

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ НАМАГНИЧИВАЮЩЕГО КОНТУРА ПРОПОРЦИОНАЛЬНОГО МАГНИТА

А. В. Карпов

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Беларусь*

Научные руководители: А. В. Ковалев, В. А. Карпов

В электрогидравлических системах звеном, связующим электрический сигнал с положением золотника гидрораспределителя, является пропорциональный магнит (ПМ), представляющий собой устройство преобразования электрической энергии в механическую в виде осевого перемещения золотника. Особенностью ПМ является неизменность усилия, при заданном токе, в пределах рабочего перемещения. Общепринятым является управление током через ПМ путем изменения скважности ШИМ последовательности [1]. Кроме экономичности, данный способ из-за индуктивного характера нагрузки приводит к появлению пульсаций в токе ПМ – осцилляциям. Это приводит к дополнительному положительному эффекту заключающемуся в снижении влияния гистерезиса, обусловленного «сухим трением» [3].

Производители ПМ приводят ряд электрических характеристик, измеренных при питании магнита постоянным напряжением, когда весь ток протекающий по цепи управления, создает усилие – отсутствуют потери. Общепринятым является импульсное питание, сопровождаемое магнитными потерями, то параметры, приводимые производителем, недостаточны для определения тока, создающего усилие.

В работе представлена методика экспериментального определения электрических параметров намагничивающего контура пропорционального магнита. Эквивалентная схема намагничивающего контура ПМ представлена на рис. 1, а, способ его включения при питании ШИМ последовательностью – на рис. 1, б.

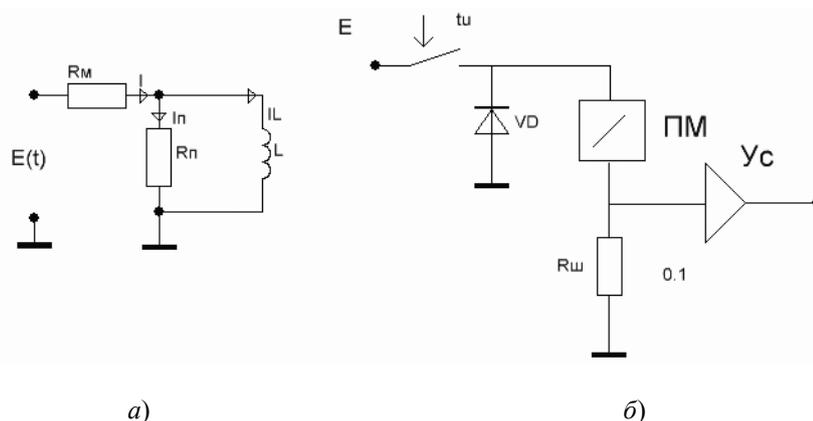


Рис. 1. а – Эквивалентная схема ПМ; б – способ включения ПМ при питании его ШИМ последовательностью

На рис. 1, а –  $E(t)$  напряжение питания ПМ;  $R_M$  – сопротивление «меди»;  $R_n$  – эквивалентное сопротивление потерь;  $L$  – эквивалентная индуктивность. Из этой схемы видно, что не весь ток, протекающий через ПМ, создает усилие, часть тока ответвляется в сопротивление потерь  $R_n$  и расходуется не эффективно. На рис. 2 представлены временные диаграммы питающего напряжения и тока ПМ.

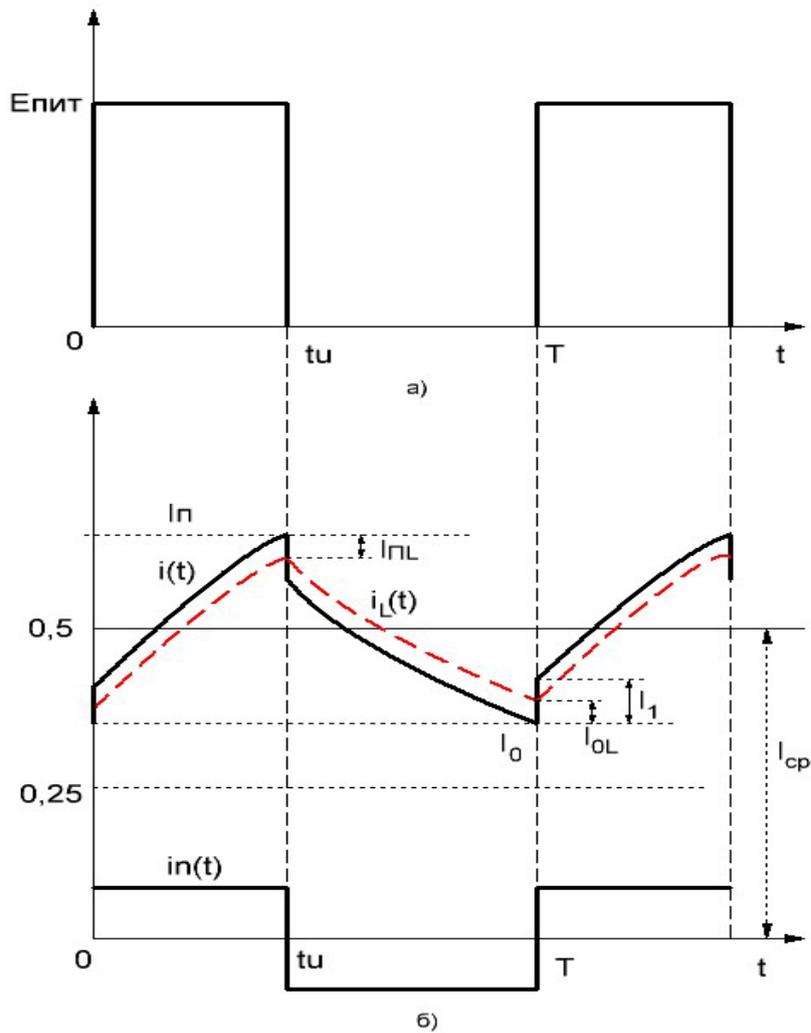


Рис. 2. Временные диаграммы питающего напряжения:  
 а – токов в эквивалентной схеме; б – для установившегося режима

$I_0, I_{0L}, I_{\text{п}}, I_{\text{пL}}$  – минимальные и максимальные токи через ПМ и индуктивность  $L$ ,  $I_1$  – ток потерь, определяемый в момент времени после коммутации,  $I_{\text{cp}}, I_{\text{cpL}}$  – средние токи через магнит и индуктивность.

Для установившегося режима справедливо равенство:

$$i(0) = i(T), \quad i_L(0) = i_L(T). \quad (1)$$

Изменение токов  $i(t)$  и  $i_L(t)$  на интервале времени  $(0 - t_u)$  имеет вид:

$$i(t) = I_0 + I_1 + (I_m - I_0 - I_1)(1 - e^{-at});$$

$$i_L(t) = I_{0L} + I_1 + (I_m - I_{0L} - I_1)(1 - e^{-at}). \quad (2)$$

Изменение токов  $i(t)$  и  $i_L(t)$  на интервале времени  $(t = t_u)$  имеет вид:

$$i(t) = I_{\text{п}} = I_0 + I_1 + (I_m - I_0 - I_1)(1 - e^{-atu});$$

$$i_L(t) = I_{\text{нЛ}} = I_{0L} + (I_m - I_{0L})(1 - e^{-\alpha t}). \quad (3)$$

Изменение токов  $i(t)$  и  $i_L(t)$  на интервале времени  $(t_u - T)$  имеет вид:

$$i(t) = (I_{\text{п}} - I_1)e^{-\alpha t},$$

$$i_L(t) = I_{\text{нЛ}} e^{-\alpha t}. \quad (4)$$

Используя (1)–(4), можно получить пульсации тока магнита  $\Delta I$  и индуктивности  $\Delta L$ , имеющие следующий вид:

$$\Delta I = I_1 + (I_m - I_1) \frac{e^{\alpha T} + 1 - e^{\alpha(T-t_u)} - e^{\alpha t_u}}{e^{\alpha T} - 1}. \quad (5)$$

В реальных условиях доступными для измерения:  $R_M$ ,  $i(t)$ ,  $I_M = E_M/R_M$ . По осциллограмме  $i(t)$  находится  $\Delta I$ ,  $I_1 = E_m/(R_m + R_{\text{п}})$ . Из последнего выражения находится  $R_{\text{п}}$ . Для нахождения  $\alpha$  в выражении (5) обозначим  $x = e^{\alpha T}$ ;  $\beta = t_u/T$ . Тогда (5) можно представить следующим образом:

$$\frac{x + x^{1-\beta} - x^\beta}{x-1} - \frac{\Delta I - I_1}{I_M - I_1} = 0. \quad (6)$$

Для конкретных значений измеренных по осциллограмме  $i(t)$  токов  $\Delta I$  и  $\Delta I_1$  и зная значение тока. В таблице приведены результаты определения эквивалентных параметров схемы замещения для  $f = 100$  Гц,  $E_{\text{п}} = 31$  В,  $R_M = 22,8$  Ом,  $t_{\text{ц}} = (2-9)$  мс.

#### Результаты определения эквивалентных параметров схемы замещения

$t_{\text{ц}}$ , мс	2	3	4	5	6	7	8	9
$I_{\text{ср}}$ , мА	255	411	540	713	808	1036	1128	1265
$\Delta I$ , мА	200	270	300	320	330	350	300	190
$I_1$ , мА	65	70	75	83	95	100	80	70
$R_{\text{п}}$ , Ом	22,7	22,6	21,5	21,4	21,2	21,1	21,5	21,6
$\tau$ , с	0,0161	0,0142	0,0143	0,0141	0,0135	0,011	0,0097	0,0101
$L$ , Гн	0,366	0,323	0,308	0,302	0,286	0,232	0,209	0,218

#### Литература

1. Интеллектуальная гидравлика: приводы с пропорциональным управлением. – 2011. – Режим доступа: <http://konstruktor.net/podrobnee-hidr/items/intellektualnaja-gidravlika-privody-s-proporcionalnym-upravlenie.html>. – Дата доступа: 11.03.2014.
2. D. Scholz. Proportional hydraulics / D. Scholz. – Copyright by Festo Didactic GmbH & Co. – Denkendorf. – 2002. – 124 p.
3. Пропорциональная техника и техника сервоклапанов. Учебный курс гидравлики / А. Шмитт [и др.]. – Лор на Майне (ФРГ) : Маннесманн Рексрот ГмбХ, 1986. – 323 с. : ил.