

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СТАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ С УПРАВЛЯЕМЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ

В ряде случаев исследование электромагнитных переходных процессов в системах полупроводникового возбуждения синхронных машин необходимо выполнять по уравнениям, записанным в мгновенных значениях. Например, такая необходимость возникает:

- а) при расчете максимальных нагрузок на отдельных элементах силового оборудования систем возбуждения;
- б) при анализе аварийных режимов в преобразователе;
- в) при оценке точности приближенных методов расчета переходных процессов по упрощенным схемам замещения цепи возбуждения.

Решение уравнений статической системы возбуждения, записанных в мгновенных значениях, представляет определенные трудности ввиду их нелинейности, обусловленной работой полупроводникового преобразователя, а также насыщением компаундирующего трансформатора системы возбуждения. Выполнить достаточно строгий анализ переходных процессов в системе возбуждения в общем виде часто невозможно.

Одним из практических путей преодоления возникающих трудностей является применение численных методов решения с использованием аналоговых вычислительных машин (АВМ). В настоящее время разработано несколько методик моделирования на АВМ электрических цепей, содержащих полупроводниковые или ионные преобразователи. Из них наибольший интерес представляет методика, основанная на сочетании физического и математического моделирования [1]. Согласно этой методике, анодные цепи преобразователя и его нагрузка представляются в виде математической модели, а сам преобразователь заменяется физическим аналогом. Это позволяет значительно упростить структурную схему модели и сократить число решающих усилителей.

В соответствии с такой методикой автором была составлена и реализована на АВМ МН-14 структурная схема модели статической системы возбуждения. При известных допущениях [2] эта

схема может быть представлена расчетной схемой замещения (рис. 1), для которой справедлива следующая система уравнений

$$\left. \begin{aligned}
 U_{ir} &= r_d i_{i2} + p \Psi_{i2} + U_{i2}; \\
 \Psi_{i\mu} &= \Psi_{i2} - x_{\sigma} i_{i2}; \\
 \Psi_{\mu 0} &= \frac{1}{3} \sum_{i=a_1, b_1, c} \Psi_{i\mu}; \\
 i_{i\mu} &= f(\Psi_{i\mu}); \\
 i_{\mu 0} &= \frac{\Psi_{\mu 0}}{x_{\mu 0}}; \\
 i_{i2} &= i_{i\mu} - i_{ir} + i_{\mu 0};
 \end{aligned} \right\} (1)$$

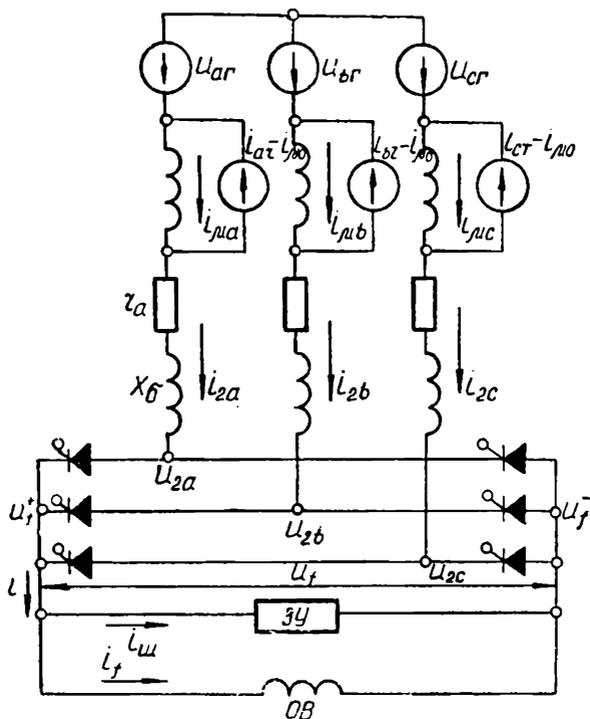


Рис. 1. Расчетная схема замещения статической системы возбуждения.

где $i = a_1, b_1, c$;

U_{ir} — фазное напряжение генератора, приведенное к обмотке, питающей преобразователь;

U_{i2} — напряжение на входе преобразователя;

Ψ_{i2} — полное потокосцепление схемы замещения;

$\Psi_{i\mu}$ — потокосцепление взаимной индукции вольтодобавочного трансформатора;

$\Psi_{\mu 0}$ — потокосцепление нулевой последовательности вольтодобавочного трансформатора;

$i_{i\mu}$ — ток намагничивания вольтодобавочного трансформатора;

$i_{\mu 0}$ — ток нулевой последовательности вольтодобавочного трансформатора;

i_{i2} — ток на входе преобразователя;

$i_{iГ}$ — фазный ток генератора, приведенный к обмотке, питающей преобразователь.

Напряжения $U_{iГ}$ и токи $i_{iГ}$ полагаются известными и задаются от постороннего источника.

Нагрузкой преобразователя является обмотка возбуждения и включенное параллельно ей защитное устройство. Поэтому выпрямленный ток преобразователя равен сумме токов обмотки возбуждения i_f и защитного устройства

$$i = i_f + i_{ш}. \quad (2)$$

Ток обмотки возбуждения определяется из решения уравнений генератора для соответствующего режима при напряжении возбуждения

$$U_f = U_f^+ - U_f^-. \quad (3)$$

В соответствии с уравнениями (1)–(3) составлена математическая модель анодной цепи преобразователя и его нагрузки (рис. 2).

Физическая модель управляемого преобразователя выполнена на транзисторах разных типов проводимости МП-16 и МП-38А. Для снижения величины обратных напряжений на транзисторах последовательно с ними включаются диоды Д-210. Транзисторы включены по схеме с общим эмиттером. Управляющие сигналы на них подаются от трехфазного трехобмоточного трансформатора. Трансформатор рассчитывается на напряжение 3–3,5 в при частоте, соответствующей частоте решения задачи. Первичные обмотки трансформатора питаются от фазорегулятора, собранного на решающих усилителях по схеме рис. 2. Фаза напряжения на первичной обмотке, определяющая угол управления преобразователя, может изменяться вручную или автоматически от 0° до 180°. Время открытого состояния транзистора определяется шириной управляющего сигнала. Для данной схемы управления это время составляет 1/2 периода. Поэтому данная модель может работать во всем диапазоне изменения нагрузки в режиме инвертора, а в режиме выпрямителя — лишь при длительности открытого состояния тиристоры оригинала, не превышающей 180°, что соответствует углам коммутации, равным 60° и менее. Поэтому во избежание срывов работы модели преобразователя в режиме выпрямителя при углах коммутации, больших 60°,

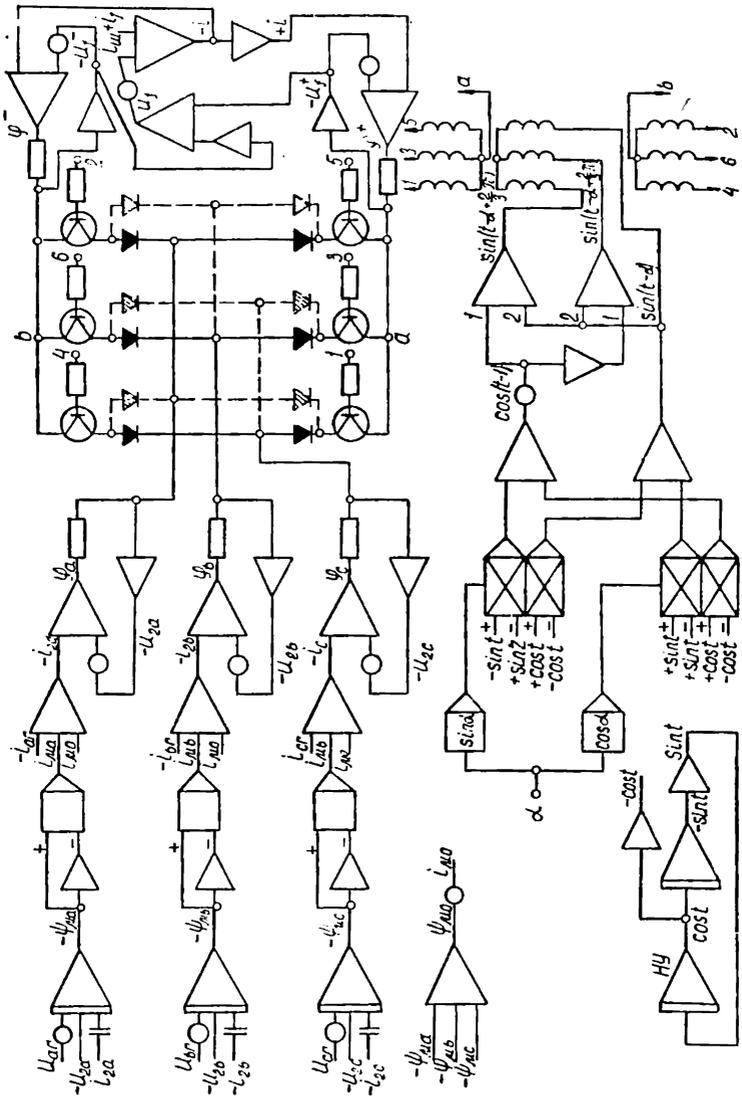


Рис. 2. Структурная схема модели статической системы возбуждения с управляемым преобразователем.

в нее дополнительно включаются диоды по схеме, изображенной на рис. 2 пунктиром. Такая схема позволяет току в плече преобразователя замыкаться, после закрытия соответствующего транзистора, через соседний открытый транзистор.

Для совместной работы математической и физической моделей необходимо осуществить преобразование токов на входе и выходе преобразователя, полученных в вольтах, в токи физической модели, выраженные в амперах. Такое преобразование осуществляется с помощью источников тока (рис. 3). Схема каждого источника тока выполнена на двух линейных усилителях, включенных в замкнутый контур и образующих положительную связь.

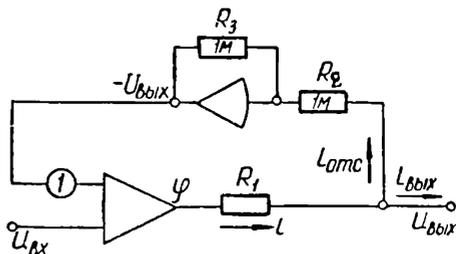


Рис. 3. Схема источника тока.

Выходной ток такой системы $i_{\text{вых}}$ будет пропорционален входному напряжению $U_{\text{вх}}$, если выполняется равенство:

$$\varphi = \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) U_{\text{вых}} + U_{\text{вх}}. \quad (4)$$

Настроив каждую схему с помощью делителя I в соответствии с этим равенством, получим идеальные источники тока с внутренним сопротивлением, равным бесконечности. Масштаб выходного тока источников определяется величиной сопротивления R_1 . Во избежание перегрузок усилителей это сопротивление выбирается таким, чтобы наибольший ток физической модели не превышал 10 ма .

Точность работы модели во многом зависит от того, насколько близки свойства транзисторов свойствам идеального ключа. В этом отношении наилучшими характеристиками обладают транзисторы МП-16 и МП-38А. При напряжениях управления 3 в удается получить практически полную симметрию в углах коммутации и в моментах включения транзисторов во всем диапазоне изменения нагрузки преобразователя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Применение аналоговых вычислительных машин в энергетических расчетах. Под ред. Н. И. Соколова. М., «Энергия», 1970.
2. И. М. Г л е б о в. Системы возбуждения синхронных генераторов с управляемыми преобразователями. М. — Л., Изд-во АН СССР, 1960.