

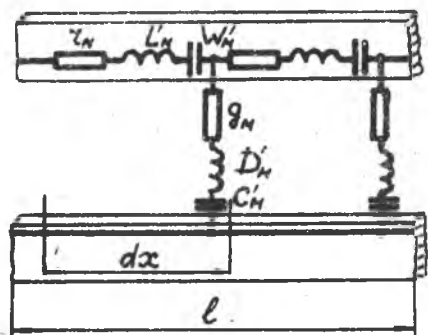
И. А. Лыханов, М. Ф. Зарипов

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ И ПАРАМЕТРЫ  
МАГНИТНЫХ СИСТЕМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИИ

Магнитную систему любого преобразователя информации с распределенными параметрами можно представить в виде магнитной линии и магнитной цепи [1].

Магнитодвижущая сила (МДС)  $F$ , или магнитное напряжение  $U$ , и магнитный ток  $I_M$  в линии являются функциями двух независимых переменных: пространственной координаты  $x$ , определяющей место наблюдения, и времени  $t$ , определяющего момент наблюдения. Задачей обычно является нахождение пространственно-временного распределения величин МДС  $e_M(x, t)$  и магнитного тока в линии  $i_M(x, t)$ .

По аналогии с электрической цепью для магнитной линии (рис. 1) можно записать уравнения в частных производных [2, 3]



Р и с. 1. Магнитная линия

$$\begin{cases} -\frac{\partial e_M}{\partial x} = r_M i_M + L'_M \frac{\partial i_M}{\partial t} + \int w'_M i_M dt; \\ -\frac{\partial}{\partial x} \left[ i_M \frac{1}{g_M} + \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{1}{D'_M} \right) + \int \frac{dt}{C'_M} \right] = U_M, \end{cases} \quad (I)$$

где  $r_M = \frac{R_M}{l} = \frac{1}{l} \frac{U_M}{i_M}$  — погонное магнитное сопротивление линии;

$g_M = \frac{G_M}{l} = \mu \frac{S}{l l'}$  — погонная магнитная проводимость;

$l$  - длина магнитной линии;  
 $\mu, S, l'$  - соответственно магнитная проницаемость, площадь поперечного сечения и длина рассматриваемого участка магнитной цепи;

$C'_M = \frac{C_M}{l} = \frac{G_M}{l}$  - погонная магнитная емкость;

$L'_M = \frac{L_M}{l} = \epsilon \frac{S_n}{l \cdot l_n}$  - погонная магнитная индуктивность;

$\epsilon, S_n, l_n$  - соответственно диэлектрическая проницаемость, площадь поверхности и расстояние между поверхностями магнитопровода;

$W'_M = \frac{W_M}{l} = \frac{1}{l C_M}$  - погонная магнитная жесткость;

$D'_M = \frac{D_M}{l} = \frac{1}{l L_M}$  - погонная инверсная магнитная индуктивность (дедуктивность).

Уравнения (1) могут быть решены однозначно при использовании начальных и граничных условий. Начальными условиями будут значения МДС и магнитного тока в начале или в конце линии в момент времени, принятый за нуль. Граничные условия определяются связями между МДС и магнитным током в начале или в конце линии, зависящими от заданного режима работы линии. Решение вышеприведенных уравнений дает функциональные зависимости МДС и магнитного тока в линии от переменных  $x$  и  $t$ .

При периодическом режиме под воздействием приложенного к линии синусоидального напряжения считаем, что в любой точке линии МДС и магнитный ток изменяются синусоидально с частотой источника. Обозначим комплексные действующие значения МДС и магнитного тока на расстоянии  $x$  от начала линии через  $\dot{F} = F(x)$  и  $\dot{I}_M = I_M(x)$ .

Перепишем уравнения (1) в комплексном виде, заменяя частные производные по  $x$  обыкновенными ввиду того, что комплексные значения  $\dot{F}$  и  $\dot{I}_M$  не зависят от  $t$ , а являются только функциями  $x$

$$\left\{ \begin{array}{l} - \frac{d\dot{F}}{dx} = (r_M + j\omega L'_M + \frac{W'_M}{j\omega}) \dot{I}_M ; \\ - \frac{d\dot{I}_M}{dx} = \frac{\dot{F}}{\frac{1}{g_M} - j\omega \frac{1}{D'_M} - \frac{1}{j\omega C'_M}} \end{array} \right. \quad (2)$$

Исключая из уравнений системы (2) попеременно магнитный ток или НДС, получим выражения относительно НДС  $F$  и магнитного тока

$$I_M : \begin{cases} \frac{d^2 \dot{F}}{dx^2} = \frac{r_m + j\omega L'_m + W'_m/j\omega}{1/g_m - j\omega/D'_m - 1/j\omega C'_m} \dot{F}; \\ \frac{d^2 \dot{I}_M}{dx^2} = \frac{r_m + j\omega L'_m + W'_m/j\omega}{1/g_m - j\omega/D'_m - 1/j\omega C'_m} \dot{I}_M; \end{cases} \quad (3)$$

Обозначим

$$\sqrt{\frac{r_m + j\omega L'_m + W'_m/j\omega}{1/g_m - j\omega/D'_m - 1/j\omega C'_m}} = \delta = \beta + j\alpha, \quad (4)$$

где  $\delta$  - коэффициент распространения.

Уравнения (3) с учетом (4) запишутся в виде

$$\begin{cases} \frac{d^2 \dot{F}}{dx^2} = \delta^2 \dot{F}; \\ \frac{d^2 \dot{I}_M}{dx^2} = \delta^2 \dot{I}_M. \end{cases} \quad (5)$$

Решения однородных линейных дифференциальных уравнений второго порядка можно представить

$$\begin{cases} \dot{F} = \dot{A}_1 e^{-\delta x} + \dot{B}_1 e^{\delta x}; \\ \dot{I}_M = \frac{1}{Z_B} (\dot{A}_1 e^{-\delta x} - \dot{B}_1 e^{\delta x}), \end{cases} \quad (6)$$

где  $Z_B$  - волновое сопротивление линии;

$$Z_B = \sqrt{(r_m + j\omega L'_m + W'_m/j\omega)(1/g_m - j\omega/D'_m - 1/j\omega C'_m)}. \quad (7)$$

$\dot{A}_1, \dot{B}_1$  - постоянные интегрирования, определяемые из граничных условий.

Подставляя (4) в (6), получим для НДС

$$\dot{F} = \dot{A}_1 e^{-\beta x} e^{-j\alpha x} + \dot{B}_1 e^{\beta x} e^{j\alpha x}. \quad (8)$$

Мгновенное значение магнитодвижущей силы в точке  $x$  равно мнимой части выражения  $\sqrt{2} \dot{F} e^{j\omega t}$ :

$$e_m(x,t) = I_m [\sqrt{2} \dot{A}_1 e^{-\beta x} e^{-j\alpha x} e^{j\omega t} + \sqrt{2} \dot{B}_1 e^{\beta x} e^{j\alpha x} e^{j\omega t}] = \\ = \sqrt{2} A_1 e^{-\beta x} \sin(\omega t + \psi_1 - \alpha x) + \sqrt{2} B_1 e^{\beta x} \sin(\omega t + \psi_2 + \alpha x), \quad (9)$$

где  $\psi_1, \psi_2$  - аргументы комплексных величин  $\dot{A}_1$  и  $\dot{B}_1$  ;  
 $\omega$  - угловая частота.

Если считать точку  $x$  фиксированной и рассматривать уравнение МДС в данной точке в зависимости от времени, то первая составляющая выражения (9) представляет собой синусоидальную функцию с постоянной амплитудой  $\sqrt{2} A_1 e^{-\beta x}$ .

Если же считать момент времени  $t$  фиксированным и рассматривать изменение мгновенной МДС вдоль линии, то получим затухающую синусоидальную волну МДС, амплитуда которой  $\sqrt{2} A_1 e^{-\beta x}$  убывает с ростом  $x$  по мере перемещения от начала линии к концу. Одновременно вторая составляющая выражения (9) также представляет собой синусоидальную волну, но амплитуда которой  $\sqrt{2} B_1 e^{\beta x}$  возрастает с увеличением  $x$ .

Величина  $\beta$ , характеризующая изменение амплитуды волны, называется коэффициентом затухания, а величина  $\alpha$ , характеризующая изменение фазы, называется коэффициентом фазы.

Убывание амплитуды волны вдоль линии обусловливается потерями в линии, а изменение фазы - конечной скоростью электромагнитных колебаний. Оба коэффициента входят в комплексный параметр  $\delta$  (4), который характеризует распространение волны МДС и магнитного тока по линии.

С течением времени первая составляющая МДС, характеризующая прямую или падающую волну, перемещается от начала линии к ее концу с фазовой скоростью

$$v_\varphi = \frac{dk}{dt} = \frac{\omega}{\alpha}. \quad (10)$$

Вторая составляющая МДС, характеризующая обратную или отраженную волну, перемещается с такой же скоростью  $v_\varphi$ , но от конца линии к ее началу, т.е. мгновенное значение магнитодвижущей силы можно рассматривать как сумму двух волн, движущихся в противоположных направлениях, причем каждая из этих волн затухает в направлении движения.

Таким образом, дифференциальные уравнения (I) позволяют анализировать магнитные системы в динамическом режиме, что является общим случаем при исследованиях электромагнитных преобразователей информации.

#### Литература

1. Зарипов М.Ф. Преобразователи с распределенными параметрами. - М.: Энергия, 1969. - 176 с.
2. Атабеков Г.И. Теоретические основы электротехники. - М.-Д.: Энергия, 1966, ч. I. - 319 с.
3. Зарипов М.Ф. Датчики малых угловых скоростей. - Уфа: изд-во Уфимского авиационного ин-та, 1975. - 72 с.

УДК 622.24.08

В.А.Брашникков, В.А.Кулименко, М.И.Сергеев

#### СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ БУРЕНИЯ "УЗБЕКИСТАН"

Система предназначена для автоматического управления процессом бурения глубоких скважин. В основе системы находится микроЭВМ "Электроника С5-12", использующая технологические алгоритмы обработки измерительной информации, изложенные в [1, 2].

Структурная схема системы представлена на рис. 1.

Информация о технических параметрах с буровой установки поступает на датчики: проходки долота, веса бурящего инструмента, крутящего момента роторного стола и давления промывочной жидкости. Далее информация через согласующее устройство поступает на блок защиты, измерительные приборы, а также на аналого-цифровой преобразователь (АЦП) - "Электроника С5-12" и далее на микропроцессор "Электроника С5-12", где происходит основная обработка информации с учетом граничных условий, задаваемых на пульте управления. С процессора информация поступает на блок цифровых входов-выходов (ЦВВ - "Электроника С5-122А"), где вырабатывается команда на шпно-пневматическую муфту (ШПМ), разобщающую двигатель от буровой лебедки. Далее обработанная информация поступает на цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП), с которого информация поступает на блок защиты для предотвращения аварийных ситуаций и через блок управления механизмом подачи долота на механизм пода-