

## ОСОБЕННОСТИ НАСТРОЙКИ КОМПЕНСАЦИИ В ЭМУ ПОПЕРЕЧНОГО ПОЛЯ ПРИ РАБОТЕ НА ПЕРЕМЕННОМ ТОКЕ

Б. И. КОСТЫЛЕВ, А. И. СКОРОСПЕШКИН, Э. Ф. ОБЕРГАН

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин и общей  
электротехники)

Электромашинные усилители поперечного поля находят широкое применение в системах автоматики и регулируемого электропривода. Чаще всего в этих системах ЭМУ работают в динамическом режиме. Кроме того, ЭМУ поперечного поля находят применение в системах переменного тока и в установках с параметрическими генераторами [1, 2]. В этих установках ЭМУ работают при непрерывно изменяющемся сигнале управления.

При работе ЭМУ поперечного поля на переменном токе и в динамическом режиме на постоянном токе появляются свои специфические особенности по сравнению со статическим режимом работы на постоянном токе, обусловленные переменным сигналом управления. Эти особенности прежде всего касаются настройки компенсации реакции якоря по продольной оси усилителя.

На постоянном токе необходимая степень компенсации реакции якоря в ЭМУ настраивается с помощью переменного сопротивления  $R_{ш}$ , шунтирующего компенсационную обмотку  $K$ , которая рассчитана на некоторую перекомпенсацию (5—8%). Этот способ настройки компенсации хорошо зарекомендовал себя при работе на постоянном токе, давая устойчивую компенсацию во всем диапазоне нагрузки.

При работе ЭМУ с переменным сигналом управления указанный способ настройки компенсации ухудшает такие основные характеристики, как коэффициент усиления, быстродействие и устойчивость степени компенсации.

Компенсационную обмотку с шунтирующим сопротивлением можно рассматривать как вторичный контур трансформатора по отношению к обмотке управления. Поэтому ток обмотки управления, как первичной обмотки трансформатора, запишется следующим выражением:

$$\dot{I}_y = \dot{I}_{y0} + (-\dot{I}_{ш}), \quad (1)$$

где  $\dot{I}_{y0}$  — намагничивающая составляющая тока обмотки управления,  
 $\dot{I}_{ш}$  — составляющая тока обмотки управления, необходимая для компенсации намагничивающей силы компенсационной обмотки, возникающей при протекании по ней вторичного трансформаторного тока.

Выражение (1) показывает, что за счет шунтирования компенсационной обмотки сопротивлением ток управления при работе на переменном токе должен возрасти по сравнению с постоянным при том же потоке управления. Причем, с увеличением частоты сигнала управления

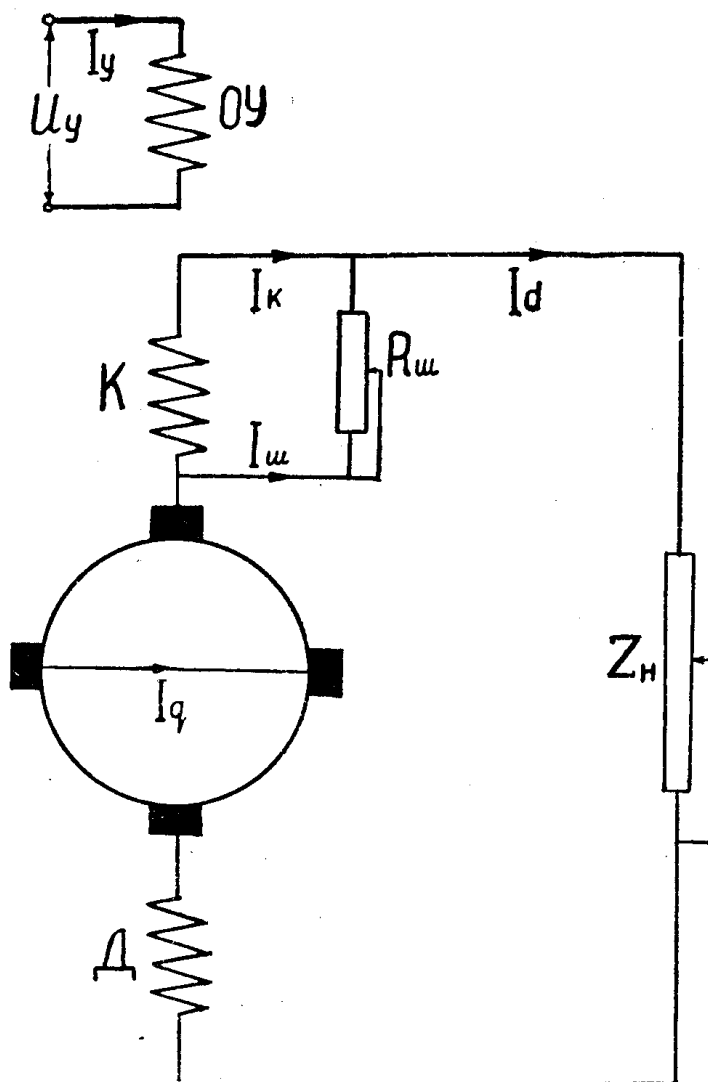


Рис. 1. Принципиальная схема ЭМУ поперечного поля.

ния ток управления должен возрастать за счет роста второй составляющей. Так как э. д. с. поперечной цепи пропорциональна потоку управления, то изменение тока управления можно определить по характеристикам холостого хода первой ступени при различных частотах сигнала управления. На рис. 2 представлены такие характеристики, полученные экспериментально для ЭМУ-12А, имеющего следующие данные:  $P_n = 1,2 \text{ кВт}$ ;  $U_n = 115 \text{ в}$ ;  $I_{дн} = 10,4 \text{ а}$ ;  $n = 2900 \text{ об/мин}$ ;  $W_y = 675 \text{ витков}$ ; компенсация на постоянном токе единичная.

Из приведенных кривых видно, что с увеличением частоты сигнала управления при том же потоке ток управления возрастает. Так, при частоте  $f=25 \text{ гц}$  ток управления возрастает вдвое, а при  $f=50 \text{ гц}$  — втрое

по сравнению с током при постоянном сигнале управления. Это означает, что коэффициент усиления ЭМУ, равный

$$K_y = \frac{U_d I_d}{U_y I_y}, \quad (2)$$

где  $U_y$  и  $I_y$  — напряжение и ток обмотки управления;  
 $U_d$  и  $I_d$  — напряжение и ток на выходе усилителя,

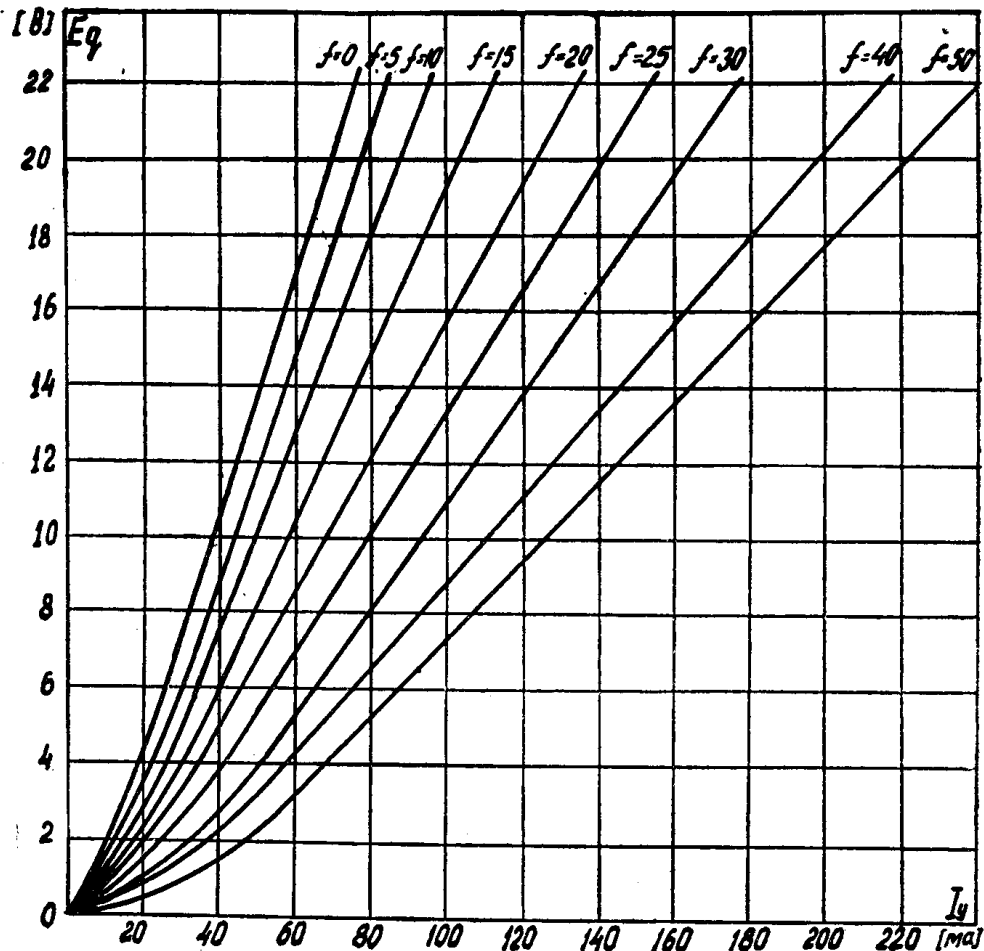


Рис. 2. Характеристики холостого хода первой ступени усилителя при различных частотах сигнала управления.

уменьшается при  $f=25$  гц в 2 раза, а при  $f=50$  гц в 3 раза только за счет трансформаторной связи обмотки управления и контура компенсационной обмотки.

Стабильность основных характеристик ЭМУ в значительной степени зависит от устойчивости компенсации реакции якоря. При работе на постоянном токе намагничивающие силы компенсационной обмотки и обмотки якоря по продольной оси направлены встречно, причем намагничивающая сила компенсационной обмотки регулируется по величине за счет распределения тока между компенсационной обмоткой и шунтирующим сопротивлением.

При работе ЭМУ на переменном токе нарушается распределение тока и условие противофазности намагничивающих сил, так как появляется сдвиг по фазе между током якоря и током компенсационной об-

мотки. Действительно, для компенсационной обмотки с шунтирующим сопротивлением можно построить векторную диаграмму, представленную на рис. 3. На диаграмме приняты обозначения:

- $I_{ш}$  — ток шунта;
- $I_k$  — ток компенсационной обмотки;
- $U_k$  — общее падение напряжения на компенсирующем контуре;
- $\Psi = \arctg \frac{x_k}{R_k}$  — угол сдвига тока компенсационной обмотки относительно вектора падения напряжения;
- $R_k$  и  $x_k$  — активное и реактивное сопротивление компенсационной обмотки;
- $I_d$  — общий ток цепи или ток якоря;
- $\varphi$  — угол сдвига общего тока относительно вектора падения напряжения.

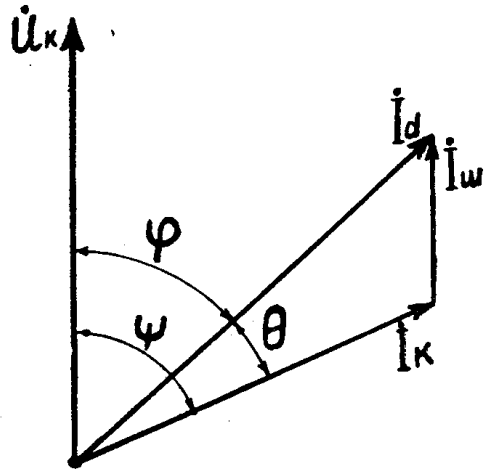


Рис. 3. Векторная диаграмма контура компенсационная обмотка — шунтирующее сопротивление.

Как видно из диаграммы, сдвиг по фазе между током компенсационной обмотки и током якоря равен  $\theta = \Psi - \varphi$ , а сдвиг по фазе между их намагничивающими силами ввиду встречного включения обмоток равен  $180^\circ - \theta$ . При  $x_k > 0$  угол  $\theta > 0$  и условие противофазности намагничивающих всегда будет нарушено, что приведет к изменению степени компенсации. Кроме того, распределение токов между компенсационной обмоткой и шунтирующим сопротивлением, зависящее от величины индуктивного сопротивления рассеяния компенсационной обмотки  $x_k$ , будет изменяться с изменением частоты. При этом с увеличением частоты ток компенсационной обмотки будет уменьшаться, а ток шунта увеличиваться. Следовательно, при наличии шунтирующего сопротивления намагничивающая сила компенсационной обмотки будет переменной по величине и по фазе в зависимости от частоты сигнала управления.

Изменение степени компенсации можно анализировать по относительному изменению тока поперечной цепи, который в первом приближении пропорционален потоку продольной оси. На рис. 4 приведены кривые  $I_q^* = f(I_d^*)$ , полученные экспериментально для ЭМУ-12А при единичной компенсации, настроенной на постоянном токе, и различных частотах сигнала управления. Значения токов даны в относительных единицах, причем за единицу приняты номинальное значение тока нагрузки  $I_{дн}$  и ток поперечной цепи при холостом ходе  $I_{q0}$ .

Полученные кривые показывают, что степень компенсации зависит как от частоты, так и от нагрузки. За счет перераспределения тока между компенсационной обмоткой и шунтирующим сопротивлением намагничивающая сила компенсационной обмотки уменьшается, что соответствует работе усилителя в режиме недокомпенсации. Казалось бы, в этом случае степень недокомпенсации должна увеличиваться с увеличением частоты, как это имеет место для кривых при  $f=5$  гц и  $f=10$  гц. Однако, как видно из кривых, при более высоких частотах недокомпенсация уменьшается, и при некоторых значениях частоты и

нагрузки появляется склонность к перекомпенсации. Это можно объяснить с помощью векторной диаграммы усилителя, приведенной на рис. 5.

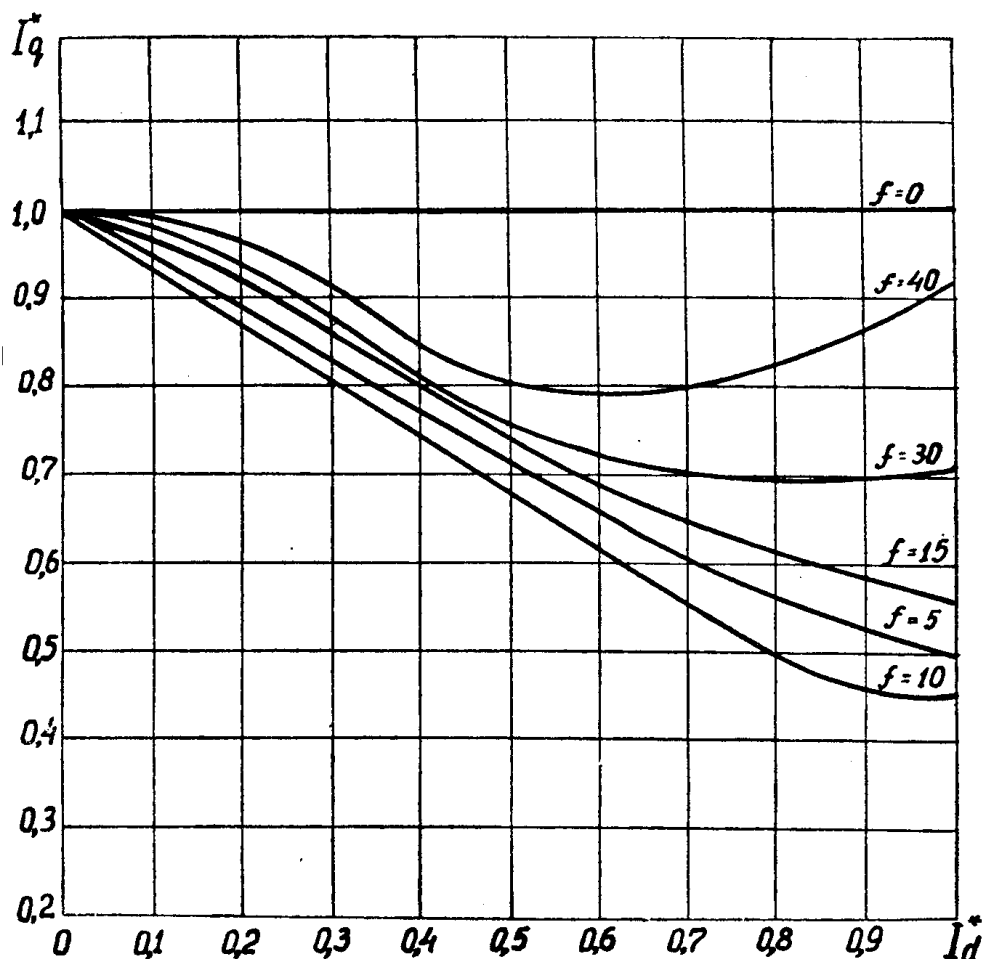


Рис. 4. Зависимости тока поперечной цепи от тока нагрузки при работе ЭМУ на переменном токе различной частоты по обычной схеме.

На приведенной диаграмме вектор  $k_d I_d$  определяет нескомпенсированный поток реакции якоря в масштабе тока управления. Этот поток пропорционален току нагрузки  $I_d$  и в случае недокомпенсации находится с ним в противофазе. При определенных условиях

$\left( \Psi_d + \Psi_q > \frac{\pi}{2} \right)$  появится продольно-подмагничивающая составляющая

тока нагрузки, то есть наступит перекомпенсация. Как видно из диаграммы, условия для возникновения перекомпенсации определяются параметрами поперечной цепи, продольной цепи и нагрузки. Так как реактивные сопротивления пропорциональны частоте, то характер компенсации будет различным для различных частот, а вероятность появления перекомпенсации возрастает с увеличением частоты. Поэтому кривые на рис. 4 с увеличением частоты имеют большое отклонение от оси абсцисс вверх.

Проведенный анализ показывает, что шунтирование компенсационной обмотки неблагоприятно влияет на динамические свойства и их основные характеристики при работе на переменном токе. Поэтому

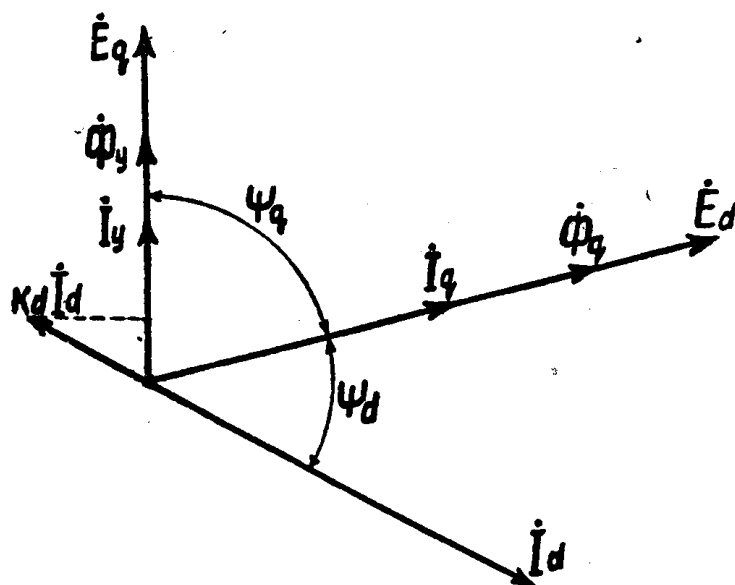


Рис. 5. Векторная диаграмма усилителя при недокомпенсации.

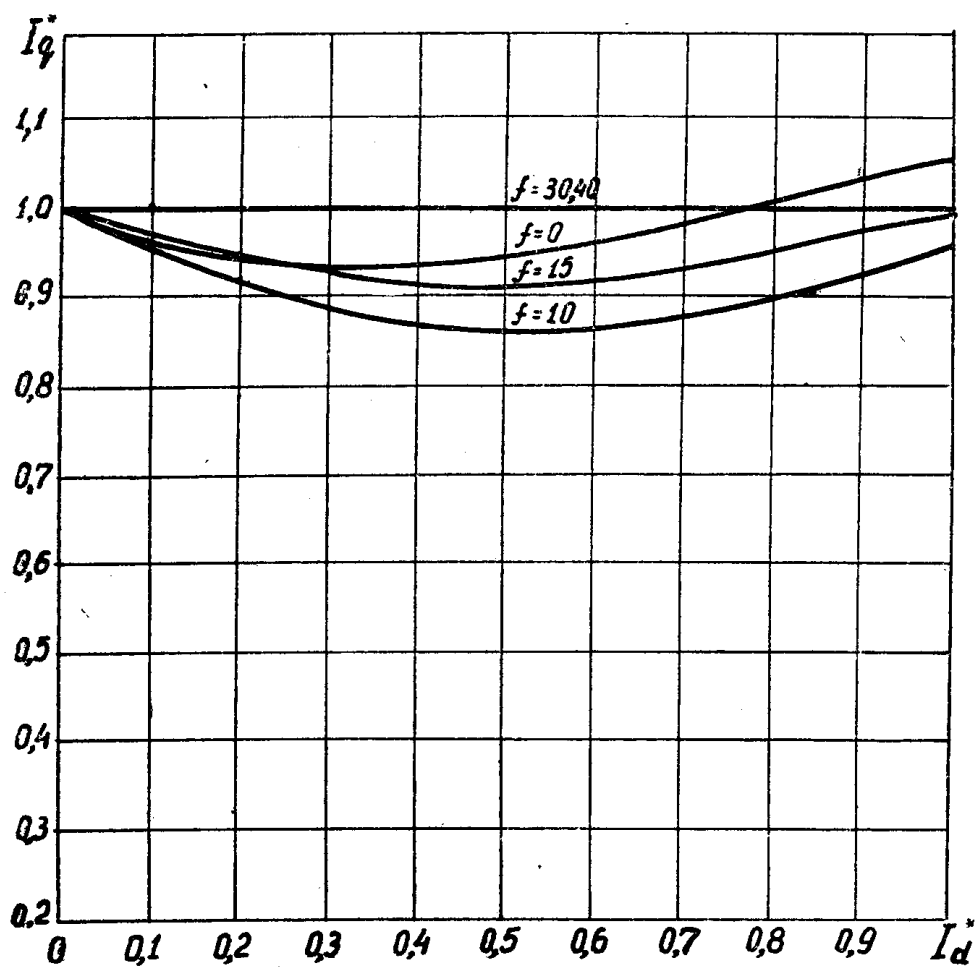


Рис. 6. Зависимости тока поперечной цепи от тока нагрузки при работе ЭМУ на переменном токе различной частоты по схеме без шунтирующего сопротивления.

целесообразно рассчитывать компенсационную обмотку на единичную компенсацию, варьируя числом витков и распределением. В этом случае компенсация будет обеспечиваться независимо от частоты сигнала управления, что повысит стабильность основных характеристик усилителя.

Для проверки этого положения были проведены испытания двух усилителей ЭМУ-12А, имеющих компенсационную обмотку, обеспечивающую близкую к единичной компенсации без шунтирующего сопротивления. Полученные при испытаниях зависимости  $I_q'' = f(I_d'')$  представлены на рис. 6. Эти кривые подтверждают, что для таких условий степень компенсации мало изменяется с изменением частоты.

По полученным результатам можно сделать следующие выводы. Шунтирование компенсационной обмотки сопротивлением при работе ЭМУ поперечного поля на переменном токе и в динамическом режиме на постоянном токе неблагоприятно влияет на основные характеристики усилителя.

За счет трансформаторной связи обмотки управления и компенсационной уменьшается коэффициент усиления.

За счет изменения намагничивающей силы компенсационной обмотки по величине и по фазе нарушается степень компенсации реакции якоря, что приводит к неустойчивости основных характеристик усилителя.

Применение компенсационной обмотки, рассчитанной на единичную компенсацию без включения шунтирующего сопротивления, улучшает динамические свойства и стабильность характеристик усилителя.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. В. Рудаков. Электромашинные усилители в системах автоматики. ГЭИ, 1961.
  2. Ю. М. Александров. Применение электромашинного усилителя поперечного поля в системах привода как генератора тока переменной частоты. Сб. работ по вопросам электромеханики, вып. 2, 1958.
  3. Н. А. Моносзон. Электромашинный усилитель и принципы применения его в схемах. Изд. ВМ Академии кораблестроения им. Крылова, 1950.
-