

лирования полностью определяются корнями (8). Задавая желаемые  $p_1, p_2$  можно определить  $c_1$  и  $c_2$  из (8).

На рис. 2 показаны переходные процессы, полученные моделированием на АВМ. Расчетные параметры объекта:  $T_{и} = 2c, \theta = 0,4c, T = 0,05c, b = 1$ . Если корни кратные,  $p_1 = p_2 = -4,25c^{-1}$ , что получается при  $c_1 = T_{и} c_2^2 / 4\theta, c_1 = 14,5, c_2 = 3,4$ , переходный процесс имеет вид кривой 1 (рис. 2,а). Принято  $\beta_1 = 50$ . Кривые 2,3,4 получаются при изменившихся параметрах: кривая 2 — при  $T = 0,2c$ , кривая 3 — при  $\theta = 0,04c$ , кривая 4 — при  $\theta = 0,04, T = 0,2c$ . Пусть корни комплексные и удовлетворяют техническому оптимуму  $p_{1,2} = \delta \pm j\delta$ , где  $\delta = -4,25c^{-1}$ . Тогда из (8) получаем  $c_1 = 28,9, c_2 = 3,4$ . Пусть  $\beta_1 = 50$ . Переходный процесс показан на рис. 2,б (кривая 1). Процессы 2,3,4 (рис. 2,б) получаются при тех же изменениях параметров, что и в предыдущем случае. Результаты моделирования показывают возможность изложенного подхода к синтезу.

### Л и т е р а т у р а

1. Теория систем с переменной структурой. Под ред. С.В. Емельянова. М., 1970.

В.Л. Анхимюк, Н.Н. Михеев, В.Н. Сацукевич

### ТИРИСТОРНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ОПТИКООБРАБАТЫВАЮЩИХ СТАНКОВ С РЕВЕРСОРОМ В ЦЕПИ ВОЗБУЖДЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯ

Рассматриваемый тиристорный электропривод, разработанный для серийной гаммы многошпиндельных оптикообрабатывающих станков, позволяет осуществлять независимое регулирование скорости электродвигателей шпинделей, механизмов качания и реверс шпинделей. В схеме используется выпрямитель с несколькими независимо регулируемыми выходными напряжениями [1], а реверс электродвигателей шпинделей осуществляется изменением направления потока возбуждения.

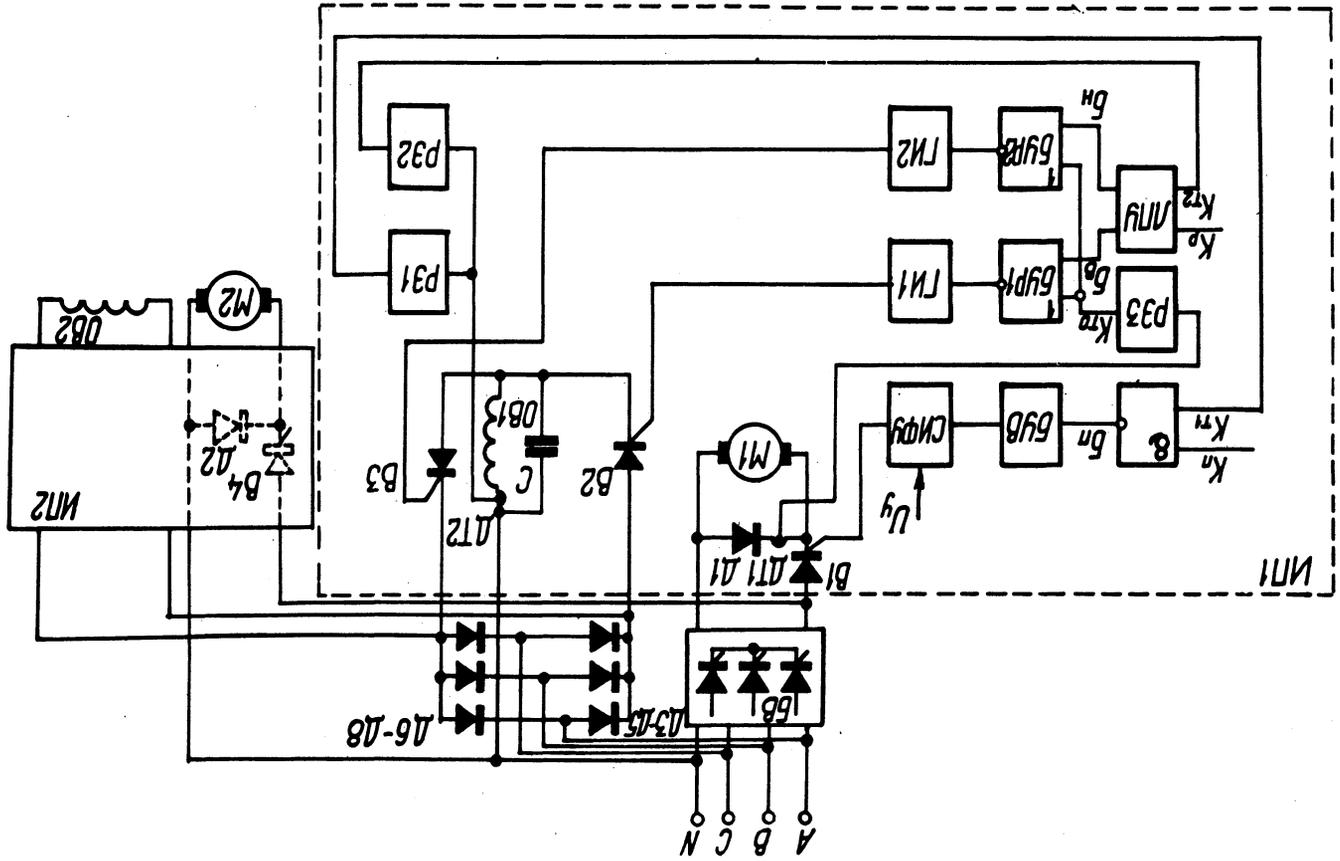


Рис. 1. Функциональная схема тиристорного бесконтактного электронного электропривода.

На рис. 1 приведена принципиальная схема тиристорного привода с двумя электродвигателями (к преобразователю подключено 12 двигателей). Питание якорных цепей двигателей осуществляется от базового выпрямителя БВ, выполненного по трехфазной нулевой схеме, через индивидуальные вентильные цепочки, состоящие из управляемых отдельных (В1, В4) и неуправляемых шунтирующих (Д1, Д2) вентилей. Базовый выпрямитель работает с фиксированным углом регулирования вентилей  $\alpha > 30$  эл.град. Обмотки возбуждения двигателей шпинделей питаются от двух неуправляемых выпрямителей (Д3 - Д5 и Д6 - Д8) через индивидуальные тиристоры (В2, В3 для обмотки возбуждения ОВ1) с емкостным отключением (конденсатор С) [2]. Скорость двигателей регулируется независимо друг от друга посредством изменения углов регулирования вентилей В1 и В4.

При номинальном токе в обмотке возбуждения ОВ1 двигателя шпинделя М1, величина которого контролируется датчиком тока ДТ2, на выходе релейных элементов РЭ1 и РЭ2 появляются сигналы  $K_{T1} = 1$  и  $K_{T2} = 1$ , которые подаются на вход логического переключающего трехпозиционного устройства (ЛПУ) и элемента И-НЕ. Пуск двигателя шпинделя М1 осуществляется подачей сигнала  $K = 1$  на второй вход элемента И-НЕ. На выходе И-НЕ блокирующий сигнал  $B_{\Pi} = \overline{K \cdot K_{T1}}$  становится рав-

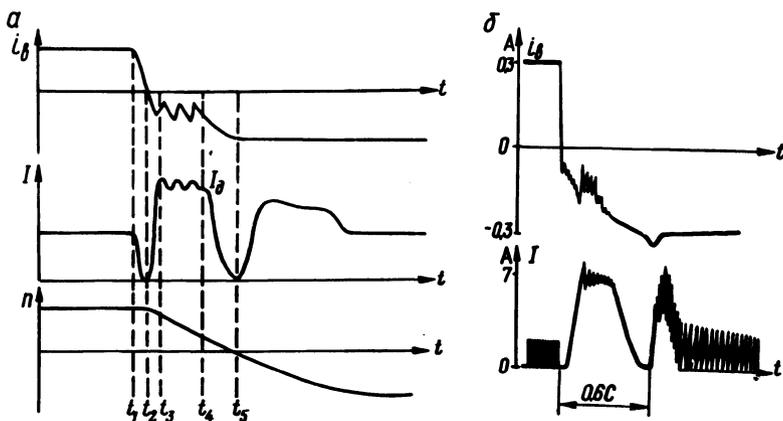


Рис. 2. Диаграммы изменения тока возбуждения, тока якоря и скорости (а) и осциллограммы изменения тока возбуждения и тока якоря (б) при реверсе электродвигателя.

ным 0 и блокирующее устройство выпрямителя БУВ разрешает работу системы импульсно-фазового управления (СИФУ).

Команда на реверс двигателя осуществляется изменением сигнала  $K_p$  на входе ЛПУ с 0 на 1 (или наоборот) в момент  $t_1$  (рис. 2,а). Работа ЛПУ описывается выражениями:

$$B_H = S(\bar{K}_p; K_p \bar{K}_{T2} \bar{B}_B); B_B = S(K_p; \bar{K}_p \bar{K}_{T2} \bar{B}_H),$$

где  $B_H, B_B$  — сигналы управления блокирующими устройствами БУР1 и БУР2 реверсора;  $S(\bar{K}_p; K_p \bar{K}_{T2} \bar{B}_B)$ ;  $S(K_p; \bar{K}_p \bar{K}_{T2} \bar{B}_H)$  — операторы "Состояние" алгебры состояний и событий.

При изменении  $K_p$  включаются блокирующие устройства БУР1 ( $B_B = 1$ ) и БУР2 ( $B_H = 1$ ), вследствие чего отключаются генераторы импульсов ГИ1 и ГИ2, тиристоры В2 и В3 оказываются отключенными, а ток возбуждения  $i_B$  уменьшается. При уменьшении тока  $i_B$  до заданной величины на выходе РЭ1 сигнал  $K_{T1}$  становится равным 0, что приводит к блокированию СИФУ выпрямителя ( $B_H = 1$ ). При дальнейшем уменьшении тока возбуждения на выходе РЭ2 сигнал  $K_{T2}$  также становится равным 0, что приводит к переключению ЛПУ ( $B_H = 0; B_B = 1$ ) и включению ГИ2. В момент  $t_2$  к обмотке возбуждения прикладывается напряжение обратной полярности и ток возбуждения возрастает. При этом начинается режим динамического торможения. В случае превышения током динамического торможения допустимой величины в момент  $t_3$  на выходе РЭ3 появляется сигнал ограничения тока  $K_{TO} = 1$ , что обеспечивает включение БУР1 и БУР2. Генераторы импульсов ГИ1 и ГИ2 отключаются и напряжение с ОВ1 снимается, ток возбуждения уменьшается, что приводит к уменьшению э.д.с. двигателя и тока динамического торможения  $i_D$ . Уменьшение тока  $i_D$  приводит к появлению сигнала  $K_{TO} = 0$  на выходе РЭ3 и отключению БУР1 и БУР2, напряжение снова подается на ОВ1. Ток возбуждения опять нарастает. Такие переключения происходят до момента  $t_4$ , когда э.д.с. двигателя станет мала, и соответственно  $i_D$  будет меньше допустимого.

Дальнейшее нарастание тока возбуждения происходит при быстром уменьшении тока  $i_d$ . В момент  $t_5$  при скорости двигателя, близкой к нулю, ток возбуждения достигает величины, близкой к номинальной, и на выходе РЭ1 появляется сигнал  $K_{T1} = 1$ , отключающий БУВ и разрешающий работу СИФУ. Начинается пуск двигателя в противоположном направлении (рис. 2, б).

Пренебрегая индуктивностью якорной цепи, систему уравнений, описывающих процесс динамического торможения, представим в виде

$$\nu \varphi + i^* = 0; \quad \theta \frac{d\nu}{dt} + \mu_{ст} = \varphi i^*, \quad (1)$$

где  $\nu = \frac{n}{n_n}$ ,  $\varphi = \frac{\Phi}{\Phi_n}$ ,  $i^* = \frac{i}{i_b}$  — соответственно относительные значения скорости, магнитного потока и тока двигателя;  $\theta$  — электромеханическая постоянная времени привода;  $i_b = \frac{E_n}{R_a}$  — базовое значение тока;  $E_n$  — номинальное значение э.д.с. двигателя;  $\mu_{ст} = \frac{M_{ст}}{c\Phi_n i_b}$  — относительное значение статического момента.

Известно, что при реверсе

$$\varphi = -\varphi_{кон} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) + \varphi_{нач} e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad (2)$$

где  $\tau$  — электромагнитная постоянная времени обмотки возбуждения.

Полагая, что  $\varphi_{нач} = \varphi_{кон}$  и учитывая (2), найдем:

$$\frac{\nu}{\nu_{нач}} = K_\nu \left(1 - \frac{\mu_{ст}}{\nu_{нач}} K_\mu\right) = K_\nu K_N, \quad (3)$$

где  $K_N = 1 - \frac{\mu_{ст}}{\nu_{нач}} \cdot K_\mu$ ;

$$K_\nu = \exp \left[ - \frac{\varphi_{кон}^2 \tau}{\theta} \left( B - 2e^{-\frac{t}{\tau}} + 4e^{-\frac{t}{\tau}} + \frac{t}{\tau} \right) \right], \quad (4)$$

$$K_{\mu} = \frac{\tau}{\theta} \int_{\frac{t}{\tau}}^{\frac{t}{\tau_0}} \exp \left[ -\frac{\varphi_{\text{кон}}^2 \tau}{\theta} \left( B - 2e^{-\frac{t}{\tau}} + 4e^{-\frac{t}{\tau_0}} + \frac{t}{\tau} \right) \right] x \, d\frac{t}{\tau}, \quad (5)$$

$B = -2,19$  — постоянный коэффициент.

На основании формул (4) и (5) построены зависимости  $K_{\nu} = f\left(\frac{t}{\tau}\right)$  (рис. 3,а) и  $K_{\mu} = f\left(\frac{t}{\tau}\right)$  (рис. 3,б) при

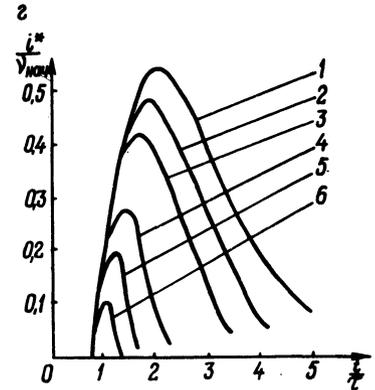
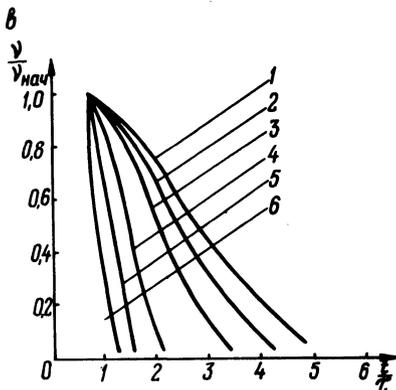
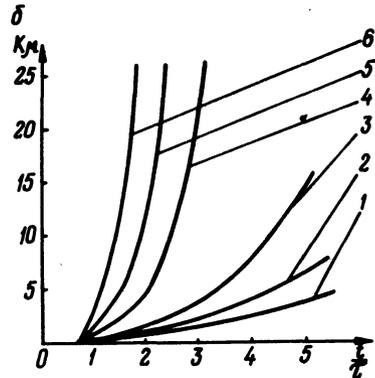
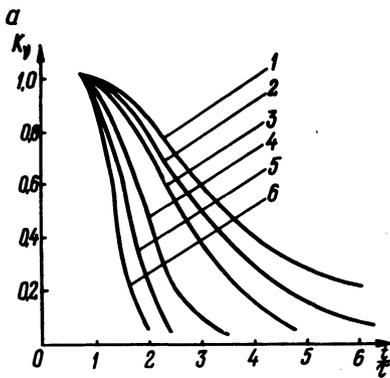


Рис. 3. Графики зависимостей:

а— $K_{\nu} = f\left(\frac{t}{\tau}\right)$ ; б— $K_{\mu} = f\left(\frac{t}{\tau}\right)$ ; в— $\frac{\nu}{\nu_{\text{нач}}} = f\left(\frac{t}{\tau}\right)$  при  $\frac{\mu_{\text{ст}}}{\nu_{\text{нач}}} = 0,2$ ; г— $\frac{i_{\text{нач}}^*}{\nu_{\text{нач}}} = f\left(\frac{t}{\tau}\right)$  при  $\frac{\mu_{\text{ст}}}{\nu_{\text{нач}}} = 0,2$ ; нач

(1—при  $\frac{\tau}{\theta} = 0,5$ ; 2—при  $\frac{\tau}{\theta} = 0,7$ ; 3—при  $\frac{\tau}{\theta} = 1$ ; 4—при  $\frac{\tau}{\theta} = 2,5$ ; 5—при  $\frac{\tau}{\theta} = 5$ ; 6—при  $\frac{\tau}{\theta} = 10$ ).

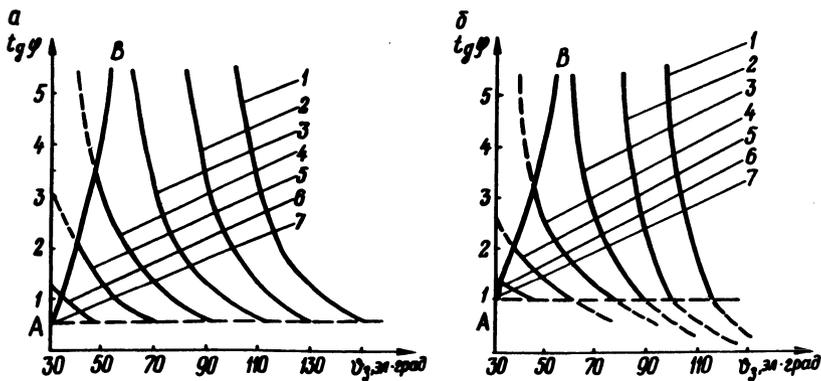


Рис. 4. Зависимость  $\operatorname{tg} \varphi = f(\gamma_3)$  для  $\tau = 0$  (а) и

$\tau = \infty$  (б):

1—при  $\lambda_T = 0$  эл.град; 2—20; 3—40; 4—60; 5—80; 6—100; 7— $\lambda_T$  120 эл.град.

различных соотношениях  $\frac{\tau}{\theta}$ , которые позволяют определить значение скорости  $\frac{v}{v_{\text{нач}}}$  при любом соотношении  $\frac{\mu_{\text{ст}}}{v_{\text{нач}}}$  в момент времени  $\frac{t}{\tau}$ . На рис. 3, в приведены зависимости изменения скорости  $\frac{v}{v_{\text{нач}}} = f\left(\frac{t}{\tau}\right)$  при соотношении  $\frac{\mu_{\text{ст}}}{v_{\text{нач}}} = 0,2$  — и различных соотношениях  $\frac{\tau}{\theta}$ , полученные

на основании рис. 3, а, 3, б и формулы (3). Величина тока динамического торможения определяется из уравнения (1)

$$i^* = -v\varphi. \quad (6)$$

На рис. 3, г приведены зависимости изменения тока  $\frac{i^*}{v_{\text{нач}}} = f\left(\frac{t}{\tau}\right)$  при различных соотношениях  $\frac{\tau}{\theta}$  и  $\frac{\mu_{\text{ст}}}{v_{\text{нач}}} = 0,2$ .

Исследование электромагнитных процессов в реверсоре возбуждения позволяет определить необходимую величину отключающей емкости  $C$  при известной постоянной времени цепи возбуждения  $\tau$ , длительности импульса тока тиристора  $\lambda_T$ , угла зажигания  $\gamma_3$ . Зависимости  $\operatorname{tg} \varphi = f(\gamma_3)$  при различных значениях  $\lambda_T$  для случая активной нагрузки ( $\tau = 0$ )

показаны на рис. 4,а и для случая индуктивной нагрузки ( $\tau = \infty$ ) — на рис. 4,б. Здесь  $\operatorname{tg} \varphi = \omega RC$ , где  $\omega$  — круговая частота питающей сети;  $R$  — сопротивления нагрузки.

Показанные зависимости ограничены условием зажигания (линия АВ), в соответствии с которым в момент открывания вентиля мгновенное значение напряжения питания должно быть больше или равно напряжению на емкости. Собственная частота колебаний контура, образованного обмоткой возбуждения и емкостью, обеспечивает быстрое спадание тока возбуждения до нуля при команде на реверсирование, что значительно уменьшает зону неуправления электродвигателем при реверсе по цепи возбуждения.

Результаты расчетов по приведенным зависимостям близко совпадают с экспериментальными данными, полученными на промышленной установке.

#### Л и т е р а т у р а

1. Анхимюк В.Л., Михеев Н.Н., Романов В.В. Вентильный многодвигательный электропривод. Авт. свид. №350121. "Бюл. изобр." 1972, №26.
2. Иванчук Б.Н., Липман Р.А., Рувинов Б.Я. Тиристорные усилители постоянного тока. М., 1964.

Л.С. Писарик, В.В. Романов

#### КОНТРОЛЬ ЗАДАННОЙ ОБЛАСТИ РАБОТЫ ГЕНЕРАТОРА

В установках электропривода с автономным генератором бывает необходимо контролировать определенную область работы генератора в координатах его внешней характеристики  $U = f(I)$ . Рассмотрим случай, когда границами заданной области являются прямые, исходящие из начала координат (рис.1).

Задача заключается в том, чтобы обеспечить получение сигнала о выходе рабочей точки генератора за пределы области А, ограниченной лучами 1 и 2.