

ПРИМЕНЕНИЕ АНАЛОГОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН ДЛЯ АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ В ТРЕХФАЗНЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЯХ

В. А. КОЧЕГУРОВ, А. А. ТЕРЕЩЕНКО

(Представлена научным семинаром научно-исследовательского института
ядерной физики)

Широкое внедрение в различные области промышленности выпрямительных установок ставит задачу разработки достаточно простого и точного метода их расчета. Задачами расчета должны явиться выбор параметров основного оборудования и построение рабочих характеристик выпрямителя для различных режимов его работы.

В общем случае аналитический расчет токов и напряжений в цепях схем выпрямления затруднителен и позволяет получить конечный результат для сравнительно простых вариантов схем выпрямления. Кроме того, проектирование и наладка сложных систем управления и автоматического регулирования, содержащих преобразователи, не могут проводиться без знания процессов, которые протекают в них. Особый интерес представляет вопрос выявления действительных динамических параметров ионного преобразователя совместно с сеточным управлением и нагрузкой, работающего в замкнутой системе автоматического регулирования.

Применение вычислительных машин непрерывного действия значительно облегчает проведение подобных исследований и делает возможным решение таких задач, которые были практически недоступны при обычно исследуемых методах расчета. Электронная вычислительная машина позволяет быстро получить хорошо обозримые осциллограммы токов и напряжений в цепях схемы выпрямления, по которым можно наглядно судить о влиянии параметров схемы на характер протекания в ней электромагнитных процессов. Повышение точности расчета с помощью электронной машины существенно облегчает выбор оптимальных параметров и исследования ре-

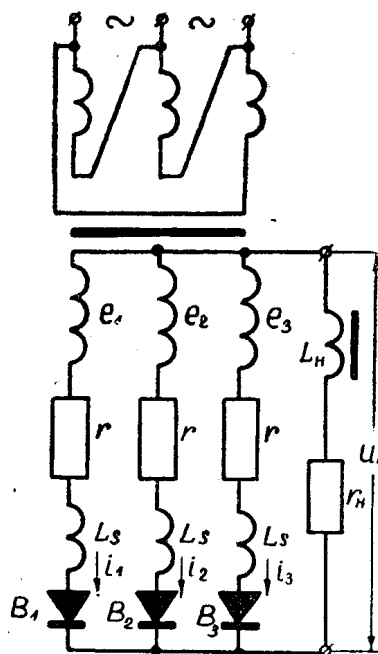


Рис. 1.

жимов работы выпрямителей. Электронное моделирование однофазных и двухфазных схем выпрямления приведено в литературе [1, 2].

Ниже приводится методика расчета на аналоговых вычислительных машинах однотактных и двухтактных трехфазных неуправляемых выпрямителей.

а) Модель однотактного трехфазного выпрямителя

Принципиальная схема однотактного трехфазного выпрямителя приведена на рис. 1. Элементы r и L_s учитывают активные сопротивления и индуктивности рассеяния первичной и вторичной обмоток трансформатора. В соответствии с приведенными на рис. 1 обозначениями работа схемы описывается следующими уравнениями, составленными на основании законов Кирхгофа:

$$\left. \begin{aligned} e_1 &= L_s \frac{di_1}{dt} + ri_1 + r_{B_1} \cdot i_1 + U_n; \\ e_2 &= L_s \frac{di_2}{dt} + ri_2 + r_{B_2} \cdot i_2 + U_n; \\ e_3 &= L_s \frac{di_3}{dt} + ri_3 + r_{B_3} \cdot i_3 + U_n; \\ i_1 + i_2 + i_3 &= i_n; \\ U_n &= i_n \cdot Z_n; \\ Z_n &= r_n + pL_n; \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где $r_{B_1}, r_{B_2}, r_{B_3}$ — сопротивления вентиляей.

Разрешая систему уравнений (1) относительно токов i_1, i_2, i_3 , получим исходные уравнения для составления и расчета схемы модели. Блок-схема математической модели уравнений цепей однотактного трехфазно-

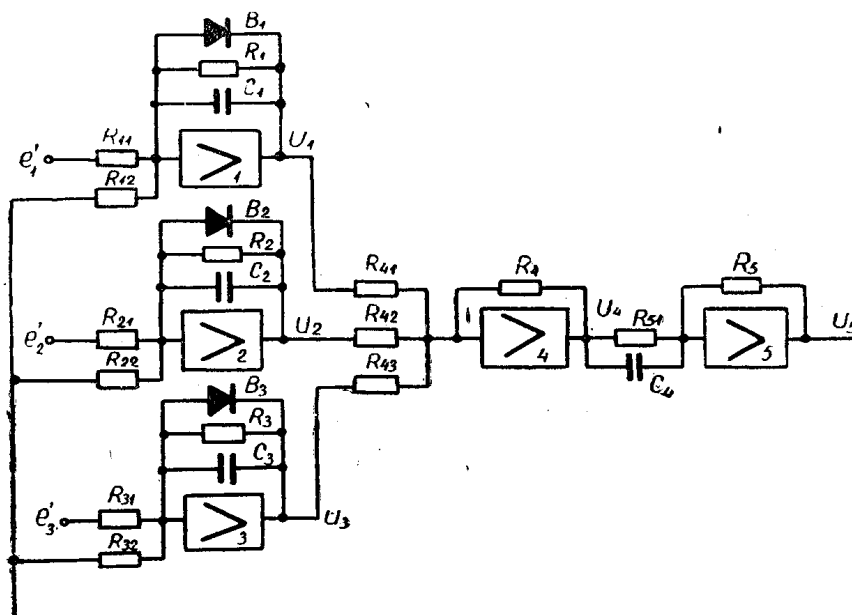


Рис. 2.

го выпрямителя показана на рис. 2. Вольт-амперные характеристики вентиляей выпрямителя $i_B = f(U_B)$ воспроизводятся в модели с помощью

ламповых диодов 6Х2П, включенных в цепь обратной связи соответствующих решающих усилителей.

Уравнения отдельных блоков модели с учетом уравнений преобразования переменных запишутся:

$$\left. \begin{aligned} \frac{i_1}{M_{i_B}} &= -\frac{1}{p} \left(\kappa_{11} \frac{e_1}{M_e} - \kappa_1 \frac{i_1}{M_{i_B}} - \kappa_{B_1} \frac{i_1}{M_{i_B}} - \kappa_{12} \frac{U_H}{M_u} \right); \\ \frac{i_2}{M_{i_B}} &= -\frac{1}{p} \left(\kappa_{21} \frac{e_2}{M_e} - \kappa_2 \frac{i_2}{M_{i_B}} - \kappa_{B_2} \frac{i_2}{M_{i_B}} - \kappa_{22} \frac{U_H}{M_u} \right); \\ \frac{i_3}{M_{i_B}} &= -\frac{1}{p} \left(\kappa_{31} \frac{e_3}{M_e} - \kappa_3 \frac{i_3}{M_{i_B}} - \kappa_{B_3} \frac{i_3}{M_{i_B}} - \kappa_{32} \frac{U_H}{M_u} \right); \\ \frac{i_H}{M_i} &= - \left(\kappa_{41} \frac{i_1}{M_{i_B}} + \kappa_{42} \frac{i_2}{M_{i_B}} + \kappa_{43} \frac{i_3}{M_{i_B}} \right); \\ \frac{U_H}{M_u} &= - \left(\kappa_{51} \frac{i_H}{M_i} + \kappa_5 p \frac{i_H}{M_i} \right). \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Уравнения преобразования переменных имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} i_1 &= M_{i_B} U_1; & e_1 &= M_e \cdot e'_1; & i_H &= M_i U_4; \\ i_2 &= M_{i_B} U_2; & e_2 &= M_e \cdot e'_2; & U_H &= M_u \cdot U_5; \\ i_3 &= M_{i_B} U_3; & e_3 &= M_e \cdot e'_3; & t &= M_t \cdot t_M. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Отсюда соответствие элементов модели параметрам реальной схемы определяется следующими соотношениями:

$$\left. \begin{aligned} L_H &= \frac{\kappa_{12} \cdot \kappa_5 \cdot M_e \cdot M_t}{\kappa_{11} \cdot M_i}; & L_s &= \frac{M_e \cdot M_t}{\kappa_{41} \cdot \kappa_{11} \cdot M_i}; \\ r_H &= \frac{\kappa_{12} \cdot \kappa_{51} \cdot M_e}{\kappa_{11} \cdot M_i}; & r &= \frac{\kappa_1 \cdot M_e}{\kappa_{11} \cdot M_{i_B}}; & r_B &= \frac{\kappa_B \cdot M_e}{\kappa_{11} \cdot M_{i_B}}; \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где M_i , M_{i_B} — масштабы токов;

M_e , M_u — масштабы напряжений;

M_t — масштаб времени;

κ_{11} , κ_{12} ... — коэффициенты передачи решающих усилителей.

Осциллограммы выпрямленного тока и напряжения, полученные на электронной вычислительной машине, соответствующие установившемуся режиму работы схемы на активно-индуктивную нагрузку, приведены на рис. 3.

Фазные э.д.с. выпрямителя e_1 , e_2 , e_3 в модели (рис. 2) представлены в виде э.д.с. e'_1 , e'_2 , e'_3 , которые генерируются в специально сконструированном источнике низкочастотного трехфазного напряжения. Блок-схема этого источника приведена на рис. 4. Синхронный мотор СМ вращает с помощью червячной пары 1 и фрикционного механизма 3 диск с зондами 6. Зонды погружены в ванночку 5 с электролитом, где создано однородное электрическое поле с помощью параллельных электродов 7. При вращении диска амплитуды напряжений, снимаемых зондами, меняются по гармоническому закону. Напряжения с зондов через скользящие контакты 4 поступают на входы катодных повторителей. Частота э.д.с. определяется скоростью вращения диска и может плавно регулироваться

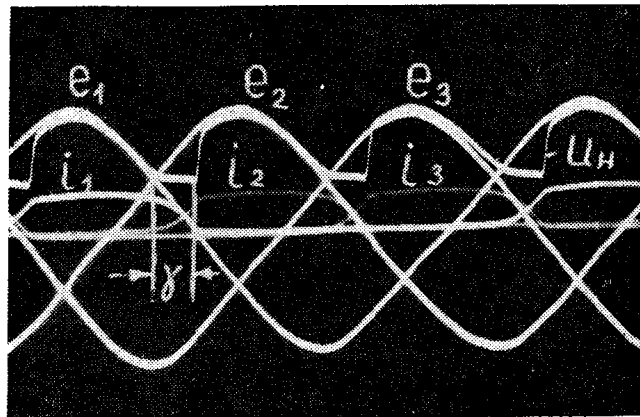


Рис. 3.

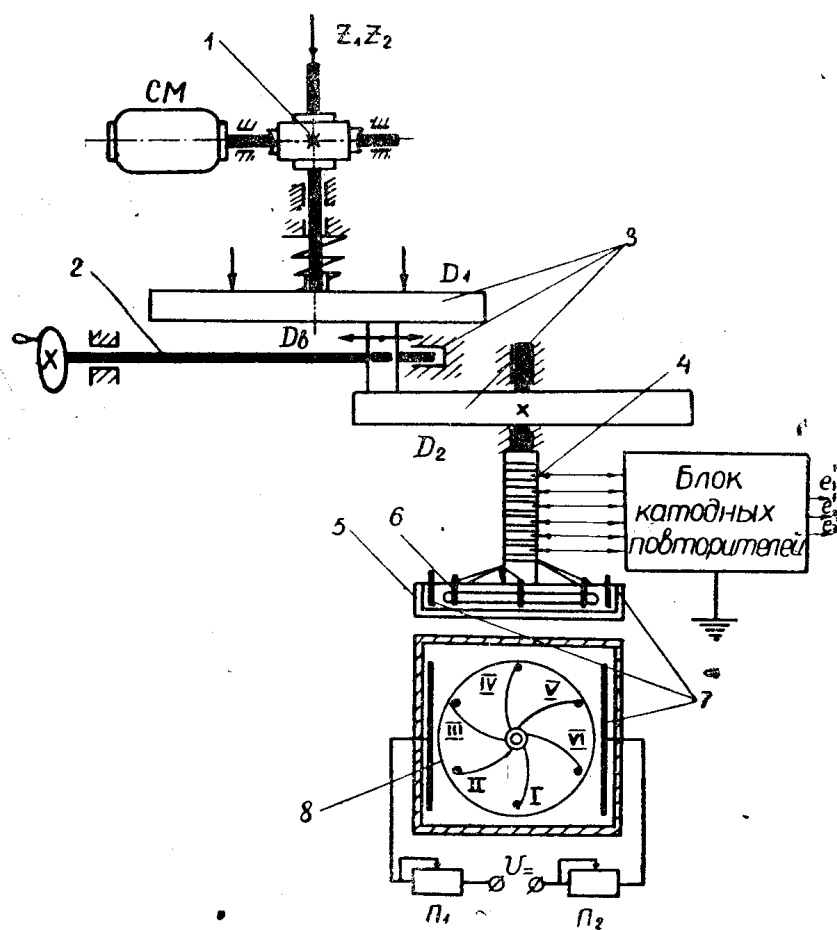


Рис. 4.

с помощью вариатора 2 от 0,5 до 10 μC . Величина амплитуды регулируется с помощью потенциометров Π_1 и Π_2 .

б) Модель двухтактного трехфазного выпрямителя

На рис. 5 приведена принципиальная схема двухтактного трехфазного выпрямителя и даны обозначения элементов и параметров ее, а также токов и напряжений. В данной схеме последовательно соединены две трехфазные однокатные выпрямительные секции, одна из которых собрана на вентилях 1, 2, 3 и развивает выпрямленное напряжение U_{B1} . Вторая — на вентилях 4, 5, 6 с выпрямленным напряжением U_{B2} . Обе вентильные группы используют одну и ту же трехфазную вторичную обмотку трансформатора. Вентили 1, 2, 3, подключенные к фазам трансформатора анодами и имеющие общую катодную точку, образуют катодную группу вентилей. Вентили 4, 5, 6, подключенные к тем же фазам трансформатора катодами, имеют общую анодную точку и образуют анодную группу вентилей. Следовательно, напряжения U_{B1} , и U_{B2} , которые являются соответственно верхней и нижней огибающими фазных э. д. с., складываются, создавая выпрямленное напряжение схемы U_H . Для схемы преобразователя, изображенной на рис. 5, имеем следующую систему уравнений для напряжений и токов:

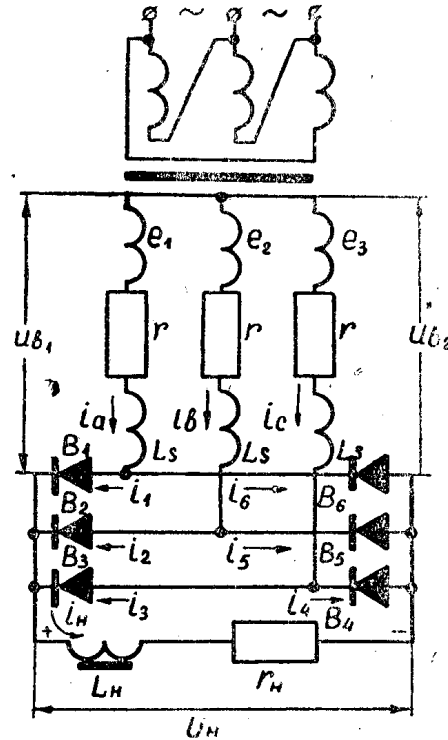


Рис. 5.

$$\left. \begin{aligned} e_1 &= Lsp(i_1 + i_6) + r(i_1 + i_6) + r_{B1} \cdot i_1 + U_{B1}; \\ e_2 &= Lsp(i_2 + i_5) + r(i_2 + i_5) + r_{B2} \cdot i_2 + U_{B1}; \\ e_3 &= Lsp(i_3 + i_4) + r(i_3 + i_4) + r_{B3} \cdot i_3 + U_{B1}; \\ e_1 &= Lsp(i_1 + i_6) + r(i_1 + i_6) + r_{B6} \cdot i_6 + U_{B2}; \\ e_2 &= Lsp(i_2 + i_5) + r(i_2 + i_5) + r_{B5} \cdot i_5 + U_{B2}; \\ e_3 &= Lsp(i_3 + i_4) + r(i_3 + i_4) + r_{B4} \cdot i_4 + U_{B2}; \\ i_1 + i_2 + i_3 &= i_H; \\ i_4 + i_5 + i_6 &= i_H; \\ U_{B1} + U_{B2} &= U_H; \\ U_H &= i_H \cdot Z_H; \\ Z_H &= r_H + pL_H. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Разрешая систему уравнений (5) относительно токов $i_1, i_2, i_3, i_4, i_5, i_6$, как и для случая однокатного трехфазного выпрямителя, получим исходные уравнения для составления и расчета схемы модели. Структурная схема модели для решения уравнений напряжений и токов в цепях схемы двухтактного трехфазного выпрямителя показана на рис. 6. Соот-

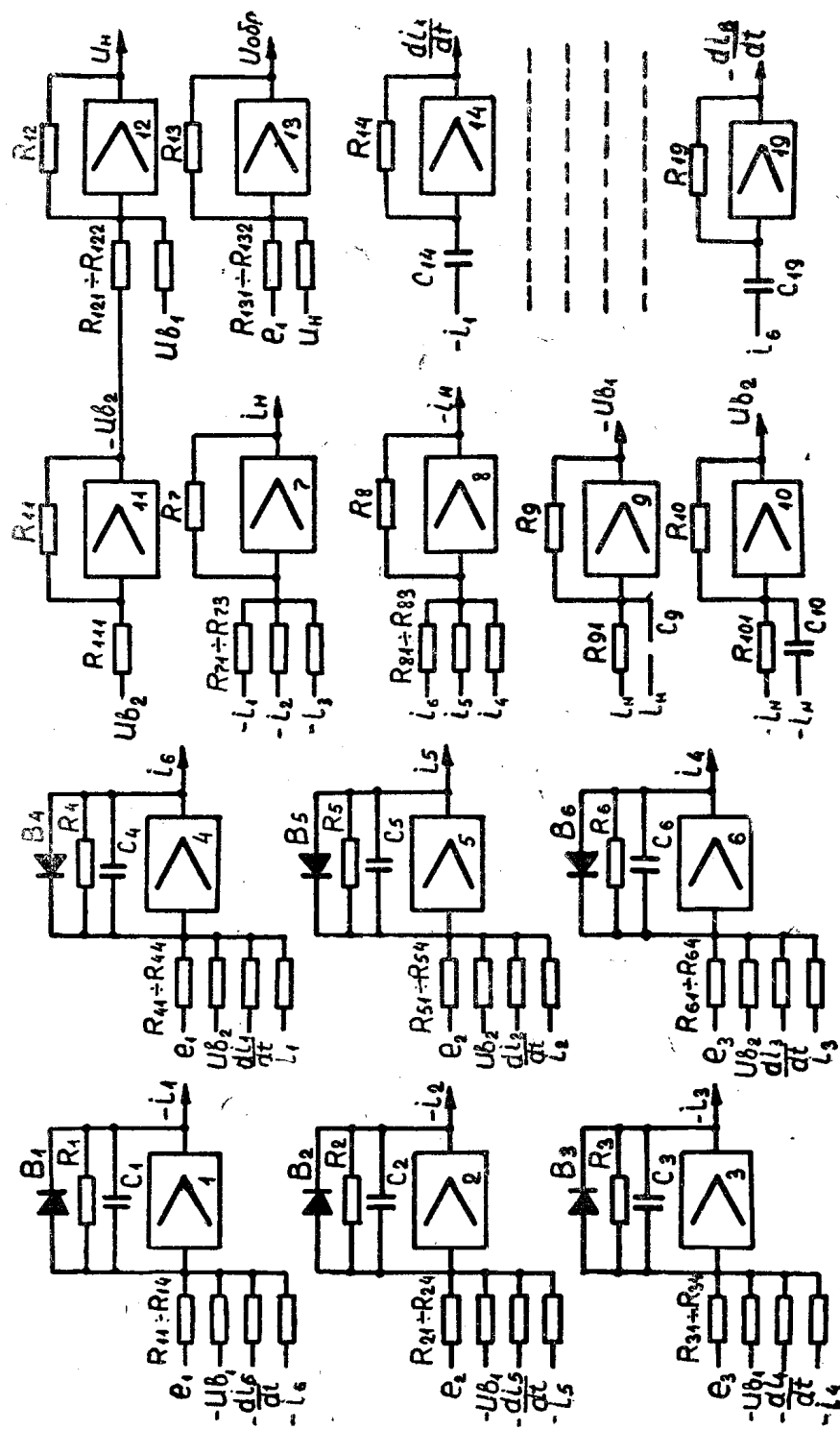


Рис. 6.

ветствие элементов модели и параметров реальной схемы определяется так же, как и для случая модели однотоктного трехфазного выпрямителя.

Осциллограммы машинного расчета токов и напряжений в цепях схемы выпрямительного моста приведены на рис. 7.

Сравнение результатов, полученных из расчета на аналоговой вычислительной машине и в реальных схемах, показало хорошее совпадение характеристик для всех исследованных схем и режимов работы

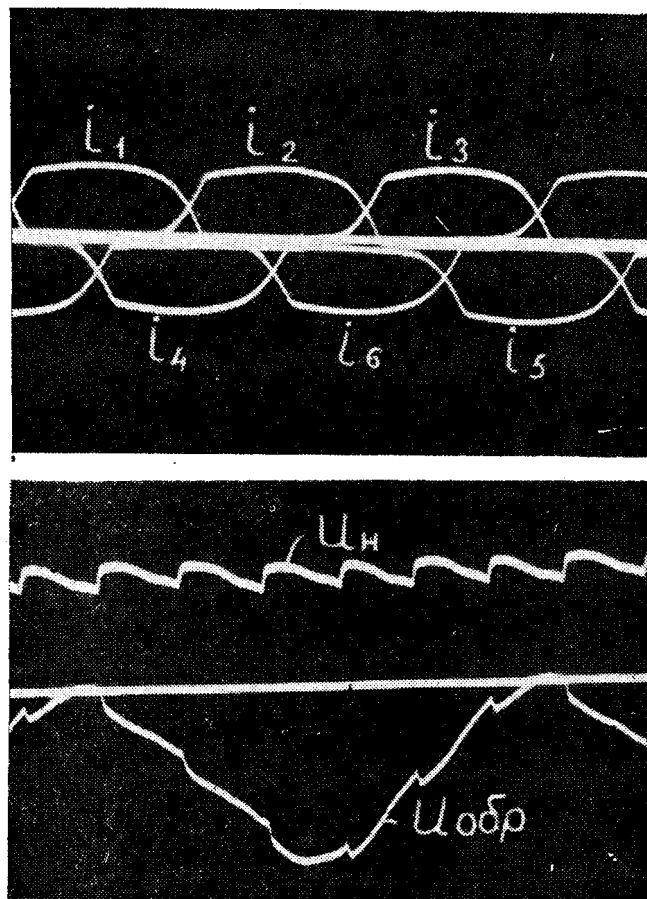


Рис. 7.

выпрямителей. Электронные модели более сложных выпрямительных схем, а также управляемых выпрямителей могут быть построены на основе схем, рассмотренных в настоящей статье.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Г. Васильев, В. А. Зверев. Электронная модель схемы выпрямительного моста. Электромеханика, № 1, 1961.
2. В. Я. Якубовский. Применение электронной вычислительной машины непрерывного действия для расчета установившегося режима двухфазной схемы выпрямления. Электромеханика, № 5, 1962.