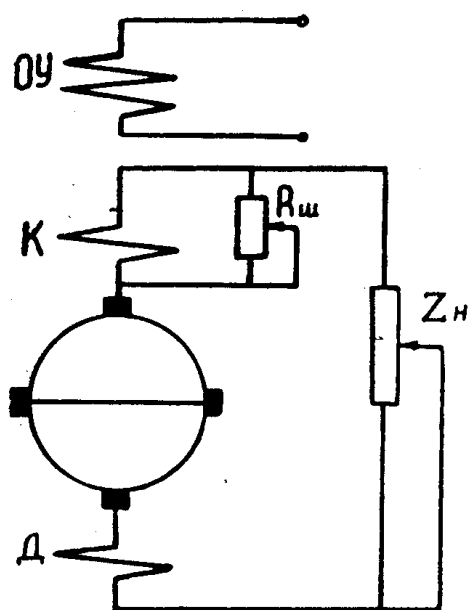


Рис. 1. Схема усилителя.

включены последовательно на сопротивление нагрузки. Эти обмотки включены таким образом, что результирующая трансформаторная э. д. с. очень мала и ею можно пренебречь. Но компенсационная обмотка и коммутируемые в поперечной цепи секции замкнуты соответственно на сопротивление шунта и малое сопротивление щеточного контакта. В результате появления токов в этих контурах от наведенных

э. д. с. трансформации ухудшается коммутация поперечных щеток, мощность обмотки управления возрастает, и коэффициент усиления уменьшается. Кроме того, в контуре компенсационной обмотки при работе ЭМУ на переменном токе нарушается распределение токов, что приводит к расстройству компенсации и ухудшению характеристик.

В поперечной цепи следует рассматривать автотрансформаторную связь. При этом обмотку якоря, замкнутую накоротко через поперечные щетки, можно считать первичной обмоткой автотрансформатора, а коммутируемые секции продольной цепи — вторичной. Коммутируемые в продольной цепи секции находятся в плоскости, перпендикулярной оси поперечного потока, и замкнуты на малое сопротивление щеточного контакта. От поперечного потока в этих секциях индуцируется значительная э. д. с. и возникают большие токи, что приводит к резкому ухудшению коммутации продольных щеток, даже при отсутствии тока нагрузки, увеличению потерь и увеличению эквивалентного активного сопротивления поперечной цепи, которое оказывает сильное влияние на коэффициент усиления ЭМУ.

Например, в ЭМУ-12А мощностью 1,2 кВт и с числом витков в секции якоря $W_c = 4$ при токе поперечной цепи $I_q = 3$ а, что составляет 75% от номинального, при частоте 50 гц трансформаторная э. д. с. коммутируемой секции равна 3,5 в. При этом под продольными щетками наблюдается сильное искрение с подгаром сбегающего края щеток. Эквивалентное сопротивление поперечной цепи при отсутствии продольных щеток равно 5,27 ома, а с ними — 9,3 ома, то есть сопротивление возрастает почти в два раза.

Таким образом, при работе ЭМУ на переменном токе в коммутируемых секциях продольной и поперечной цепей возникают трансформаторные э. д. с. и токи, ухудшающие условия коммутации и неблагоприятно влияющие на характеристики усилителя. Поэтому вопрос исследования процесса коммутации и ее улучшения в ЭМУ поперечного поля при работе на переменном токе является актуальным. Если неблагоприятное влияние компенсационной обмотки с шунтирующим сопротивлением может быть устранено путем наладки компенсации без шунтирования, то влияние коммутации можно лишь ослабить, тщательно изучив этот процесс с целью нахождения эффективных и приемлемых на практике способов улучшения коммутации.

Для ЭМУ поперечного поля характерно своеобразное взаимодействие э. д. с. в коммутируемых секциях. Если рассмотреть коммутируемые секции поперечной цепи, то в них реактивная и трансформаторная э. д. с. взаимодействует в зависимости от частоты и параметров цепи. Для этого случая можно представить векторную диаграмму, приведенную на рис. 2. Поток управления Φ_y наводит в поперечной цепи совпадающую с ним по фазе э. д. с. вращения E_q , а в коммутируемых секциях трансформаторную э. д. с.

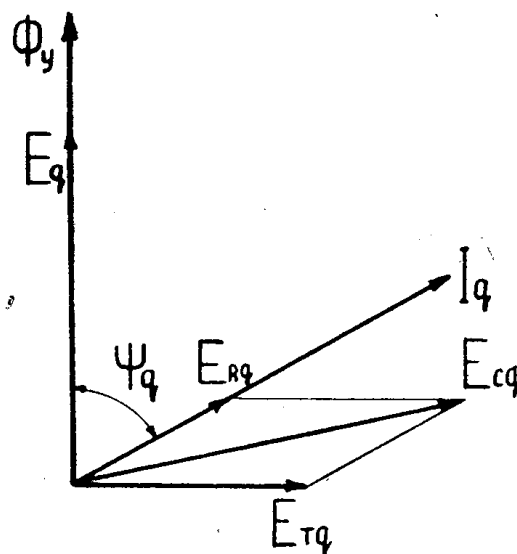


Рис. 2. Векторная диаграмма э. д. с. коммутируемых секций поперечной цепи.

$E_{\tau q}$ отстающую от него на угол $\frac{\pi}{2}$. Под действием э. д. с. вращения в короткозамкнутой поперечной цепи протекает переменный ток I_q , остающийся от E_q на угол

$$\Psi_q = \arctg \frac{X_q}{R_q},$$

где R_q и X_q — активное и индуктивное сопротивления поперечной цепи.

В фазе с этим током находится реактивная э. д. с. секции E_{Rq} . Угол $\Psi_q = \frac{\pi}{2}$ даже на низких частотах, так как активное сопротивление

поперечной цепи очень мало из условия получения высокого коэффициента усиления. В этом случае условия коммутации в поперечной цепи будут наихудшими, так как реактивная и трансформаторная э. д. с. суммируются алгебраически.

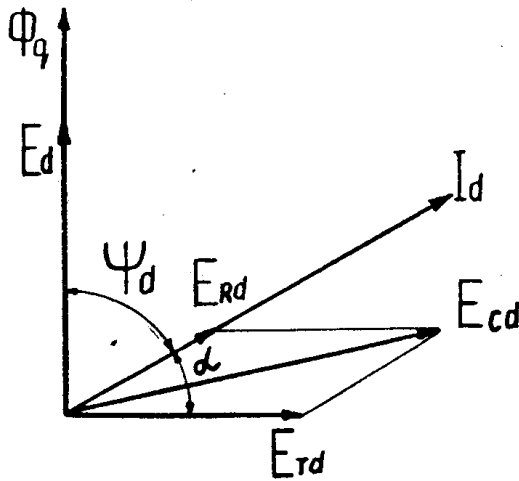


Рис. 3. Векторная диаграмма э. д. с. коммутируемых секций продольной цепи.

Для расширения диапазона пропускания частот усилителя в поперечную цепь включается компенсирующая емкость, создающая резонансный контур. В этом случае ток поперечной цепи совпадает по фазе с э. д. с. вращения, а реактивная и трансформаторная э. д. с. коммутируемых секций находятся в квадратуре, то есть условия коммутации несколько улучшаются.

Условия коммутации в продольной цепи будут зависеть как от величины, так и характера нагрузки. Это видно из векторной диаграммы, проведенной на рис. 3. Основной поперечный поток усилителя Φ_q наводит в обмотке якоря совпадающую с ним по фазе э. д. с. вращения E_d и в коммутируемых секциях продольной цепи отстающую на угол $\frac{\pi}{2}$ трансформаторную э. д. с. $E_{\tau d}$. При включении нагрузки по продольной цепи протекает ток I_d , сдвинутый по фазе относительно E_d на угол

$$\Psi_d = \arctg \frac{X_d}{R_d},$$

где R_d и X_d — активное и реактивное сопротивления продольной цепи и нагрузки.

От тока нагрузки в коммутируемых секциях продольной цепи появляется реактивная э. д. с. E_{Rd} , совпадающая с ним по фазе. В общем случае угол сдвига между E_{Rd} и $E_{\tau d}$ равен α и результирующая э. д. с. коммутируемой секции E_{cd} запишется выражением

$$E_{cd} = \sqrt{E_{Rd}^2 + E_{\tau d}^2 + 2E_{Rd}E_{\tau d} \cos \alpha}. \quad (1)$$

Так как в зависимости от характера тока нагрузки $\alpha = \frac{\pi}{2} \pm \Psi_q$, то выражение (1) можно записать в виде

$$E_{cd} = V \sqrt{E_{Rd}^2 + E_{Td}^2 \pm 2E_{Rd}E_{Td} \sin \Psi_d}, \quad (2)$$

где знак $+$ соответствует индуктивной нагрузке,
знак $-$ соответствует емкостной нагрузке.

Выражение (2) показывает, что результирующая э. д. с. секций, коммутируемых в продольной цепи, зависит не только от величины составляющих E_{Rd} и E_{Td} , но и от характера нагрузки. Причем более тяжелые условия коммутации возникают при индуктивной нагрузке усилителя.

Исследования процесса коммутации в ЭМУ поперечного поля на переменном токе проводятся на реальных усилителях типа ЭМУ-12А по пути, предложенному в [3]. Этот путь сводится к первоначальному раздельному исследованию коммутации в поперечной и продольной цепях с переходом на совместную работу цепей, то есть путь с переходом от простого к сложному. Первый этап позволяет выяснить, как влияет на процесс коммутации переменный ток при отсутствии трансформаторных э. д. с. в коммутируемых секциях.

Исследования, проведенные по этому этапу, показали, что переменный ток при отсутствии трансформаторных э. д. с. по сравнению с постоянным существенного изменения в процесс коммутации не вносит. Это объясняется тем, что за период коммутации мгновенное значение тока практически остается постоянным и условия коммутации так же, как и на постоянном токе, обусловлены параметрами коммутирующих секций и щеточного контакта.

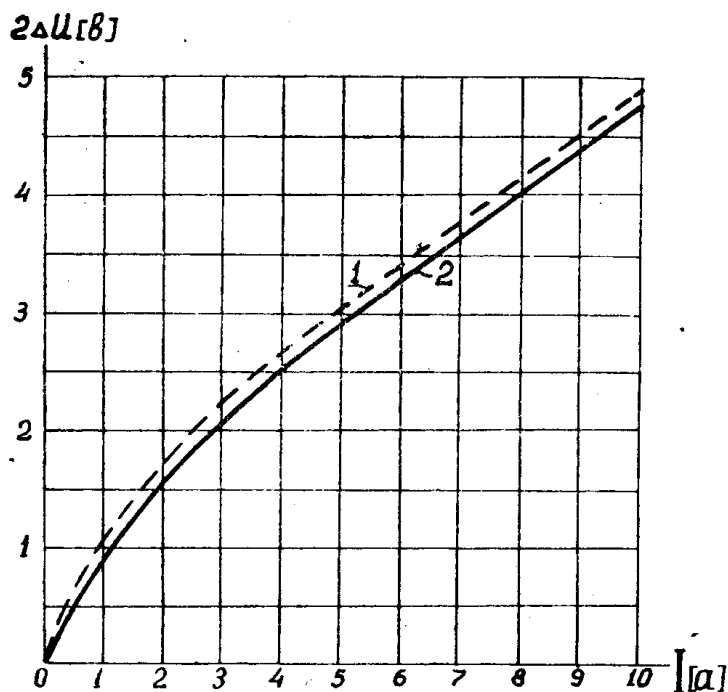


Рис. 4. Статические вольт-амперные характеристики щеток ЭГ-8: 1 — переменный ток частоты 50 Гц, 2 — постоянный ток.

На рис. 4 приведены статические вольтамперные характеристики щеток ЭГ-8, снятые экспериментально на закороченном коллекторе при

постоянном и переменном токе. Они показывают, что сопротивление щеточного контакта на постоянном и переменном токе практически одинаково. Одинаковый характер коммутации при постоянном и пере-

менном токе подтверждают и осциллограммы кривых тока коммутируемых секций, приведенные на рис. 5 и 6, полученные соответственно для поперечной и продольной цепей.

Таким образом, условия коммутации в ЭМУ поперечного поля на переменном токе определяются величиной реактивной и трансформаторной э. д. с. и характером их взаимодействия. Поэтому вопрос улучшения коммутации тесно связан с компенсацией этих э. д. с.

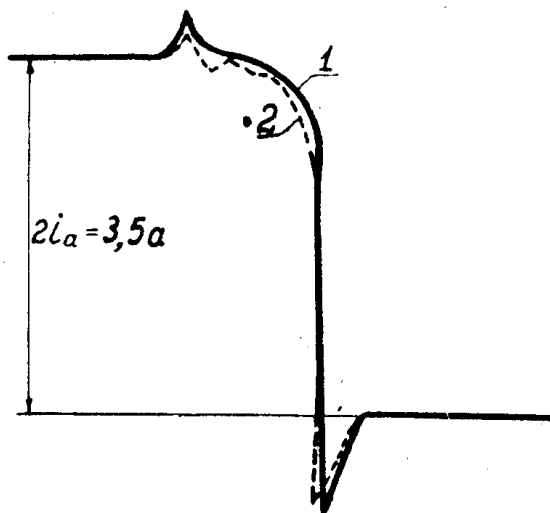


Рис. 5. Кривые тока коммутируемых секций поперечной цепи, питаемой постоянным и переменным током: 1 — переменный ток частоты 50 Гц, 2 — постоянный ток.

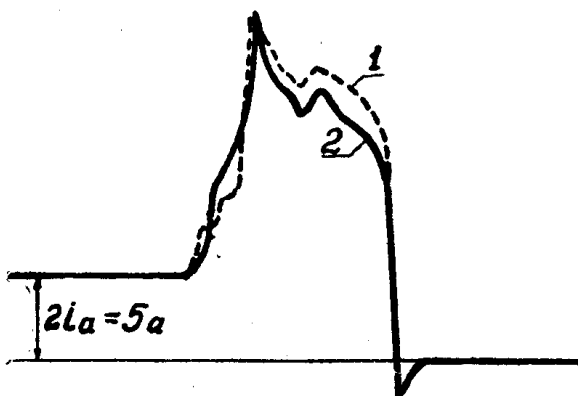


Рис. 6. Кривые тока коммутируемых секций продольной цепи, питаемой постоянным и переменным током, при отключенных дополнительных полюсах: 1 — переменный ток частоты 50 Гц, 2 — постоянный ток.

Выводы

1. Условия коммутации и характеристики при работе ЭМУ поперечного поля на переменном токе ухудшаются за счет трансформаторных связей коммутируемых секций с обмотками усилителя.

2. Условия коммутации при работе ЭМУ поперечного поля на переменном токе зависят не только от параметров секций и щеточного контакта, но и от параметров цепей усилителя и характера нагрузки.

3. Переменный ток при отсутствии трансформаторных э. д. с. в коммутируемых секциях существенных изменений в процесс коммутации не вносит.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. М. Александров. Применение электромашинного усилителя поперечного поля в системах привода, как генератора тока переменной частоты. Сб. работ по вопросам электромеханики, в. 2, 1958.
2. В. В. Рудаков. Электромашинные усилители в системах автоматики. ГЭИ, 1961.
3. А. И. Скороспешкин. Коммутация электромашинных усилителей с поперечным полем. Диссертация, г. Томск, 1960.