

## К ВОПРОСУ ПОСТРОЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ

С. А. ЛУКОВНИКОВА

(Представлена научно-техническим семинаром кафедры электрооборудования АЭМФ)

В маломощных приводах с крутильными колебаниями выходного вала целесообразно использовать в качестве исполнительного элемента асинхронный двухфазный электродвигатель с полым ротором, поскольку он в колебательном режиме может обеспечить регулирование амплитуды  $\varphi_m$  и частоты  $f_{\text{кол}}$  колебаний вала в широких пределах и по самым разнообразным законам [1].

В замкнутой системе регулирования  $\varphi_m$  и  $f_{\text{кол}}$  существенное влияние на точность и быстродействие будет оказывать измерительный элемент. В данной работе рассматривается возможность использования колебательной модуляции светового потока для измерения  $\varphi_m$  и  $f_{\text{кол}}$ . Такой тип измерителя имеет ряд существенных преимуществ перед контактными и электромагнитными и очень удобен для использования в оптико-электрических системах.

На рис. 1 представлена функция модуляции  $h(t)$  при колебании одного из модулирующих растровых дисков по синусоидальному закону для случая совпадения центра круглого равноэнергетического светового пятна с центрами модулирующих дисков. Расчет  $h(t)$  производился по соотношениям, приведенным в [2] (обозначения всех величин те же).

В построенных для различных  $\varphi_m^0$  и  $\varphi_{\text{н1}}^0$  кривых можно видеть характерные экстремумы 1 и 2, величина и взаимное положение которых жестко связаны с  $\varphi_m^0$  и  $\varphi_{\text{н1}}^0$ . Если линию  $h = 0,5$  принять за начало отсчета, то расстояние  $\Delta h_1$  от нее до средней прямой между характерными экстремумами ( $0,5 \Delta h_2$ ) пропорционально  $\varphi_{\text{н1}}^0$ , а расстояние между характерными экстремумами  $\Delta h_2$  пропорционально  $\varphi_m^0$ . Однако надо иметь в виду, что здесь идет речь о нецелой части величин  $\varphi_m^0$  и  $\varphi_{\text{н1}}^0$ . Целая часть  $\varphi_m^0$  определяется числом периодов отрезка  $h(t)$  между характерными экстремумами, а целая часть  $\varphi_{\text{н1}}^0$  на вид кривых  $h(t)$  не влияет. Для определения нецелых частей  $\varphi_{0m}$  и  $\varphi_{\text{н1}}^0$  можно пользоваться уравнениями:

$$\begin{aligned}\varphi_m^0 &= 0,25 \Delta h_2, \\ \varphi_{\text{н1}}^0 &= 0,25 (1 - 2 \Delta h_1).\end{aligned}\tag{1}$$

Заметим, что при  $\varphi_{\text{н1}}^0 = 0,25 \Delta h_1 = 0$  и положение экстремумов будет зависеть только от  $\varphi_m^0$ . Расчет зависимости амплитуды  $i$ -й гармоники кривой  $h(t)$  от величины  $\varphi_m^0$  при различных  $\varphi_{\text{н1}}^0$  показал,

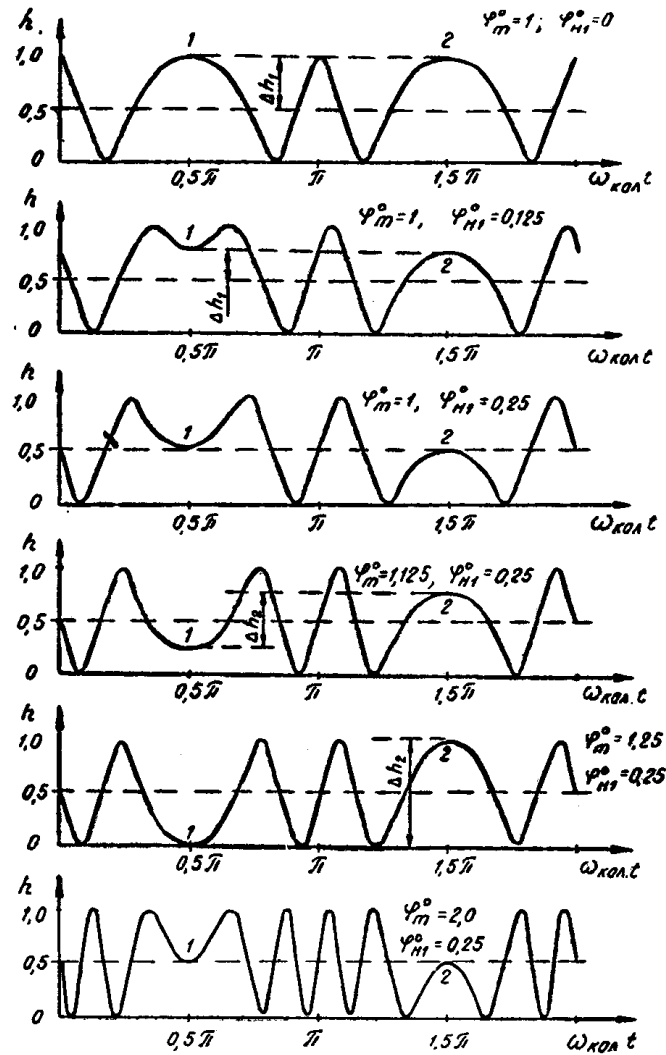
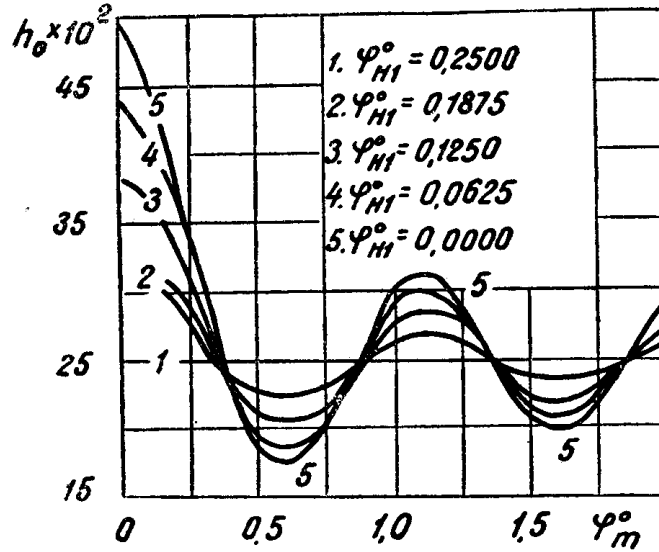


Рис. 1. Функция модуляции  $h(t)$  при различных величинах  $\varphi_m^0$  и  $\varphi_{H1}^0$

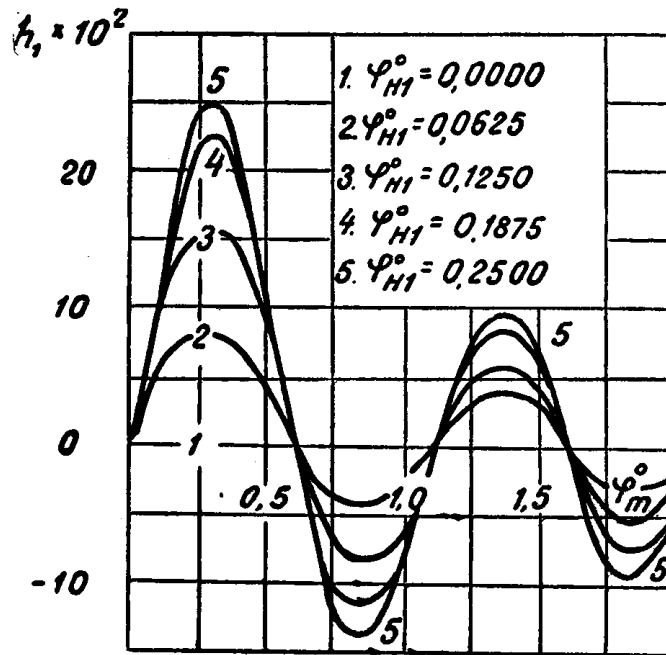
что вид ее определяется функцией Бесселя  $i$ -го порядка, как видно, например, из рис. 2, для постоянной составляющей  $h_0$  и первой гармоники  $h_1$ .

Использование этих зависимостей для нахождения  $\varphi_m^0$  целесообразно при  $\varphi_{H1}^0 = 0,25$  в точках экстремумов. Поскольку период функций Бесселя при небольших аргументах примерно равен  $\pi$  и, кроме того, из-за наличия в выражениях [2], определяющих  $h_i$ , множителя  $(2m-1)^{-2}$ , можно считать, что корни  $h_i(\varphi_m^0)$  и точки, где  $h_0 = 25$ , определяются из уравнения  $I_i[2\pi\varphi_m^0] = 0$ . В таком случае на основании табличных сведений можно получить приближенные соотношения:

$$\begin{aligned}
 [\varphi_m^0]_k^{(0)} &= 0,38274 + 0,49921(k-1), \\
 [\varphi_m^0]_k^{(1)} &= 0,60984 + 0,50148(k-1), \\
 [\varphi_m^0]_k^{(2)} &= 0,81736 + 0,50543(k-1), \\
 [\varphi_m^0]_k^{(i)} &= [\varphi_m^0]_3^{(i)} + [0,50762 + 0,0032627(i-4)](k-3),
 \end{aligned} \tag{2}$$



а)



б)

Рис. 2. Зависимость постоянной составляющей (а) и первой гармоники (б)  $h(t)$  от  $\varphi_m^0$  и  $\varphi_{H1}^0$

где  $[\varphi_m^0]_k^{(i)}$  —  $k$ -й корень функции  $h_i(\varphi_m^0)$ . Последнее выражение в (2) справедливо для  $i, k \geq 3$ . В таблице приводятся величины  $[\varphi_m^0]_k^{(i)}$  для  $k=1, 2, 3$  и  $i \geq 3$ . Погрешность, возникающая при пользовании соотношениями (2), не превышает 1%. Указанными соотношениями можно пользоваться для оценки величин  $\varphi_m^0$ , при которых  $i$ -я гармоника имеет максимальную амплитуду, если считать, что миниму-

мы амплитуды (точки экстремума  $h_i(\varphi_m^0)$ ) лежат посередине между корнями  $[\varphi_m^0]_k^{(i)}$ .

Анализ функции модуляции  $h(t)$  для случая расположения светового пятна на периферии модулирующих дисков позволяет получить выводы, подобные приведенным. Однако в этом случае появляется сильная дополнительная зависимость  $h(t)$  от параметров пятна  $\varphi_{па}^0$ ,  $\varphi_{0а}^0$ , что может существенно усложнить регулятор  $\varphi_m$  в целом.

Т а б л и ц а

$i$	Номер корня		
	$k=1$	$k=2$	$k=3$
3	1.015 434	1.553 520	2.071 434
4	1.207 722	1.761 004	2.287 462
5	1.396 025	1.963 750	2.498 761
6	1.581 382	2.162 803	2.706 243
7	1.764 451	2.358 879	2.910 560
8	1.945 684	2.552 491	3.112 203
9	2.125 404	2.744 026	3.311 546
10	2.303 848	2.933 777	3.508 889
11	2.481 203	3.121 980	3.704 468
12	2.657 610	3.308 818	3.898 484
13	2.833 188	3.494 445	4.091 097
14	3.008 029	3.678 992	4.282 442
15	3.182 214	3.862 561	4.472 641
16	3.355 806	4.045 245	4.661 788
17	3.528 863	4.227 122	4.849 975
18	3.701 433	4.408 259	5.037 275

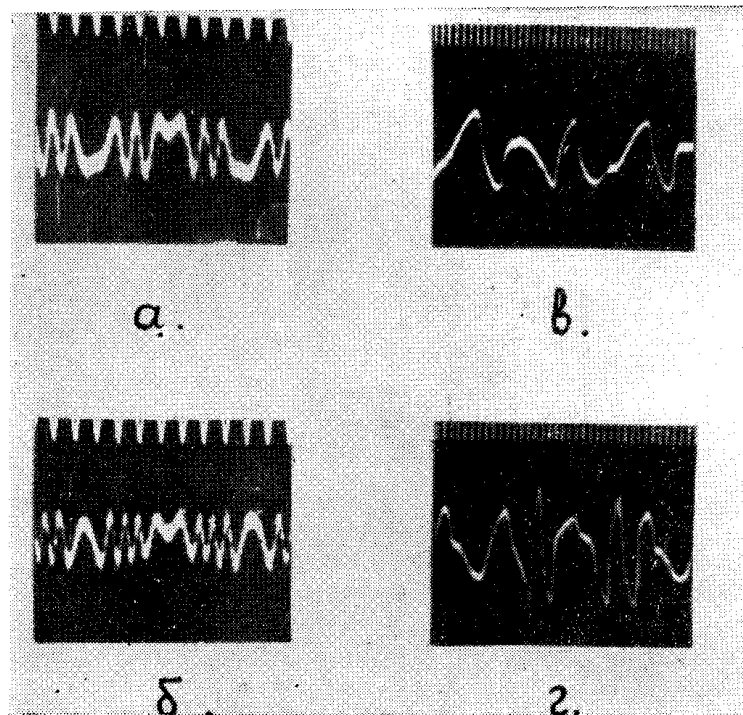


Рис. 3. Осциллограммы  $h(t)$ , полученные модулятором на основе колебательного двигателя (а, б) и РП-4 (в, г)

С целью экспериментальной проверки результатов расчета было проведено исследование колебательной модуляции, осуществляемой с помощью колебательного электродвигателя с полым валом и реле РП-4. В первом случае использовались модулирующие диски  $\varnothing 30$  мм и  $N=24$ , а во втором — решетки соответствовали дискам с  $\varnothing 200$  мм и  $N=120$ .

Частота и амплитуда колебаний в первом случае изменялась за счет соответствующего регулирования параметров питания электродвигателя, а во втором — применением пружины, поддерживающей решетку, из различных материалов (сталь и бамбук).

На рис. 3 представлены осциллограммы  $h(t)$ , полученные колебательным двигателем для случая расположения светового пятна в центре дисков (а, б, в) и с помощью реле для пятна вне центра дисков (д, е, ж). При этом осциллограммы соответствуют параметрам:

а)  $\varphi_m^0 = 1,375$ ;  $\varphi_{н1}^0 = 0,25$ ; б)  $\varphi_m^0 = 2,125$ ;  $\varphi_{н1}^0 = 0,125$ ; в)  $\varphi_m^0 = 1$ ,  $\varphi_{н1}^0 = 0$ ; г)  $\varphi_m^0 = 1,125$ ,  $\varphi_{н1}^0 = 0,25$ .

Хорошее совпадение формы  $h(t)$ , полученной расчетным и экспериментальным путем, а также удовлетворительное совпадение (расхождение не более 15%) расчетных и экспериментальных зависимостей  $\Delta h_2(\varphi_m^0)$  (рис. 4, а) и  $[\varphi_m^0]_k^{(i)}(i)$  (рис. 4, б) дают возможность рекомендовать соотношения (1) и (2) к применению.

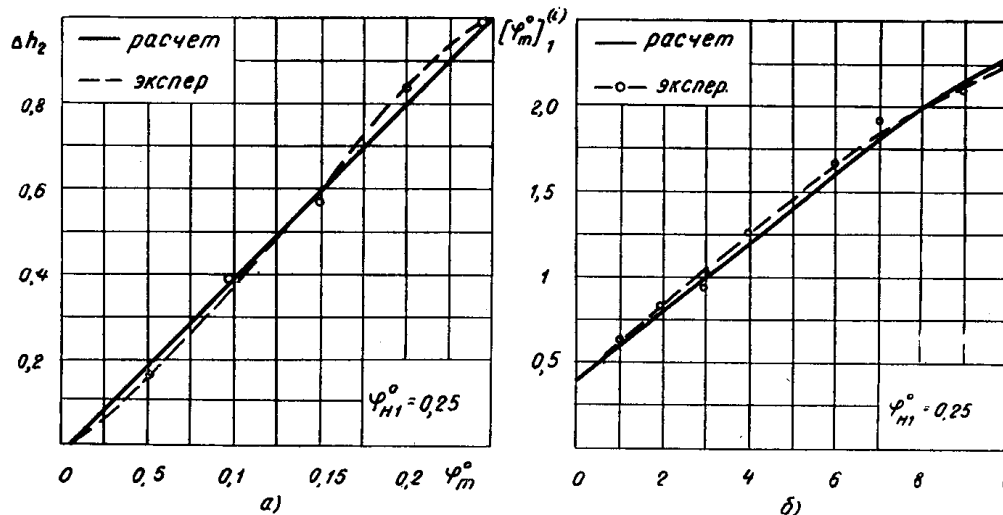


Рис. 4. Расчетные и экспериментальные зависимости  $\Delta h_2(\varphi_m^0)$  и  $[\varphi_m^0]_1^{(i)}(i)$

Итак, при построении маломощного автоматизированного электропривода крутильных колебаний на основе асинхронного двухфазного электродвигателя с полым ротором перспективно использование колебательной модуляции светового потока. При этом световой поток целесообразно направлять в центр модулирующих дисков, параметр  $\varphi_{н1}^0$  поддерживать постоянным и равным 0,25, а измерение  $\varphi_m^0$  производить согласно соотношениям (1) и (2). Частота колебаний  $f_{кол}$  определяется частотой следования характерных экстремумов в  $h(t)$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. П. И. Госьков и др. Доклады 6-й н. т. к. по вопросам автоматизации производства, т. 3, Томск, 1969.
2. В. И. Луковников. Оценка синусоидальной колебательной модуляции лучистого потока. Настоящий сборник.