

СОЧЛЕНЕНИЕ ПРОМЕЖУТОЧНОГО МАГНИТНОГО УСИЛИТЕЛЯ С ЭЛЕКТРОННОЙ МОДЕЛЬЮ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО УСИЛИТЕЛЯ

В. П. Ломакин

В различных промышленных электроприводах широко используются промежуточные магнитные усилители (ПМУ), которые служат промежуточным каскадом усиления и управляют электромашинным услителем (рис. 1). Рассмотрим особенности электронного моделирования такой системы.

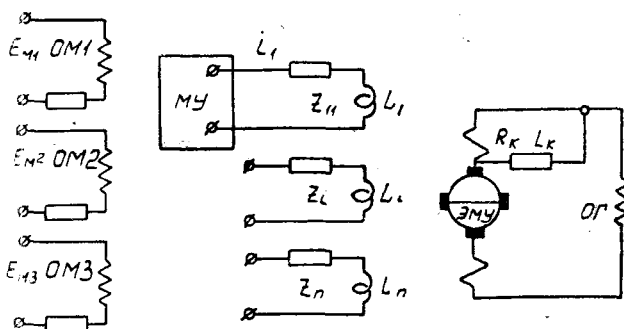


Рис. 1. Принципиальная схема системы ЭМУ — ПМУ.

Электронное моделирование ЭМУ подробно рассмотрено в [1]. Таким образом, достаточно установить способы моделирования ПМУ и сочленения моделей ПМУ и ЭМУ. Очевидно, что при исследовании сложной электрохимической системы на электронной модели ПМУ целесообразно моделировать физическим методом в масштабе 1:1, т. е. использовать реальное устройство, сочленяя его с электронной моделью остальной моделирующей системы. Применение реального ПМУ при моделировании упрощает электронную модель, повышает точность воспроизведения переходных процессов.

На рис. 2 показана принципиальная схема сочленения ПМУ с электронной моделью (ЭМ). На выход ПМУ включается нагрузка, параметры которой идентичны параметрам реальной нагрузки. На вход определенного счетно-решающего элемента ЭМ подается напряжение, пропорциональное или току, или напряжению выхода ПМУ. Если моделируемая система имеет обратные связи, воздействующие на вход ПМУ, то напряжение выхода соответствующего решющего элемента ЭМ подается на обмотку управления ПМУ.

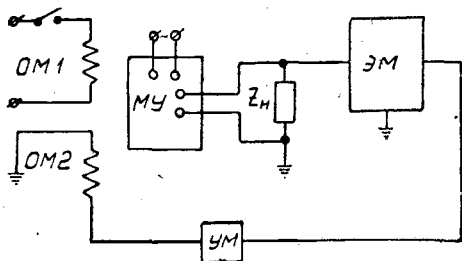


Рис. 2. Принципиальная схема сочленения ПМУ с электронной моделью.

Если предельная мощность выхода решающих элементов недостаточна для питания обмоток ПМУ, то необходимо применить усилитель мощности УМ, например, весьма простой катодный повторитель.

Нагрузкой ПМУ в рассматриваемом случае служит обмотка управления ЭМУ, связанная взаимной индукцией с другими обмотками управления ЭМУ и его компенсационной обмоткой. Поэтому модель нагрузки можно представить в виде ненасыщенной магнитной системы, так как продольную магнитную цепь ЭМУ можно рассматривать, как линейную магнитную систему [2].

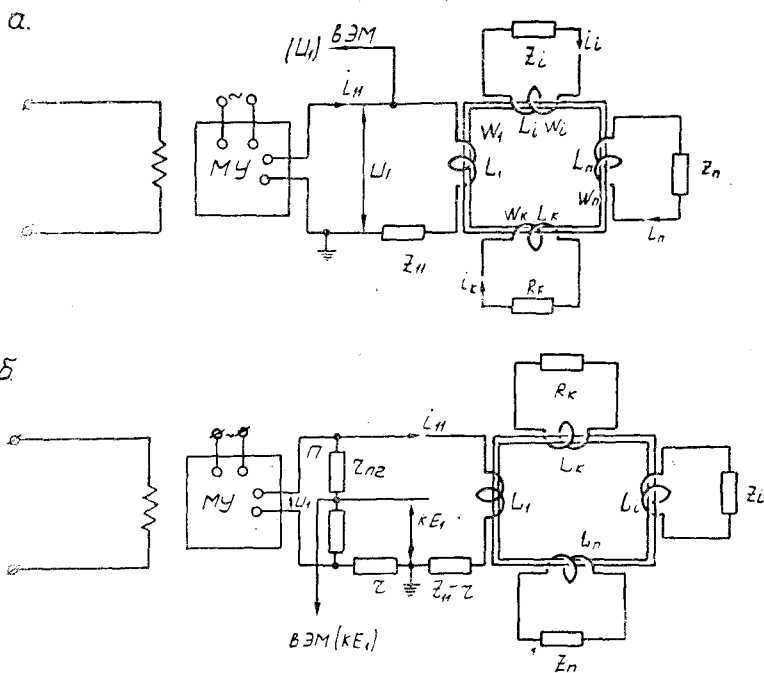


Рис. 3. Схемы включения ПМУ.

Если модель нагрузки ПМУ выполнить по схеме рис. 3, а, то она позволит правильно учесть влияние магнитосвязанных контуров обмоток ЭМУ на эквивалентную постоянную времени нагрузки ПМУ. Составляющая э. д. с. взаимной индукции, которая наводится в обмотке 1 ЭМУ, т. е. в цепи выхода ПМУ, в результате изменения напряжения источников питания остальных обмоток управления ЭМУ, в модели нагрузки ПМУ не учитывается. Она учитывается в электронной модели ЭМУ. Поэтому режим работы ПМУ в реальных условиях несколько отличается от режима работы рассматриваемой модели, однако, как показал экспериментальный анализ, это отличие весьма незначительно.

Если внутренним сопротивлением выхода ПМУ можно пренебречь, то есть э. д. с. выхода ПМУ E_1 можно принять равной напряжению выхода U_1 , то для сочленения физической модели ПМУ с электронной моделью ЭМУ достаточно подать напряжение выхода ПМУ на вход счетно-решающего усилителя ЭМ, на выходе которого воспроизводится ток обмотки 1 ЭМУ с учетом взаимоиндуктивной связи с остальными обмотками ЭМУ и сопротивления Z_{11} (например, на вход усилителя 1

схемы, приведенной на рис. 3, а в [1]. Этот счетно-решающий усилитель будем в дальнейшем называть 1У.

Рассмотрим случай, когда внутренним сопротивлением выхода ПМУ пренебречь нельзя. С достаточной точностью можно полагать, что внутреннее сопротивление ПМУ является активным сопротивлением R_m , и

$$E_1 = U_1 + R_m i_{11}.$$

Напряжение kE_1 , пропорциональное э. д. с. выхода ПМУ, воспроизводится с помощью схемы рис. 3, б и подается на вход усилителя 1У электронной модели ЭМУ через сопротивление, намного большее сопротивления $r_{п1}$. При этом сопротивление $r_{п1} + r_{п2}$ должно быть достаточно большим по сравнению с сопротивлением нагрузки ПМУ и должно соблюдаться условие

$$\frac{r}{R_m} = \frac{r_{п1}}{r_{п1} + r_{п2}}; \quad k = \frac{r}{R_m}.$$

Применение многообмоточной магнитной системы в качестве модели нагрузки ПМУ связано с определенными трудностями, так как требует специального изготовления.

В ряде случаев последовательно с обмотками управления ЭМУ включены только активные сопротивления. Для этих случаев модель нагрузки ПМУ можно значительно упростить.

Составим систему уравнений для многообмоточной магнитной системы рис. 3, а при $Z_i = R_i$:

$$\begin{aligned} E_1 &= R_1 i_{11} + W_1 p \phi; \\ 0 &= R_i i_{1i} + W_i p \phi; \\ 0 &= R_n i_{1n} + W_n p \phi; \\ 0 &= R_k i_{1k} + W_k p \phi; \end{aligned}$$

$$\phi = \frac{L_1}{W_1} \left(i_{11} + \frac{1}{K_k} i_{1k} + \sum_{i=2}^n \frac{1}{K_i} i_{1i} \right),$$

где ϕ — результирующий поток в магнитной системе;
 p — оператор дифференцирования;

$$k_i = \frac{W_1}{W_i}; \quad k_k = \frac{W_1}{W_k}; \quad R_1 = R_m + R_{11}.$$

В результате решения этой системы уравнений получаем:

$$i_{11} = \frac{1}{T_y p + 1} \cdot \frac{E_1}{R_1} + \frac{T_k + \sum_{i=2}^n T_i}{T_y p + 1} \cdot \frac{E_1}{R_1}; \quad (1)$$

$$i_{1i} = - \frac{T_1 p}{T_y p + 1} \cdot \frac{E_1}{k_i R_i};$$

$$i_{1k} = - \frac{T_1 p}{T_y p + 1} \frac{E_1}{k_k R_k};$$

$$i_m = i_{11} + \frac{1}{k_k} i_{1k} + \sum_{i=2}^n \frac{1}{k_i} i_{1i} = \frac{1}{T_y p + 1} \frac{E_1}{R_1}, \quad (2)$$

где

$$T_y = T_1 + T_k + \sum_{i=2}^n T_i$$

T_y — эквивалентная постоянная времени;
 T_1, T_k, T_i — постоянные времени замкнутых контуров соответствующих обмоток;

i_m — намагничивающая составляющая тока i_{11} .

На основании (1) можно упростить модель нагрузки, заменив все короткозамкнутые обмотки одной обмоткой с эквивалентной постоянной

времени $T_{23} = T_k + \sum_{i=2}^n T_i$. Такую магнитную систему модели нагрузки,

имеющую две обмотки с постоянными времени T_1 и T_{23} , будем называть двух-обмоточной.

Рассмотрим дальнейшее упрощение модели нагрузки ПМУ при тех же условиях ($Z_i = R_i$). Для схемы, приведенной на рис. 4, а, можно составить следующие уравнения:

$$i_{11} = \frac{1}{L_3 p + 1} \cdot \frac{E_1}{R_1} + \frac{C p}{R C p + 1} E_1,$$

$$i_m = \frac{1}{L_3 p + 1} \cdot \frac{E_1}{R_1}.$$

Сравнивая эти уравнения с (1) и (2), приходим к выводу, что модель нагрузки с одной обмоткой, схема которой приведена на рис. 4, а, эквивалентна

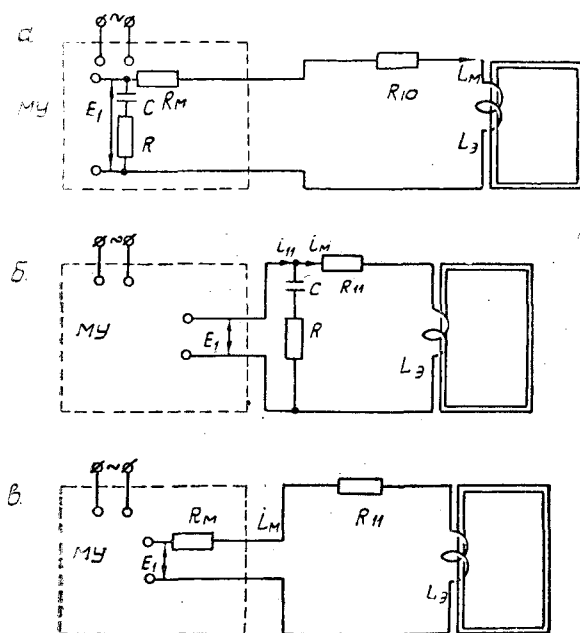


Рис. 4. Схемы моделей нагрузки ПМУ.

модели с двухобмоточной магнитной системой при соблюдении следующих условий:

$$L_3 = T_y R_1;$$

$$C = \frac{T_k + \sum_{i=2}^n T_i}{R_1} = \frac{T_y - T_1}{R_1};$$

$$R = \frac{T_y}{T_y - T_1} R_1.$$

Такая схема модели значительно проще, так как требует только одной обмотки, однако она практически не выполнима, ибо ветвь, состоящая из R и C , не может быть включена между источником э. д. с. E_1 и его внутренним сопротивлением R_m .

В этом случае, если внутреннее сопротивление выхода ПМУ невелико по сравнению с сопротивлением его нагрузки, то можно пользоваться схемой рис. 4, б.

На рис. 4, в приведена схема модели, которая может быть рекомендована для весьма часто встречающихся случаев, когда величиной R_m пренебречь нельзя, но постоянная времени обмотки 1 ЭМУ значительно больше суммы постоянных времени остальных обмоток ЭМУ, т. е. когда $T_y - T_1 \ll T_y$. Действительно, при этом величина емкости C (рис. 4, а) мала, а сопротивления R велика и ток i_0 через ветвь, состоящую из R и C_1 , намного меньше, чем ток i_m . Таким образом, током i_0 можно пренебречь, а схему рис. 4, б заменить схемой рис. 4, в.

Следует отметить, что при моделировании нагрузки ПМУ очень удобно пользоваться стабилизирующим трансформатором ТС—144 в качестве однообмоточной магнитной системы модели, так как величина индуктивности обмотки трансформатора легко подбирается в широких пределах путем изменения зазора магнитной системы и числа витков обмотки.

В заключение следует также отметить, что схемы моделей нагрузки ПМУ, приведенные на рис. 4, б и в, позволяют сочленять ПМУ с электронной моделью ЭМУ двумя способами. Первый способ, который заключается в подаче напряжения, пропорционального E_1 , в электронную модель, описан выше. Второй способ заключается в том, что в электронную модель ЭМУ подается напряжение, пропорциональное намагничивающему току i_m . Этот ток пропорционален составляющей E_{q1} э. д. с. поперечной цепи ЭМУ, которая создается под действием обмотки 1 ЭМУ, т. е.

$$E'_{q1} = n_1 i_m,$$

где n_1 — коэффициент усиления по току обмотки 1 ЭМУ.

Напряжение, пропорциональное i_m , т. е. E'_{q1} , должно суммироваться в электронной модели с напряжениями, пропорциональными остальным составляющим э. д. с. поперечной цепи ЭМУ, обусловленными остальными обмотками управления ЭМУ.

Указанные способы сочленения ПМУ с электронной моделью ЭМУ применялись при электронном моделировании электромеханических систем мощных экскаваторов [3, 4] и хорошо себя зарекомендовали.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. П. Ломакин. Структурная схема и электронная модель электромашинного усилителя поперечного поля. Известия вузов. «Электромеханика», № 10, 1962.
2. Ф. Я. Горяинов, Г. К. Салгус. Расчет магнитной цепи электромашинного усилителя. «Электричество», 1948, № 9.
3. В. П. Ломакин. Исследование системы автоматизации копания мощного вскрышного экскаватора на электронной модели. Известия вузов. «Горный журнал», 1961, № 1.
4. В. Г. Васильев, В. П. Ломакин. Электронная модель электромеханических систем копающих механизмов мощных экскаваторов. Известия вузов. «Горный журнал», 1960, № 8.