

УДК 62-83:621.313.2

В. Вик. РУДАКОВ

МНОГОДВИГАТЕЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ТП-Д С ОБЩИМ ТОКОВЫМ КОНТУРОМ
ПОДЧИНЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Многодвигательные приводы по схеме ТП-Д с общим тросовым контуром при последовательном соединении якорей двигателей широко применяются в механизмах поворота экскаваторов, мостовых кранов и др. В этих приводах скорость вращения регулируется по таходатчику ведущего двигателя, а скорость ведомого двигателя корректируется регулированием его возбуждения по разности скоростей или моментов двигателей. На схеме (рис. I) показаны два варианта коррекции возбуждения ведомого двигателя - по углу упругой деформации (отклонение момента) двигателей или по отклонению разности мгновенных скоростей двигателей при импульсных датчиках скорости.

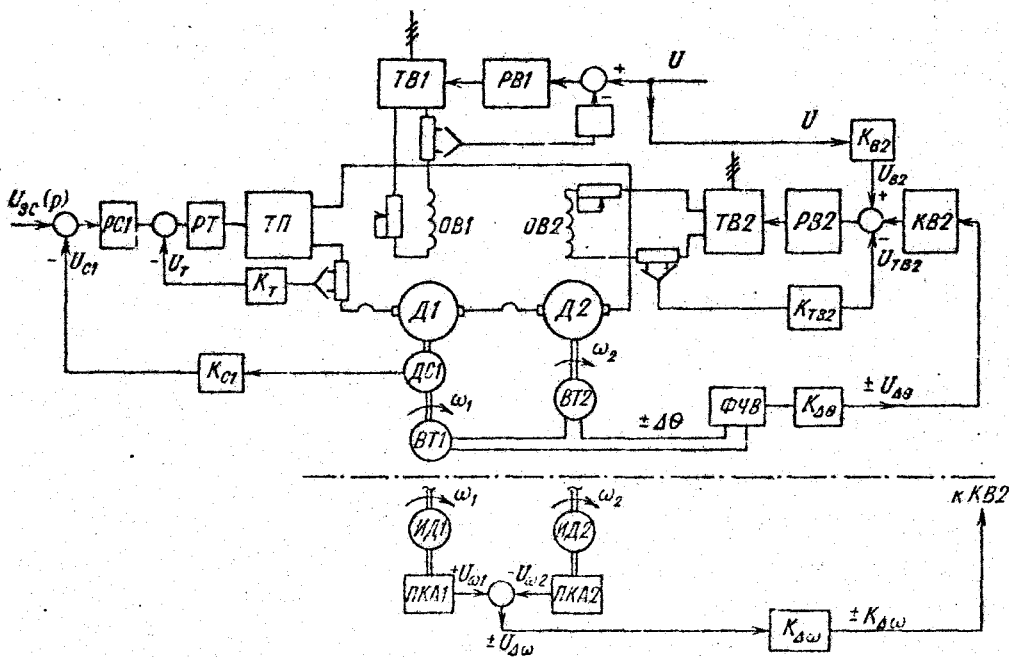


Рис.1. Функциональная схема двухдвигательного привода с последовательным соединением двигателей

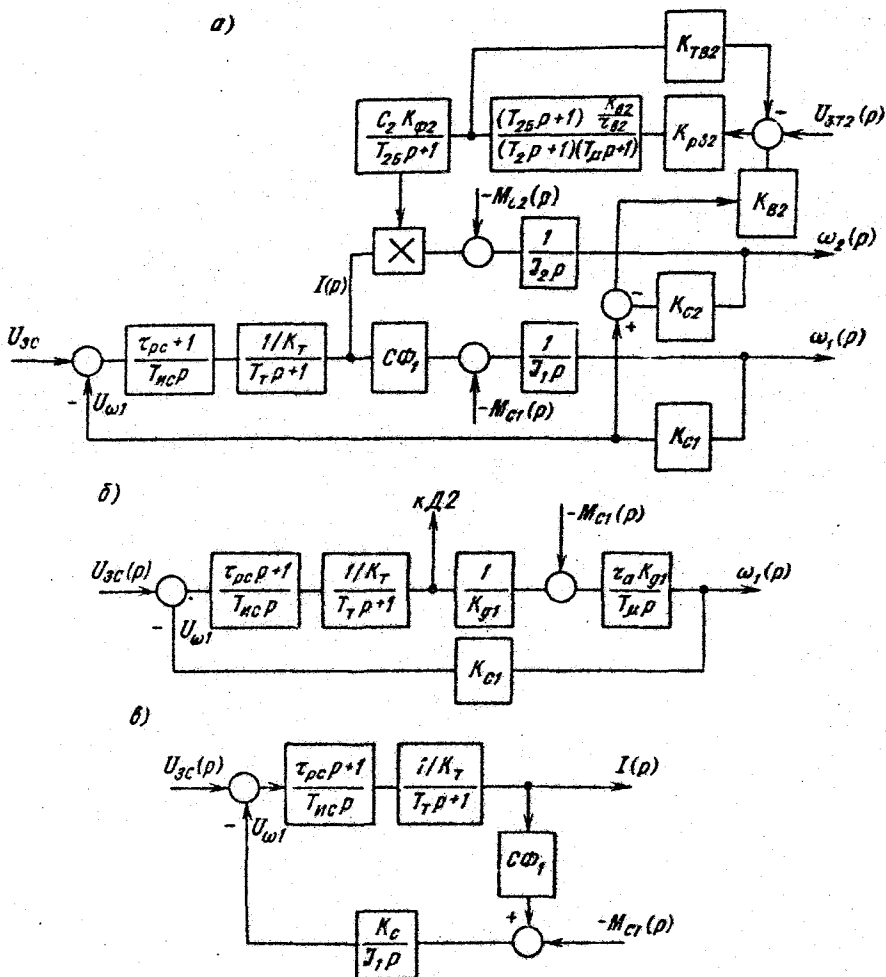


Рис.2. Расчетные и структурные схемы двухдвигательного привода с последовательным соединением двигателей

Структурная схема двухдвигательного привода ТП-Д с контуром регулирования скорости по ведущему двигателю Д1 приведена на рис.2,а. При работе на холостом ходу регулирование скорости ведущего двигателя Д1 можно оценить по частной структурной схеме (рис.2,б). Согласно этой схеме передаточные функции контура скорости

$$W_{д1}(\rho) = \frac{1/k_c(\tau_{pc}\rho+1)}{(T_T\rho+1) \frac{T_{м1}T_{pc}k_T}{k_{д1}k_c r_\alpha} \rho^2 + \tau_{pc}\rho+1}$$

Настройки регулятора РС-I приняты по условиям симметричного оптимального:

$$\tau_{pc} = 4T_T; \quad T_{pc} = \frac{8T_T^2}{T_{Mi}} \frac{k_{d1} k_c r_a}{k_T}.$$

Изменение тока в общем контуре регулирования тока двухдвигательного привода можно оценить по другой частной структурной схеме (рис.2,в). Исходя из этой схемы, передаточная функция для тока двигателей II и I2

$$W_T(\rho) = \frac{(4T_T \rho + 1) \frac{J\rho}{k_c c \Phi_{d1}}}{8T_T^3 \rho^3 + 8T_T^2 \rho^2 + 4T_T \rho + 1}.$$

С учетом этого выражения и согласно схеме 2 скорость вращения ведомого двигателя

$$W_{d2}(\rho) = W_T(\rho) \frac{c\Phi_{d2}}{J\rho} = \frac{1/k_c (4T_T \rho + 1)}{8T_T^3 \rho^3 + 8T_T^2 \rho^2 + 4T_T \rho + 1}.$$

Таким образом, скорости вращения ведущего и ведомого двигателей связаны соотношениями

$$\frac{\Delta \omega_2(\rho)}{\omega_1} = \frac{\Delta \Phi_{d2}(\rho)}{\Phi_{d11}} \quad \text{при} \quad \Phi_{d10} = \Phi_{d20}.$$

Для получения одинаковых скоростей вращения двигателей II и I2 в двигателе I2 должна производиться коррекция возбуждения при отклонении скоростей ведомого двигателя I2 от II:

$$\Delta \Phi_{d2}(\rho) = A_{\Phi H} \Delta \omega(\rho),$$

где $A_{\Phi H} = \Phi_{OH} / \omega_{OH}$.

Для сохранения равенства скоростей вращения двигателей II и I2 магнитный поток возбуждения ведомого двигателя должен корректироваться пропорционально отклонению скорости ведомого двигателя. Соответственно ток возбуждения ведомого двигателя должен корректироваться по соотношению

$$\Delta I_2(\rho) = \frac{A_{\Phi H}}{k_{\Phi 2}} \Delta \omega(\rho),$$

где $k_{\Phi 2} = \Delta \Phi_2 / \Delta I_2$ - коэффициент магнитного насыщения двигателя, корректирующий сигнал

$$\Delta U_{кв2}(\rho) = k_{кв2} \Delta \omega(\rho).$$

Таким образом, на входе регулятора тока возбуждения РВ2 действует суммарный управляющий сигнал

$$U_{yT2}(\rho) = U_{эT2}(\rho) \pm \Delta U_{кв2}(\rho).$$

Рассмотрим теперь контур регулирования возбуждения ведомого двигателя. В общем случае (рис.2,а) передаточная функция контура возбуждения ведомого двигателя может быть записана в виде

$$W_{\text{в}2}(\rho) = \frac{c\Phi_2(\rho)}{U_{\text{сТ}2}(\rho) - \Delta U_{\text{кв}2}(\rho)}.$$

Обозначим

$$k_2 = \frac{k_{\text{п}2} k_{\text{рв}2} k_{\text{т}2}}{r_{\text{в}2}},$$

тогда можно записать

$$W_2(\rho) \approx \frac{c_2 k_{\Phi 2} \left(\frac{k_2}{k_{\text{т}2} (1+k_2)} \right)}{\frac{T_{\mu} T_{\text{т}2}}{(1+k_2)} \rho^2 + \left[\frac{T_{\text{т}2}}{(1+k_2)} + \frac{k_2 T_{2\sigma}}{(1+k_2)} \right] \rho + 1}.$$

В нормализованном виде эта передаточная функция получается в виде

$$W_2(\rho) = \frac{c_2 k_{\Phi 2} \left(\frac{k_2}{k_{\text{т}2} (1+k_2)} \right)}{\frac{T_{\mu} T_{\text{т}2}}{(1+k_2)} \left[\rho^2 + \frac{1}{T_{\mu}} \left(1 + \frac{k_2 T_{2\sigma}}{T_{\text{т}2}} \right) \rho + \frac{(1+k_2)}{T_{\mu} T_{\text{т}2}} \right]}.$$

Поскольку $T_{2\sigma} < T_{\text{т}2}$, можно принять отношение $(k_2 T_{2\sigma})/T_{\text{т}2} \approx 0$. В этом случае нормализованный характеристический полином передаточной функции контура регулирования тока возбуждения ведомого двигателя может быть записан в виде

$$A_2(\rho) = \rho^2 + \frac{1}{T_{\mu}} \rho + \frac{(1+k_2)}{T_{\mu} T_{\text{т}2}} = \rho^2 + N\alpha\rho + \alpha^2.$$

Цепь возбуждения ведомого двигателя должна настраиваться на апериодический режим работы таким образом, чтобы $N \geq 2$. Предельным быстродействием для цепи возбуждения в этом случае будет $N = 2$. Для такой настройки коэффициент усиления регулятора тока возбуждения РВ2 может быть получен по соотношению

$$k_{\text{рв}2} = \left(\frac{T_{\text{т}2} - 4T_{\mu}}{4T_{\mu}} \right) \left(\frac{r_{\text{в}1}}{k_{\text{т}2} k_{\text{п}2}} \right),$$

откуда

$$\alpha = \sqrt{\frac{(1+k_2)}{T_{\mu} T_{\text{т}2}}} \quad \text{или} \quad \frac{1}{T_{\mu}} = 2\alpha;$$

$$(1+k_2) = \frac{T_{\text{т}2}}{4T_{\mu}}.$$

При данной настройке характеристический полином контура регулирования возбуждения ведомого двигателя

$$A_2(\rho) = 4T_{\mu} \rho (T_{\mu} \rho + 1) + 1.$$

Эквивалентная постоянная времени контура возбуждения $T_{\text{вб2}} \approx 4T_{\mu}$. В системе эта постоянная времени должна быть меньше эквивалентной постоянной времени контура регулирования скорости $T_c > T_{\text{вб2}}$. В этом случае коррекция возбуждения не вызывает колебаний тока якорной цепи многодвигательного тиристорного электропривода.

Для оценки качества выравнивания скоростей двигателей многодвигательного электропривода механизма горизонтального перемещения посредством коррекции возбуждения ведомых двигателей по отношению скоростей двигателей на рис. 3 приведены осциллограммы изменения скоростей двигателей при набросе и сбросе момента нагрузки на ведущий двигатель (рис. 3, а) и на ведомый двигатель (рис. 3, б). Расчетные соотношения параметров электропривода в процессе коррекции скорости ведомого двигателя $\omega_2(t)$ по скорости ведущего

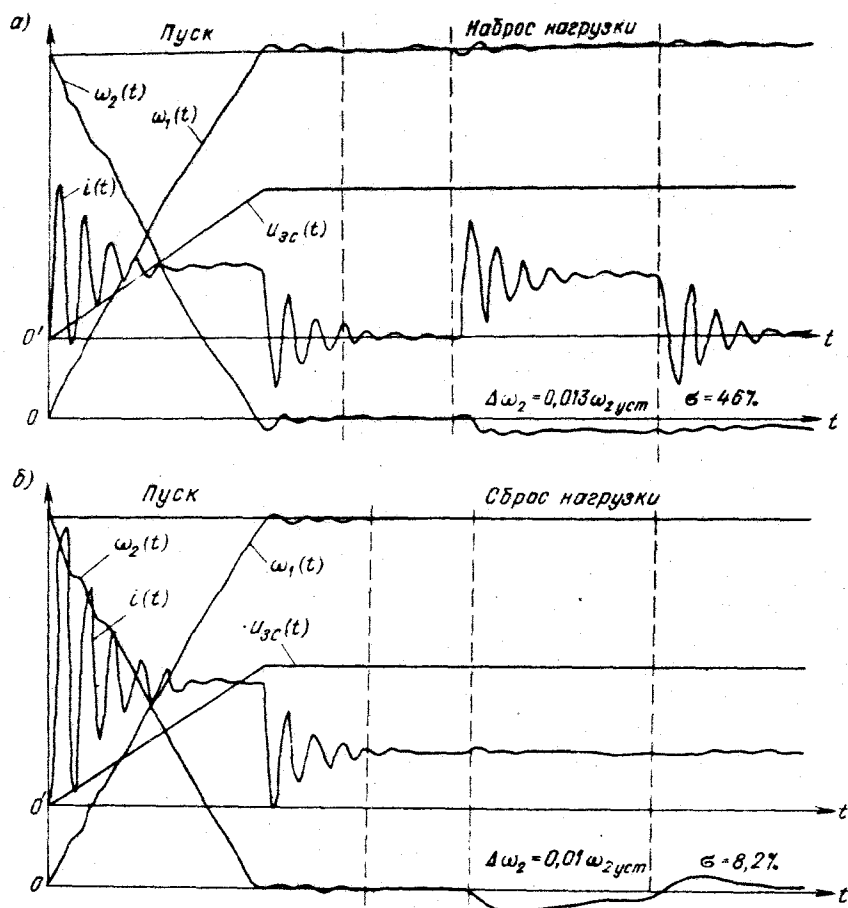


Рис. 3. Осциллограммы изменения скоростей двигателей двухдвигательного привода в режиме несимметричной нагрузки

двигателя $\omega_1(t)$ посредством изменения возбуждения ведомого двигателя приведены в таблице.

Показатели качества модели двухдвигательного привода

Режим работы	$\sigma, \%$	$\xi, \%$	μ	$t_{п}, c$	$t_{в}, c$	$\frac{\Delta \omega_2}{\omega_{уст}}$
Пуск	2,9	40	12,3	5,6	-	0
Наброс нагрузки:						
на ведущий двигатель	4,6	40	12,3	-	2,1	0,013
на ведомый двигатель	8,2	90	0	-	2,3	0,01
Сброс нагрузки:						
на ведущий двигатель	4,6	40	12,3	-	2,1	0,008
на ведомый двигатель	8,2	90	0	-	2,3	0,005

Приведенные в таблице данные показывают, что коррекция возбуждения позволяет эффективно выравнивать скорости ведущего и ведомого двигателей многодвигательного тиристорного электропривода с последовательным соединением двигателей и общим силовым тиристорным преобразователем.