

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Э. С. ФРИДЖИВШАЯН, Л. С. ПАРВАНЯН

СТРУКТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АСИНХРОННЫХ
МАШИН С УЧЕТОМ НАСЫЩЕНИЯ И ВЗАИМНОГО
ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ЗУБЧАТЫХ СЕРДЕЧНИКОВ

Для исследования электромагнитных процессов в электрических машинах важное место занимают структурные моделирующие устройства, обладающие возможностью адекватного отображения моделируемых явлений не только в математическом, но и в пространственно-временном смысле. Изложенные в [1] основные принципы структурного моделирования электрических машин базируются на схемах замещения, полученных методом проводимостей зубцовых контуров. Однако, при вариации геометрических параметров исследуемой машины в процессе работы возникает необходимость многократного обращения к ЦВМ для расчета магнитных полей от токов зубцовых контуров, что чрезмерно усложняет процедуру решения задачи.

В связи с этим в настоящей работе рассматривается один из возможных путей создания структурного моделирующего устройства, позволяющего по геометрическим параметрам и свойствам используемых материалов воспроизводить установившиеся и переходные электромагнитные процессы в асинхронных машинах с учетом насыщения, двухсторонней зубчатости сердечников и реальной структуры обмоток.

На рис. 1 представлена блок-схема моделирующего устройства, включающая аналоговый вычислительный блок (АВБ) для решения уравнения движения ротора, формирования импульсов управления коммутаторами 1, 2, 3 имитатора вращения ротора, а также для формирования напряжений питания модели обмотки статора. Модель обмотки статора содержит соединенные через коммутатор 1 масштабный преобразователь 4 для задания магнитодвижущей силы и измерения потокоцеплений обмотки статора без учета лобового рассеяния и схему моделирования активного сопротивления и индуктивности лобового рассеяния обмотки статора. Связь между резистивными сетками 6, 7 и 8 осуществляется через коммутаторы 2 и 3. Модель обмотки ротора воспроизводит зависимость токов обмотки ротора от магнитного потока машины и задает магнитодвижущую силу обмотки ротора. Питаящая моделируемую машину сеть бесконечной мощности имитируется трехфазным генератором синусоидального напряжения.

На рис. 2 представлена модель плоскостного магнитного поля асинхронного двигателя, выполненная из сетки линейных и нелинейных резисторов, воспроизводящих, соответственно, магнитные проводимости воздушных и ферромагнитных участков магнитной цепи, где электрическому потенциалу φ поставлено в соответствие векторный магнитный потенциал A оригинала. На рис. 2 резистор R_{z1}^I моделирует тело, а пара резисторов R_{z1}^{II} — коронку зубца статора машины. Аналогично резисторами R_{z2}^I и R_{z2}^{II} моделируются зубцы ротора. Ярма статора и ротора воспроизводятся нелинейными резисторами R_{s1} и R_{s2} , выбранными в предположении ориентации потока в ярме только в тангенциальном направлении. Линейные резисторы R_{s1}^I , R_{s1}^{II} , R_{s2}^I и R_{s2}^{II} моделируют магнитные проводимости участков пазов статора и ротора для потоков пазового рассеяния, а резисторы R_{m1} , R_{m2} — магнитные проводимости шлицов для составляющих магнитного потока в зазоре, проходящих через пазы статора и ротора

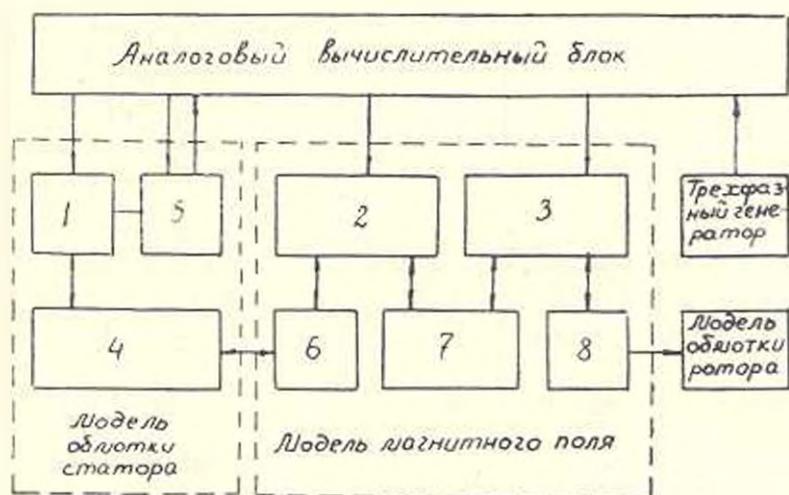


Рис. 1. Блок-схема моделирующего устройства МЛ.

машины. Воздушный зазор воспроизводится одномерной сеткой из $6z_1$ резисторов R_{z1} , где $z_1 = 12$ — число зубцов статора моделирующей машины. При сеточном моделировании магнитной цепи непрерывное вращение ротора заменяется дискретным, причем, без существенной потери точности моделирования шаг дискретизации можно принять равным половине зубцового деления статора. При этом количество коммутрующих элементов существенно сокращается, если вращение ротора относительно статора заменить некоторыми согласованными движениями ротора и обмотки статора, представляемыми выражениями:

$$\varphi_{z0} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\pi}{z_1} 1 \left[t - (n - 0,5) \frac{2\pi}{\omega z_1} \right] - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\pi}{z_1} 1 \left(t - n \frac{2\pi}{\omega z_1} \right);$$



$$\varphi_{\alpha\beta} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2\pi}{z_1} 1 \left(t - n \frac{2\pi}{\omega z_1} \right) - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2\pi}{3} 1 \left(t - \frac{1}{3} n \frac{2\pi}{\omega} \right);$$

$$\varphi_{\beta A} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2\pi}{3} 1 \left(t - \frac{1}{3} n \frac{2\pi}{\omega} \right) - \sum_{n=1}^{\infty} 2\pi 1 \left(t - n \frac{2\pi}{\omega} \right),$$

где $\varphi_{\gamma\alpha}$ — угол между радиальными осями симметрии γ и α моделей ротора и статора; $\varphi_{\alpha\beta}$ — угол между осью α и осью β модели фазовой обмотки, последовательно имитирующей фазы А, В и С; $\varphi_{\beta A}$ — угол между осью β и осью модели фазы А; ω_p — угловая скорость вращения ротора.

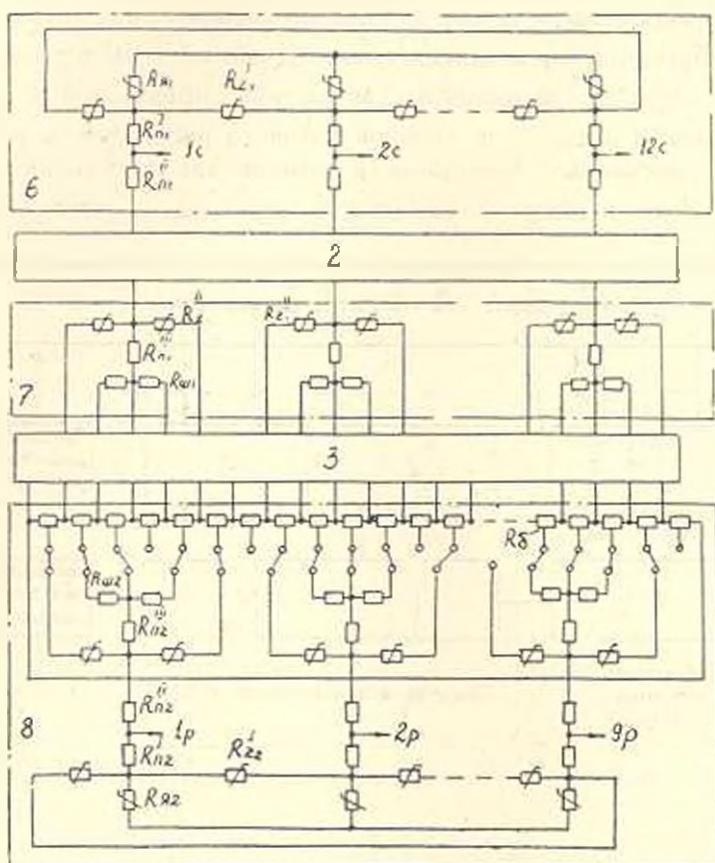


Рис. 2. Модель магнитного поля АМ.

Угол между осями γ и А ротора фазы А в модели равен:

$$\varphi_{\gamma A} = \varphi_{\gamma\alpha} + \varphi_{\alpha\beta} + \varphi_{\beta A} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\pi}{z_1} \left\{ 1 \left[t - (n - 0,5) \frac{2\pi}{\omega z_1} \right] + 1 \left(t - n \frac{2\pi}{\omega z_1} \right) \right\} - \sum_{n=1}^{\infty} 2\pi 1 \left(t - n \frac{2\pi}{\omega} \right).$$

Принятый подход к структурному моделированию магнитной цепи позволяет решать систему дифференциальных уравнений электромеханического равновесия машины, представленную в координатных осях А, В, С фаз в следующем виде:

$$\begin{cases} \int U_A dt = \psi'_A + L_{\sigma A} i_A + r \int i_A dt; \\ \int U_B dt = \psi'_B + L_{\sigma B} i_B + r \int i_B dt; \\ \int U_C dt = \psi'_C + L_{\sigma C} i_C + r \int i_C dt; \end{cases} \quad (1)$$

$$0 = \psi'_n + 2L_{\sigma n} i_n^2 + r_{\sigma n} \int (i_{n1}^2 + i_{n2}^2) dt + 2r_n \int i_n^2 dt; \quad (2)$$

$$(n = 1, 2, 3, \dots, N)$$

$$\omega_T = \frac{1}{y} \int (m_{em} - m_T) dt, \quad (3)$$

где $U_A, U_B, U_C, i_A, i_B, i_C$ — напряжения и токи фаз обмотки статора; $\psi'_A, \psi'_B, \psi'_C$ — потокосцепления фаз обмотки статора без учета лобового рассеяния; ψ'_n — потокосцепление n -го контура короткозамкнутой обмотки ротора, образованного двумя соседними стержнями и замыкающими их участками короткозамыкающих колец, без учета лобового рассеяния (рис. 3в) ($n = 1, 2, \dots, 9$); r, L_{σ} — активное сопротивление и индуктивность лобового рассеяния обмотки статора; i_{n1}, i_{n2}, i_n^2 — токи стержней и участков колец n -го контура обмотки ротора; N — число контуров обмотки ротора; $r_{\sigma n}$ — активное сопротивление стержня; r_n, L_n — активное сопротивление и индуктивность участка короткозамыкающего кольца между соседними стержнями обмотки ротора; $m_{em} = \frac{1}{\sqrt{3}} [i_B(\psi'_A - \psi'_C) + i_C(\psi'_B - \psi'_A) + i_A(\psi'_C - \psi'_B)]$ — электромагнитный момент; m_T — тормозящий момент на валу двигателя; y — момент инерции ротора.

Интегралы напряжений трехфазного генератора, соответствующие $\int U_A dt, \int U_B dt, \int U_C dt$, с выхода аналогового вычислительного блока поступают на вход модели обмотки статора, посредством которой решается система дифференциальных уравнений (1), описывающих процессы в фазах статора. Причем, в модели обмотки статора (рис. 3б) конденсаторами C_r и резисторами $R_{\sigma r}$, соответственно, воспроизводятся активные сопротивления и индуктивности лобового рассеяния фаз статора.

Масштабный преобразователь 1 включает группу трансформаторов Тр.1—Тр.6 (рис. 3а), первичные обмотки которых соединены между собой в соответствии со схемой соединения катушек обмотки статора и через конденсаторы C_r и резисторы $R_{Л1}$, а также коммутатор 1 подключены к началам фаз а, в, с. Вторичные обмотки трансформаторов соединены с узлами 1с—12с сеточной модели, соответствующими пазам статора. Измеряемые в модели обмотки статора величины токов и напряжений первичных обмоток трансформаторов поступают в АВБ для решения уравнения (3) движения ротора. Найденное в АВБ напряжение, соответствующее угловой скорости вращения ротора, далее преобразуется в частоту следования импульсов, управляющих коммутаторами 1, 2, 3.

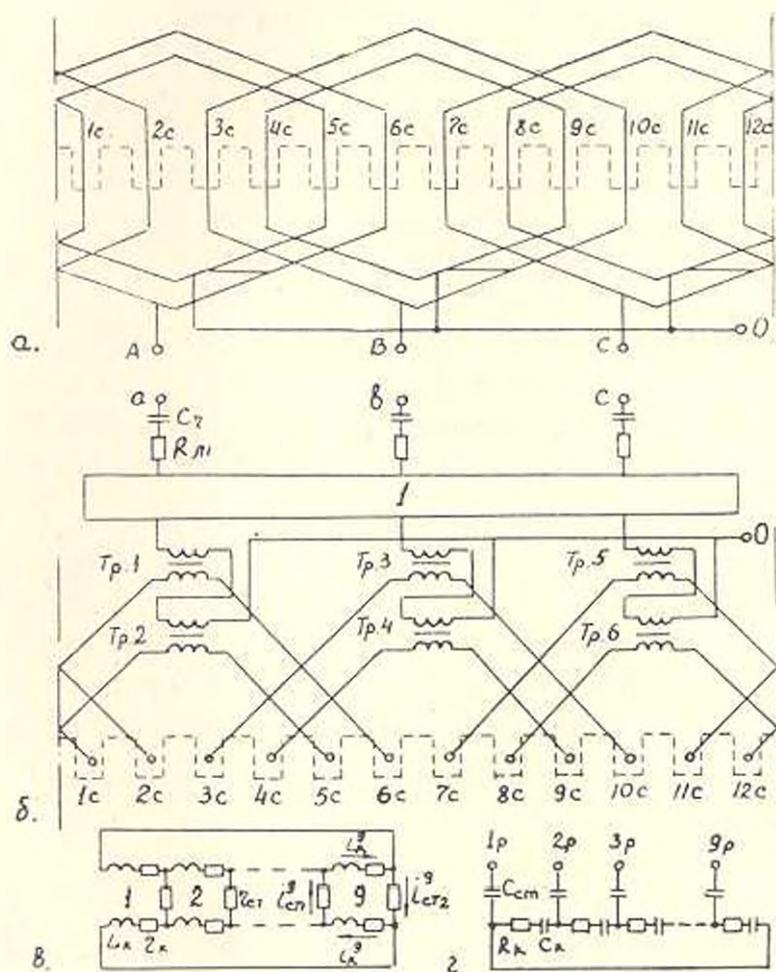


Рис. 3. Модели обмоток статора и ротора АМ.

На рис. 3в и г представлены схема замещения электрических контуров ротора, соответствующая уравнению (2), и схема модели обмотки ротора, реализующей это уравнение. Здесь посредством см-

кости c , и активного сопротивления R_c моделируются суммарное активное сопротивление $2r_c$ и суммарная индуктивность $2L_c$ участков каждого из N контуров обмотки ротора, а с помощью емкости c_c воспроизводится активное сопротивление стержня. При этом между подключаемыми к модели магнитного поля клеммами 1р—9р модели обмотки ротора измеряются напряжения, соответствующие потоко-сцеплениям ψ_k контуров обмотки ротора.

Предложенное моделирующее устройство предназначено для решения задач анализа и синтеза асинхронных машин на стадии их проектирования, однако оно может быть успешно использовано также в качестве элемента модели энергетической системы, содержащее асинхронные машины.

Է. Ս. ՆՐԱՅՐԱՆՅԱՆ, Լ. Ս. ՓԱՐՎԱՆՅԱՆ

ԱՍԻՆԿՐՈՆ, ԻՆՔԵՆԱՆԵՐԻ ԿԱՌՈՑՎԱԾՓՅՅՅՆ, ԻՌԻՆԵԱՎՈՐՈՒՄԸ ԶԱԳԵՑՄԱՆ ԵՎ ԱՏԱԴՆԱՎՈՐ ԻՆՋՈՒՆԿՆԵՐԻ ՓՈՆԱԿԱՐՉ ՏԵՂԱՇԱՐՔԻ ԶԱՇՎԱՌՄԱՄԸ

Ա մ փ ո փ ո ս լ մ

Փափայթիների և մագնիսական շղթայի կառուցվածքային մոդելավորման, ոտորի պատման նմանակման, յուրօրինակ սխեմաների հիման վրա առանց էլեկտրական մեքենաների վերլուծական տեսության մի շարք պարզեցնող ընդունելիությունների, առաջարկված է մոդելավորող սարք ասինխրոն մեքենաներում հաստատված և անցյալի էլեկտրամագնիսական պրոցեսները հետազոտման համար: Այն կարող է օգտագործվել գիտահետազոտական և հոտագծային կազմակերպություններում որպես արդյունավոր գործիք ժամանակակից ասինխրոն մեքենաներ նախադժեյու համար:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Иванов-Смоленский А. В., Фридриховича Э. С. Моделирующее устройство для расчета электромагнитных процессов в асинхронных машинах.— Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт, 1981. № 3, с. 68—73.