

ИССЛЕДОВАНИЕ НА АНАЛОГОВОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАШИНЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В КОММУТИРУЮЩЕМ УСТРОЙСТВЕ СХЕМЫ ПИТАНИЯ СИНХРОТРОНА

В. А. КОЧЕГУРОВ, А. А. ТЕРЕЩЕНКО

Схема питания синхротрона на энергию 1500 Мэв НИИ ЯФ ЭА, представленная на рис. 1, содержит источник энергии — трансформатор с выпрямителем, накопительную батарею конденсаторов и коммутирующее устройство. Предварительно заряженная конденсаторная батарея через коммутирующее устройство, выполненное на управляемых параллельно включенных ртутных тиратронах, в заданный момент времени разряжается на электромагнит. Устойчивая параллельная работа тиратронов обеспечивается анодными делителями (АД) тока [1]. Для обеспечения деферсировки магнитного поля синхротрона включены насыщающиеся дроссели (НД) [2]. Математическое исследование переходных процессов представляет собой определенные трудности из-за наличия нелинейной и неоднозначной связи между индукцией и напряженностью поля в магнитопроводах АД и НД, а также из-за их взаимного влияния при работе. Для исследования различных переходных режимов работы схемы коммутирующего устройства нами применена АВМ.

Ниже изложена методика решения на электронной модели уравнений переходных процессов в схеме, приведенной на рис. 1. Расчеты проводились при следующих допущениях:

- а) потери в железе магнитопровода АД и НД не учитывались,
- б) индуктивность электромагнита синхротрона рассматривалась как линейная величина.

С учетом отмеченных допущений и в соответствии с приведенными на рис. 1 обозначениями работа схемы описывается девятью дифференциальными уравнениями, составленными на основании законов Кирхгофа:

$$\begin{aligned}
 i_1 = & -\frac{R}{L} \int i_1 dt - \frac{1}{LC} \iint i_1 dt^2 - \frac{\omega S}{L} (B_1 - B_4) - \frac{\omega S}{L} (B_2 - B_{17}) - \\
 & - \frac{\omega_g S_g}{L} B_{g_1} - \frac{(U_{C_0} - U_{C_1})}{R_0} + \frac{(U_{C_1} - U_{C_2})}{R_1}, \\
 i_2 = & -\frac{R}{L} \int i_2 dt - \frac{1}{LC} \iint i_2 dt^2 - \frac{\omega S}{L} (B_3 - B_6) - \frac{\omega S}{L} (B_4 - B_1) - \\
 & - \frac{\omega_g S_g}{L} B_{g_2} - \frac{(U_{C_1} - U_{C_2})}{R_1} + \frac{(U_{C_2} - U_{C_3})}{R_2},
 \end{aligned}$$

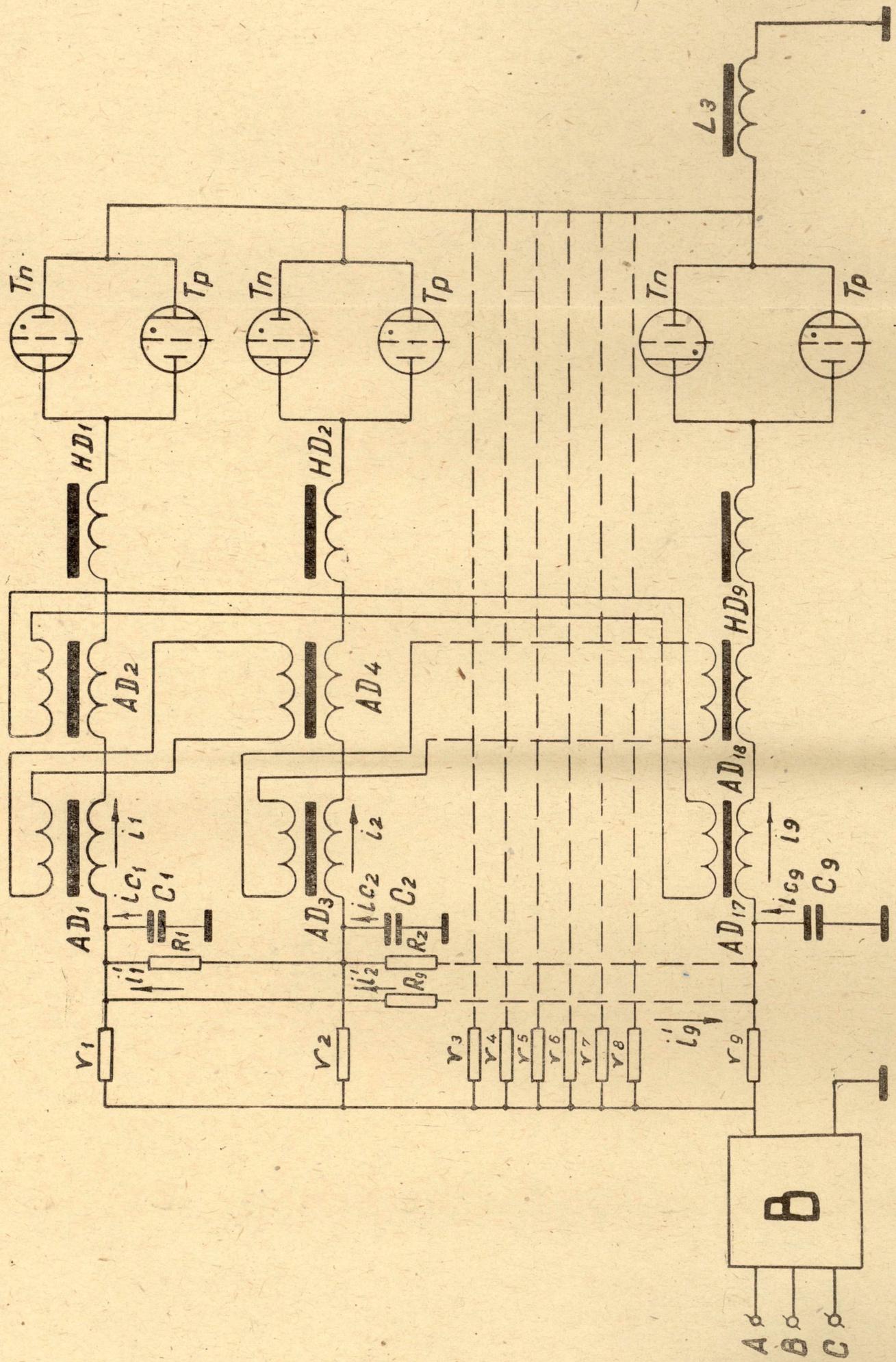


Рис. 1.

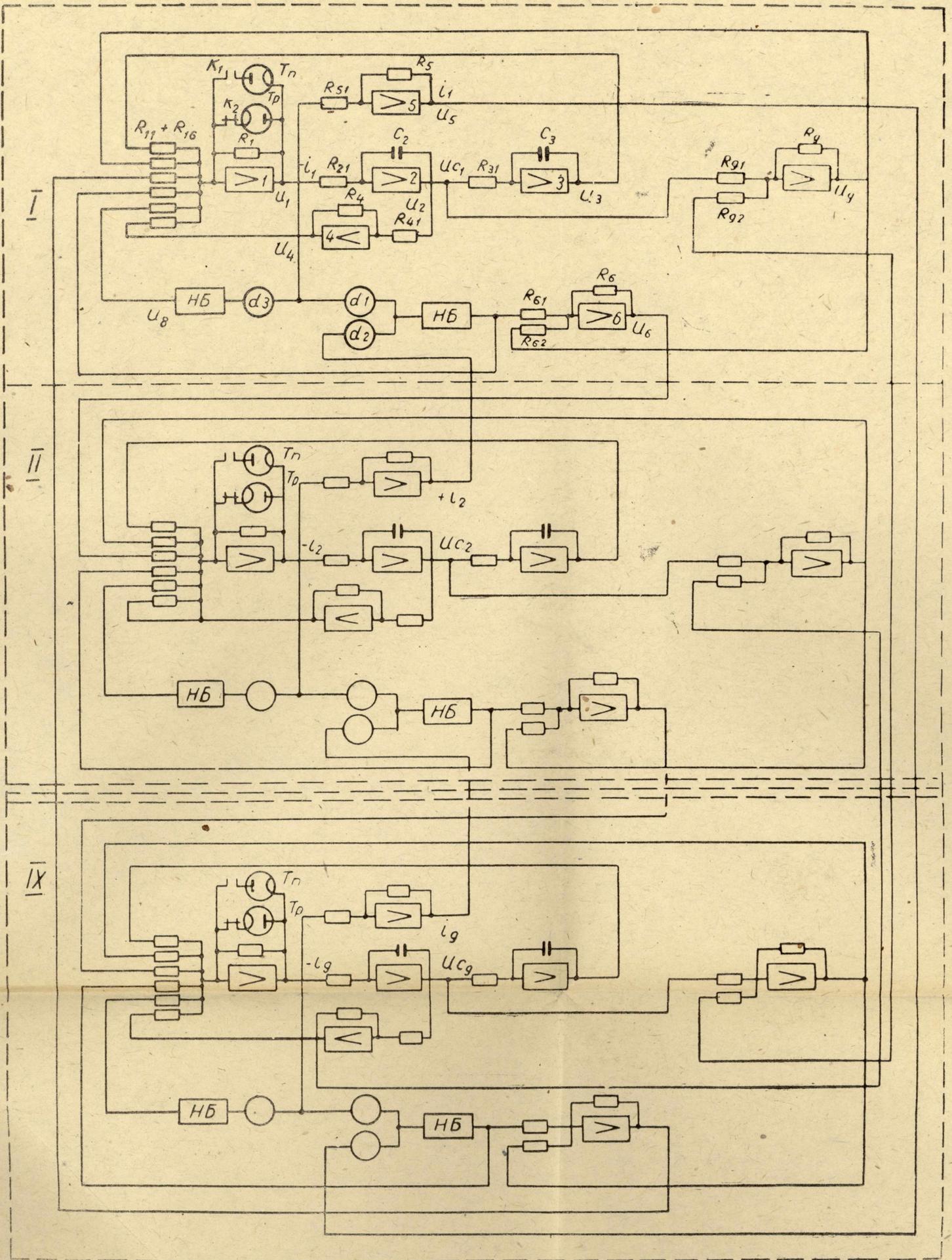


Рис 2.

$$i_9 = -\frac{R}{L} \int i_9 dt - \frac{1}{LC} \iint i_9 dt^2 - \frac{\omega S}{L} (B_{17} - B_2) - \frac{\omega S}{L} (B_{18} - B_{15}) - \frac{\omega_g S_g}{L} B_{g_0} - \frac{(U_{C_8} - U_{C_9})}{R_8} + \frac{(U_{C_9} - U_{C_1})}{R_9},$$

$$Hl = \omega i; \quad U_C = \frac{1}{C} \int i_C dt;$$

- где R — суммарное омическое сопротивление цепи, учитывающее активные потери в обмотках АД, НД и электромагнита;
 L — суммарная индуктивность контура, учитывающая индуктивности рассеяния АД, НД и индуктивность электромагнита;
 ω, ω_g — число витков обмоток АД и НД;
 s, s_g — площадь поперечного сечения магнитопроводов АД и НД;
 R_j — сопротивления, выравнивающие напряжения на конденсаторных ячейках;
 U_{C_j} — напряжения на конденсаторных ячейках;
 C_j — емкости конденсаторных ячеек;
 B_j, H_j — мгновенные значения индукции и напряженности в магнитопроводах АД и НД;
 i_j — токи в разрядных контурах;
 l, l_g — длины магнитопроводов АД и НД.

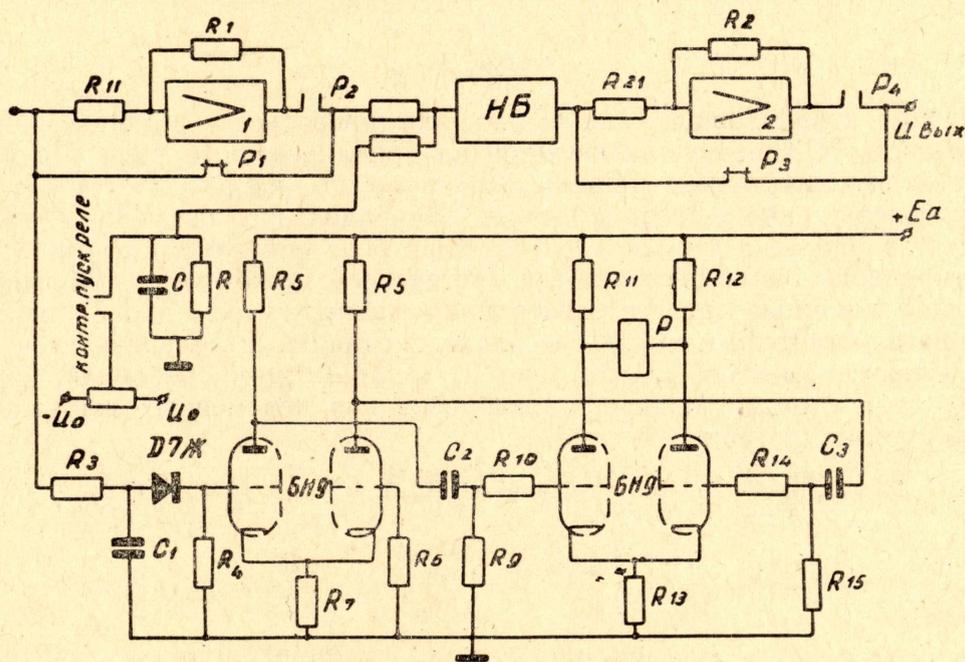


Рис. 3

Блок-схема модели для расчета переходных процессов рассматриваемой схемы приведена на рис. 2. Решающие усилители с диодами $6 \times 2П$ в обратных связях моделируют разрядные и перезарядные вентили. На блоках нелинейности (НБ) набраны основные кривые намагничивания стали для АД и НД. Потери на гистерезис в этом случае не учитывались.

В случае необходимости учета потерь на гистерезис нами разработано устройство, позволяющее моделировать петлю гистерезиса с помощью обычных элементов аналоговых машин, как показано на рис. 3.

Моделирование петли гистерезиса в этом случае основано на принципе инвертирования одной половины предельного симметричного цикла петли, набранной на блоке нелинейности. Входной сигнал через нормально замкнутый контакт реле P_1 подается на вход БН, на котором набрана половина предельного симметричного цикла петли, аппроксимированная линейными отрезками. Выход БН в этом случае включен через нормально замкнутый контакт реле P_3 . При достижении максимального значения амплитуды входного сигнала происходит включение инвертирующих блоков 1, 2 через контакты реле P_2 и P_4 , чем и обеспечивается воспроизведение второй половины петли гистерезиса.

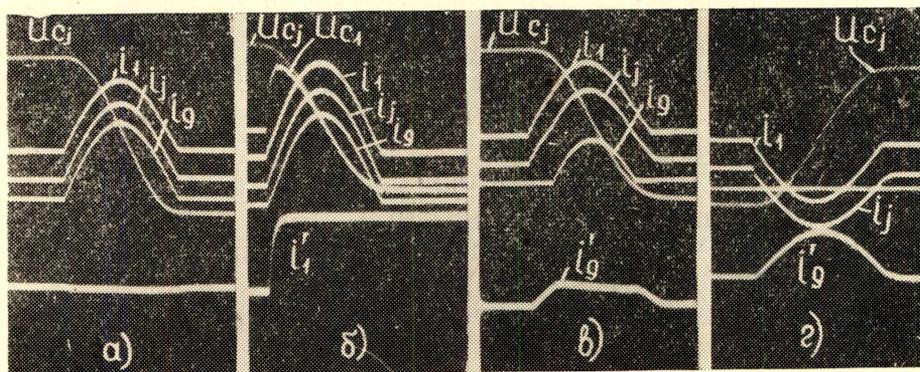


Рис. 4

Величина коэрцитивной силы может регулироваться с помощью дополнительной RC -цепочки, включенной на дополнительный вход БН через контакт пускового реле машины, как показано на рис. 3. RC -цепочка обеспечивает снижение напряжения, эквивалентного остаточной индукции в заданное время. Схема включения реле показана на рис. 3. Инвертирование одной ветви петли гистерезиса может быть обеспечено также с помощью средств электронной машины, т. е. одного интегрирующего усилителя и контактов блока специальных нелинейностей.

Связь элементов модели (рис. 2) с параметрами реальной схемы (рис. 1) с учетом уравнений преобразования переменных выражается следующими соотношениями [3]:

$$\frac{\omega s}{L} = \frac{\kappa_{14} \cdot M_i}{M_B}, \quad \alpha_1 = \alpha_2 = \frac{\omega M_i}{M_H \cdot l}, \quad \alpha_3 = \frac{\omega_g M_i}{M_{H_g} l_g},$$

$$\frac{1}{LC} = \kappa_{11} \cdot \kappa_{21} \cdot \kappa_{31} \frac{1}{M_i^2}; \quad \frac{\omega_g s_g}{L} = \frac{\kappa_{15} \cdot M_i}{M_B}, \quad \frac{R}{L} = \kappa_{21} \cdot \kappa_{41} \cdot \kappa_{16} \frac{1}{M_i},$$

где κ_{ij} — коэффициенты передачи операционных усилителей;
 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ — постоянные коэффициенты;
 M_i, M_H, M_B, M_{H_g} — масштабные коэффициенты.

На электронной модели исследованы нормальная работа и ряд возможных аварийных режимов коммутирующего устройства. На рис. 4 приведены осциллограммы некоторых режимов работы коммутирующего устройства:

- а) нормальная работа;
- б) предразрядное напряжение на одной секции меньше, чем на остальных (соответствует пробоею одной из последовательно включенных секций конденсаторов в момент разряда);
- в) один из разрядных вентилях поджегся позднее;
- г) один из перезарядных вентилях не поджегся.

Рациональная запись уравнений, описывающих систему, позволила использовать при решении задачи минимальное количество решающих усилителей.

Приведенный метод моделирования цепей с нелинейными элементами может быть применен и для моделирования переходных процессов и статических режимов других электромагнитных аппаратов, содержащих элементы со сталью и вентилями.

ЛИТЕРАТУРА

1. И. П. Чучалин, В. А. Кочегуров. Применение двухстержневых анодных делителей тока при параллельном включении вентилей. Изв. вузов. «Электромеханика», 7, 1960.
2. В. А. Кочегуров. Деформировка магнитного поля в синхротронах с помощью насыщающегося дросселя. Изв. вузов, «Физика», 1, 1957.
3. Б. Я. Коган. Электронные моделирующие устройства и их применение для исследования систем автоматического регулирования. ГИФМП. М., 1959.