

4,2 Гц, где датчиком скорости служил тахогенератор типа ЭТ-7.

Амплитуда пульсаций $\Delta\omega^*$ скорости вращения АД зависит и от момента инерции I вращающихся частей системы электропривода. При постоянной частоте питающего двигателя напряжения значение $\Delta\omega^*$ уменьшается пропорционально увеличению I [2].

Анализ результатов, полученных при исследовании пульсаций скорости вращения АД при питании от НПЧ, показывает, что: а) наиболее выражены пульсации мгновенной скорости вращения с шестикратной частотой по отношению к частоте первой гармоники питающего двигателя напряжения; б) с уменьшением частоты питающего напряжения амплитуда пульсаций увеличивается (при частоте $f_2 = 10$ Гц $\Delta\omega^* = 0,03$; при $f_2 = 2,2$ Гц $\Delta\omega^* = 0,06$, а при $f_2 = 0,8$ Гц $\Delta\omega^* = 0,35$); в) в режиме непрерывного тока амплитуда пульсаций скорости вращения немного меньше, чем в режиме прерывистого тока (при $f_2 = 0,8$ Гц в режиме прерывистого тока $\Delta\omega^* = 0,35$, а в режиме непрерывного тока $\Delta\omega^* = 0,3$); г) амплитуда пульсаций при холостом ходе АД несколько больше, чем при нагрузке (при холостом ходе для $f_2 = 10$ Гц $\Delta\omega^* = 0,03$, а при номинальной нагрузке $\Delta\omega^* = 0,025$).

Л и т е р а т у р а

1. Фираго Б.И., Павлович С.Н. Преобразователь частоты с непосредственной связью на симисторах без уравнильных токов. — "Изв. вузов. Энергетика", 1970, № 8. 2. Беспалов В.Я., Копылов И.П. Переходные процессы в асинхронных двигателях при несинусоидальном напряжении. — "Электричество", 1971, № 8.

Т.Т. Розум

РАСЧЕТ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В МАГНИТНОМ УСИЛИТЕЛЕ БЕЗ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ С ПОМОЩЬЮ НАПРАВЛЕННОГО ГРАФА

В следящих системах, в устройствах автоматического управления и регулирования важно знать факторы, которые качественно и количественно влияют на параметры переходных процессов магнитных усилителей (МУ) при различных режимах работы. В

выполненных исследованиях [1—2] рассматриваются режимы работы МУ с помощью линейных методов и поэтому результаты анализа не являются исчерпывающими.

В настоящей статье изложены результаты исследований по разработке методики расчета переходных процессов МУ без обратной связи с учетом нелинейных характеристик. Для этой цели используется направленный граф [3] МУ, на основе которого строится алгоритм расчета. Выбор типа аппроксимации в этом случае не имеет принципиального значения. По существу своему метод расчета на основе графа является методом последовательных интервалов с итерацией на каждом шаге [4], причем итерационные циклы видны на схеме графа. Анализ структуры графа исключает нерациональные варианты расчетных схем.

Рассматриваемый магнитный усилитель состоит из двух сердечников, на каждом из которых размещено по две обмотки: рабочая, с числом витков W , и управляющая, с числом витков W_0 (рис.1).

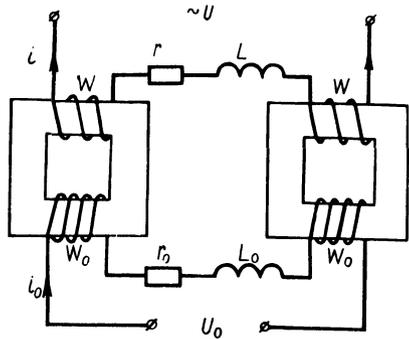


Рис. 1.

Полагая, что нагрузка МУ активно-индуктивная и цепь управления содержит линейную индуктивность L_0 для подавления четных гармоник, записываем следующие уравнения электрических и магнитных цепей усилителя:

$$\left. \begin{aligned}
 U_m \cos(\omega t + \varphi) &= w \frac{d\Phi_1}{dt} + w \frac{d\Phi_2}{dt} + ir + L \frac{di}{dt}; \\
 U_0 &= w_0 \frac{d\Phi_1}{dt} - w_0 \frac{d\Phi_2}{dt} + i_0 r_0 + L_0 \frac{di_0}{dt}; \\
 iw + i_0 w_0 &= i_I w; \quad iw - i_0 w_0 = i_{II} w.
 \end{aligned} \right\} (1)$$

Для приведенного МУ ($w_0 = w$) система уравнений (1) в относительных единицах [5] запишется так:

$$\left. \begin{aligned} u &= p \Psi_1 + p \Psi_2 + ir + p \Psi; \\ u_0 &= p \Psi_1 - p \Psi_2 + i_0 r_0 + p \Psi_0; \\ i + i_0 &= sh \Psi_1; \\ i - i_0 &= sh \Psi_2. \end{aligned} \right\} (2)$$

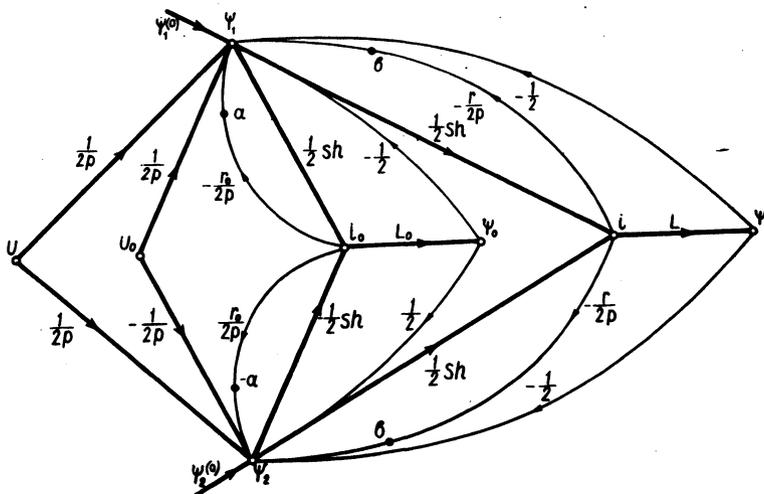


Рис. 2.

Система уравнений (2) может быть решена относительно каждой из зависимых переменных, соответственно граф МУ может иметь различную структуру. Анализ возможных модификаций показал, что граф, представленный на рис.2, обеспечивает наиболее устойчивую расчетную схему, так как прямые передачи графа достаточно точно определяют первые приближения потокосцеплений и токов МУ в соответствии с физическими процессами в нем. Обратные связи все отрицательны и преимущественно используют оператор интегрирования, что свидетельствует об устойчивости расчетной схемы.

Представленный граф (рис.2) построен на основе следующего решения исходной системы уравнений (2):

$$\Psi_1 = \frac{u}{2p} + \frac{u_0}{2p} - \frac{r}{2p} i - \frac{r_0}{2p} i_0 - \frac{\Psi}{2} - \frac{\Psi_0}{2};$$

$$\Psi_2 = \frac{u}{2p} - \frac{u_0}{2p} - \frac{r}{2p} i + \frac{r_0}{2p} i_0 - \frac{\Psi}{2} + \frac{\Psi_0}{2};$$

$$i = \frac{1}{2} \operatorname{sh} \Psi_1 + \frac{1}{2} \operatorname{sh} \Psi_2;$$

$$i_0 = \frac{1}{2} \operatorname{sh} \Psi_1 - \frac{1}{2} \operatorname{sh} \Psi_2$$

и вспомогательных соотношений

$$\Psi = Li; \quad \Psi_0 = L_0 i_0.$$

Наличие потока в сердечниках в момент коммутации учтено путем введения в узлы графа Ψ_1 и Ψ_2 дополнительных ветвей с постоянно действующими сигналами $\Psi_1^{(0)}$ и $\Psi_2^{(0)}$, соответствующими потокоцеплениям дросселей до момента коммутации.

Направленный граф указывает следующий порядок вычислений для $(k+1)$ -го интервала в первом приближении: потокоцепления Ψ_1 и Ψ_2 дросселей с учетом приращений потокоцеплений по ветвям обратных связей для момента времени t_k :

$$\Psi_{1(k+1)} = \frac{1}{2} \int_{t_0}^{t_{k+1}} u dt + \frac{1}{2} U_{0k+1} t_{k+1} + a_k''' + b_k''' -$$

$$- \frac{1}{2} L_0 i_{0k}''' - \frac{1}{2} L i_k''' + \Psi_1^{(0)};$$

$$\Psi_{2(k+1)} = \frac{1}{2} \int_{t_0}^{t_{k+1}} u dt - \frac{1}{2} U_{0k+1} t_{k+1} - a_k''' + b_k''' +$$

$$+ \frac{1}{2} L_0 i_{0k}''' - \frac{1}{2} L i_k''' + \Psi_2^{(0)};$$

токи цепей управления и нагрузки и соответствующие им приращения потокосцеплений a_{k+1} , b_{k+1} по ветвям обратных связей:

$$i_{o(k+1)} = \frac{1}{2} \operatorname{sh} \Psi_{1(k+1)} - \frac{1}{2} \operatorname{sh} \Psi_{2(k+1)};$$

$$a_{k+1} = -\frac{1}{4} r_o (i_{o(k+1)} + i_{ok}^{\text{III}}) \Delta t + a_k^{\text{III}};$$

$$i_{k+1} = \frac{1}{2} \operatorname{sh} \Psi_{1(k+1)} + \frac{1}{2} \operatorname{sh} \Psi_{2(k+1)};$$

$$b_{k+1} = -\frac{1}{4} r (i_{k+1} + i_k^{\text{III}}) \Delta t + b_k^{\text{III}}.$$

Более точные значения исследуемых величин определяются в процессе итераций, которые выполняются согласно контурам обратной связи графа.

Таким образом, алгоритм расчета переходных характеристик на каждом интервале определяется структурой графа. Первые грубые приближения исследуемых функций для момента времени $t_{k+1} = t_k + \Delta t_{k+1}$ равны сумме значения функции, соответствующего моменту времени t_k и приращений ее на интервале Δt_{k+1} по прямым ветвям графа. Желаемая точность достигается в процессе итерационной обработки.

На основе предложенного графа и соответствующего ему алгоритма расчета могут быть исследованы переходные процессы МУ в режиме активной и активно-индуктивной нагрузки (при активной нагрузке полагаем $L = 0$, в результате чего исчезают одна прямая и две обратные ветви графа).

По предложенной методике проведены расчеты переходных процессов МУ (рис. 1) при различных режимах работы (менялся характер и параметры нагрузки, параметры цепи управления).

Магнитный усилитель выполнен на дросселях со следующими данными: сечение сердечника ($S = 25,3 \text{ см}^2$); длина средней силовой линии ($l = 31,8 \text{ см}$); число витков обмоток ($w = 100 \text{ вит}$; $w_o = 400 \text{ вит}$).

Кривая намагничивания материала сердечников аппроксимирована выражением

$$H = 20,7 \operatorname{sh} 4, 13 B.$$

Питающее напряжение цепи нагрузки

$$u = 120\sqrt{2} \cos(\omega t + \varphi) \text{ В,}$$

цепи подмагничивания

$$U_0 = 12,3 \text{ В.}$$

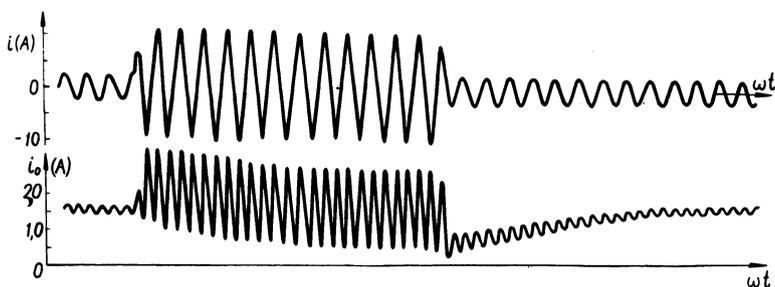


Рис. 3.

На рис. 3 приведены результаты расчета переходных процессов МУ при скачкообразном изменении параметров активной нагрузки. Здесь сопротивление нагрузки изменяется скачком от 54 Ом до 14 Ом, фаза переменного напряжения в момент скачка $\varphi = 30^\circ$, затем имеет место второй скачок от 14 Ом до 54 Ом, фаза напряжения $\varphi = 0$.

Погрешность расчетных характеристик в сравнении с результатами осциллографирования не превышает 12%.

Л и т е р а т у р а

1. Розенблат М.А. Магнитные усилители. М., 1963.
2. Липман Р.А., Негневицкий И.Б. Быстродействующие магнитные и магнитно-полупроводниковые усилители. М.—Л., 1960.
3. Мэзон С. Электронные цепи, сигналы и системы. М., 1963.
4. Демидович Б.П., Марон И.А. Основы вычислительной математики. М., 1966.
5. Бамдас А.М., Кулинич В.А., Шапиро С.В. Статические электромагнитные преобразователи частоты и числа фаз. М.—Л., 1961.