

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ НАСЫЩЕНИЯ ПРИ РАБОТЕ ЭМУ ПОПЕРЕЧНОГО ПОЛЯ НА ПЕРЕМЕННОМ ТОКЕ

А. И. СКОРОСПЕШКИН, Б. И. КОСТЫЛЕВ, Ш. С. РОИЗ

(Рекомендовано научным семинаром кафедр электрических машин и общей электротехники.)

Проблема создания электромашинных усилителей (бесколлекторных и коллекторных), работающих на переменном токе, в последние годы и в настоящее время выдвигается все возрастающей в них потребностью в связи с развитием различных систем управления на переменном токе, регулируемого электропривода, систем с параметрическими генераторами и электромашинными усилителями для частотных исследований различных электромеханических и следящих систем. Кроме того, во многих случаях работа электромашинных усилителей связана с часто повторяющимися переходными процессами, т. е. при изменяющихся во времени токах и напряжениях.

Проблема регулируемого электропривода переменного тока с использованием к. з. асинхронного двигателя за последние годы приобрела большое практическое значение. Как известно, наиболее качественным и экономичным способом регулирования скорости асинхронного двигателя является регулирование изменением частоты подводимого к двигателю напряжения. В таких системах возможно применение стандартного электромашинного усилителя поперечного поля, как однофазного генератора тока переменной частоты.

При работе усилителя поперечного поля на переменном токе появляются свои особенности, которые влияют на коэффициент усиления, настройку компенсации, коммутацию. К настоящему времени работа усилителя поперечного поля на переменном токе и методика его расчета исследованы и разработаны недостаточно.

При расчете ЭМУ важное значение имеет характеристика холостого хода выходной ступени. Она служит основой для выбора рабочей точки и отражает степень использования магнитного материала машины. Поэтому практически всегда рассчитывается полная характеристика, включая и зону насыщения, хотя рабочая точка может находиться и в ненасыщенной зоне, как это имеет место в усилителях. Расчет этой характеристики на постоянном токе не вызывает затруднений и проводится по методике [1].

При расчете ЭМУ переменного тока необходимо учитывать следующую особенность.

Так как расчет магнитной цепи усилителя, как и любой электрической машины, производится по амплитудному значению индукции или магнитного потока, то кривая намагничивания машины будет одинаковой на постоянном и переменном токе. Однако в конечном итоге интересуется характеристика холостого хода, выраженная в действующих значениях выходной э. д. с. и намагничивающего тока. При этом в случае ненасыщенной машины характеристика холостого хода будет

отличаться от характеристики в максимальных значениях только масштабом, который изменится по обеим осям в $\sqrt{2}$ раза. В случае насыщения машины эта закономерность нарушается за счет нелинейности кривой намагничивания, которая приводит к несинусоидальности тока поперечной цепи с явно выраженной третьей и пятой высшими гармоническими. Магнитный поток при этом остается синусоидальным, так как в поперечной цепи получается синусоидальное напряжение.

В результате различного воздействия насыщения на постоянном и переменном токе характеристики холостого хода получаются различными в зоне насыщения. При этом на переменном токе она должна проходить несколько ниже, чем на постоянном, так как действующее значение тока меньше амплитудного более чем в $\sqrt{2}$ раз. Поэтому для расчета характеристики холостого хода на переменном токе необходимо пользоваться разложением на первую и высшие гармонические несинусоидальной кривой тока, полученной из кривой намагничивания усилителя по поперечной оси, с целью нахождения действующего значения тока. В большинстве случаев достаточно определить первую гармоническую, так как ее действующее значение мало отличается от действующего значения тока поперечной цепи, равного

$$I_2 = \sqrt{I_{1.1}^2 + I_{1.3}^2 + I_{1.5}^2},$$

где $I_{2.1}$; $I_{2.3}$; $I_{2.5}$ — действующие значения тока первой, третьей и пятой гармонических.

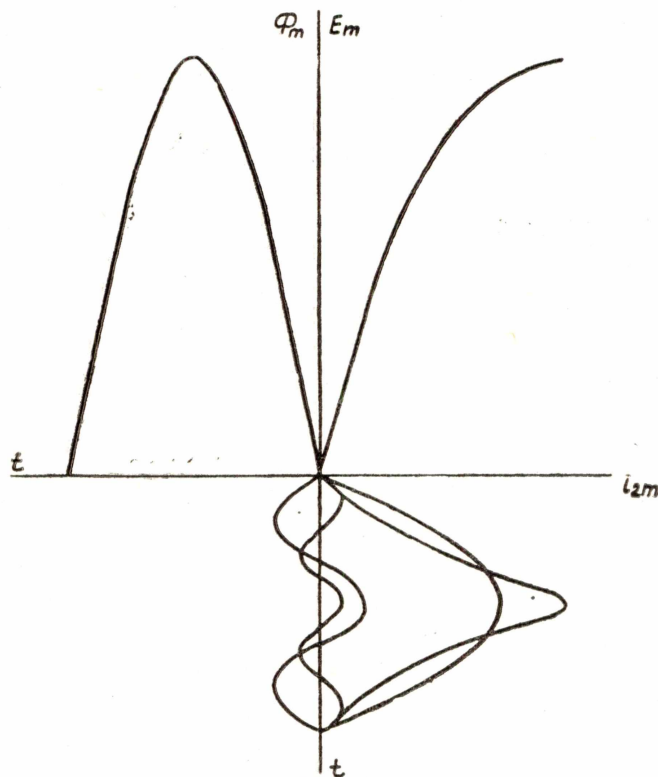


Рис. 1. Графический способ разложения кривой тока поперечной цепи.

Определение кривой тока и ее разложение можно проводить графически, как это показано на рис. 1, и аналитически.

Действительно, кривую намагничивания усилителя по поперечной оси $\Phi_2 = f(i_2)$, полученную в результате расчета магнитной цепи,

можно с некоторым приближением представить выражением [2]

$$i_2 = a\Phi_2 + b\Phi_2^\beta, \quad (1)$$

где коэффициенты a и b и показатель степени β могут быть найдены по начальному наклону и двум точкам характеристики (рис. 2).

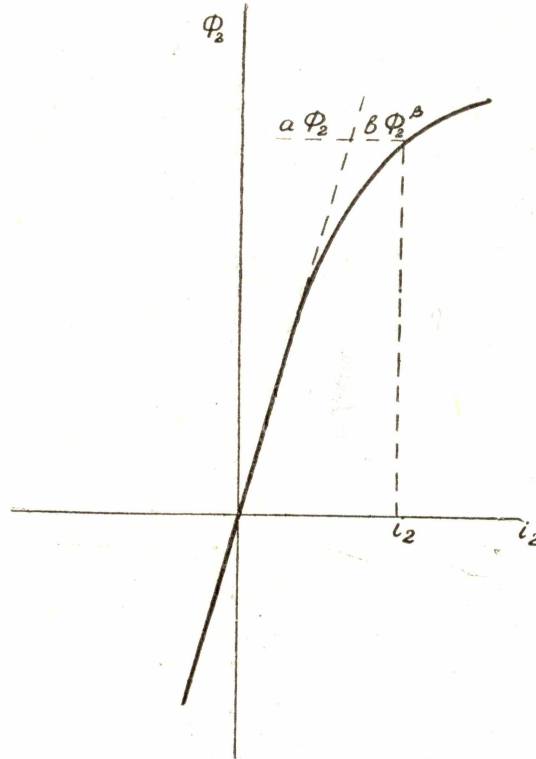


Рис. 2. Кривая намагничивания по поперечной оси усилителя.

Так как магнитный поток синусоидален, то $\Phi_2 = \Phi_m \sin \omega t$ и согласно равенству (1)

$$\begin{aligned} i_2 &= a\Phi_m \sin \omega t + b\Phi_m^\beta \sin^\beta \omega t = \\ &= (a\Phi_m + a_1) \sin \omega t + a_3 \sin 3\omega t + a_5 \sin 5\omega t + \dots, \end{aligned}$$

где коэффициенты a_1, a_3, a_5 определяются путем разложения функции $\sin^\beta \omega t$ в гармонический ряд.

Общая формула для этих коэффициентов имеет вид

$$a_k = \frac{2}{\pi} \int_0^\pi F(\alpha) \sin_k \alpha d\alpha,$$

где $\alpha = \omega t$.

Для рассматриваемой функции

$$a_k = \frac{2}{\pi} \int_0^\pi b\Phi_m \sin^\beta \alpha \sin_k \alpha d\alpha.$$

Полученный интеграл при $\beta > 0$ можно определить через бета-функцию B

$$\int_0^{\pi} \sin^{\beta} \alpha \sin_{\kappa} \alpha d\alpha = \frac{\pi \cdot \sin \frac{\kappa \pi}{2}}{2^{\nu-1} \cdot \nu \cdot B\left(\frac{\nu + \kappa + 1}{2}, \frac{\nu - \kappa + 1}{2}\right)},$$

где $\nu = \beta + 1$

$$B\left(\frac{\nu + \kappa + 1}{2}, \frac{\nu - \kappa + 1}{2}\right) = \frac{\Gamma\left(\frac{\nu + \kappa + 1}{2}\right) \cdot \Gamma\left(\frac{\nu - \kappa + 1}{2}\right)}{\Gamma(\nu + 1)}.$$

Здесь Γ — гамма-функция.

На рис. 3 приведены характеристики холостого хода ЭМУ-12А на постоянном токе (1) и на переменном токе (2, 3, 4), полученные соответственно графически, аналитически по изложенной методике и экспериментально.

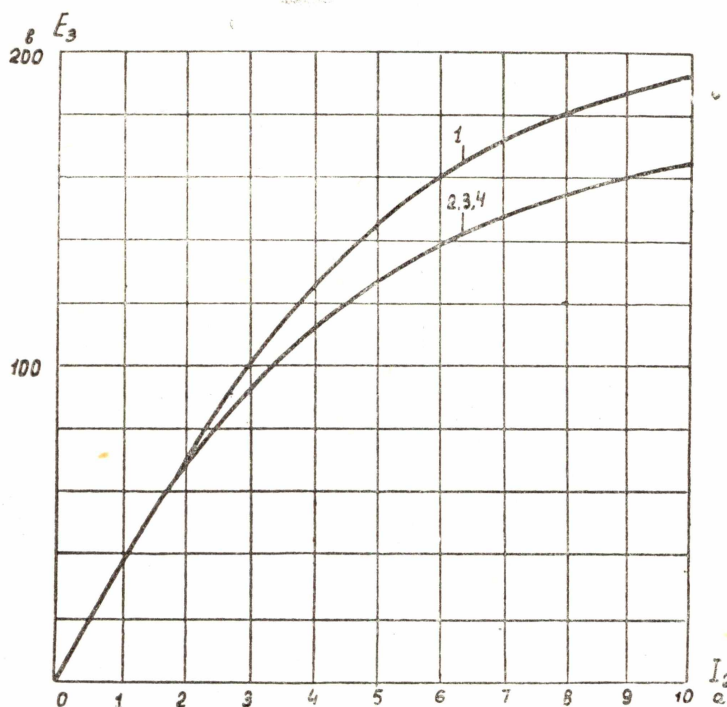


Рис. 3. Характеристики холостого хода выходной ступени усилителя ЭМУ-12А на постоянном и переменном токе. 1 — постоянный ток, 2, 3, 4 — переменный ток.

Кривые показывают хорошую сходимость расчета с экспериментом и значительное различие характеристик холостого хода на постоянном и переменном токе. Это различие приводит к тому, что при стремлении получить от усилителя на переменном токе такое же напряжение, как и на постоянном, приходится значительно увеличивать ток поперечной цепи, так как рабочая точка оказывается в насыщенной части характеристики холостого хода.

Увеличение тока поперечной цепи при той же снимаемой мощности приводит к перегрузке обмотки якоря, ухудшению условий комму-

тации поперечных щеток и уменьшению коэффициента усиления. Кроме этого, учитывая, что усилитель должен работать при ненасыщенной магнитной системе, то при питании его переменным током выходное напряжение, а следовательно, и мощность, должны быть меньше чем на постоянном токе.

Выводы

1. Насыщение стали магнитопровода ЭМУ неодинаково влияет на характеристики усилителя при работе на постоянном и переменном токе. При работе на переменном токе насыщение не влияет на форму выходного напряжения, но искажает кривую тока поперечной цепи и уменьшает выходное напряжение.

2. Для обеспечения нормальной работы усилителя на переменном токе необходимо снижать выходную э. д. с. и мощность по сравнению с постоянным током.

3. Расчет характеристики холостого хода выходной ступени ЭМУ необходимо проводить с учетом нелинейности кривой намагничивания и несинусоидальности тока поперечной цепи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ф. А. Горяинов. Электромашинные усилители. ГЭИ, 1962.
2. Г. Н. Петров. Электрические машины. Часть 1, ГЭИ, 1956.
3. И. С. Градштейн и И. М. Рыжик. Таблицы интегралов сумм, рядов и произведений. Физматгиз, 1963.