

## СТЕНД ДЛЯ ОБКАТКИ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Статья посвящена анализу электромеханических характеристик разработанного и внедренного в производство стенда для испытаний тяговых двигателей в разомкнутой и замкнутой системах управления.

Для испытания крупных тяговых двигателей постоянного тока с последовательным возбуждением электровозов на Оренбургском локомотивно-ремонтном заводе создан и внедрен в производство стенд, позволяющий проводить практически все регламентные программы приемо-сдаточных испытаний. Принципиальная схема разработанного стенда представлена на рисунке 1.

Якорная обмотка и обмотка возбуждения  $L_M$  испытуемого двигателя  $M$  соединены последовательно с якорной обмоткой генератора  $G$  и тиристорным преобразователем  $UZ1$ . Двигатель и генератор имеют также механическую связь валов. Тиристорный преобразователь представляет собой двухконтурную замкнутую систему по току якоря с помощью датчика тока  $\Delta T$  и регулятора тока  $PT$  и напряжению посредством датчика напряжения  $\Delta H$  и регулятора напряжения двигателя. Обмотка возбуждения  $L_G$  генератора подключена по схеме независимого возбуждения к тиристорному преобразователю  $UZ2$ , в котором реализована одноконтурная схема регулирования тока возбуждения.

Схема замещения силовой части имеет следующий вид (рисунок 2).

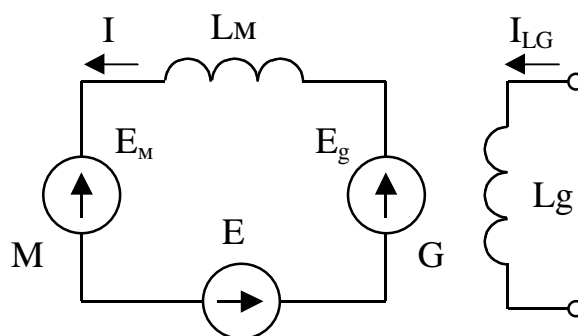


Рисунок 2. Схема замещения.

Уравнения, характеризующие работу в статическом режиме

$$E + E_g - E_m = I \cdot R_{\Sigma} \quad (1)$$

$$M_m = M_g + \Delta M \quad (2)$$

где  $E$  – ЭДС преобразователя,  
 $E_g = K_g \cdot \Phi_g \cdot \omega$  – ЭДС генератора,  
 $E_m = K_m \cdot \Phi_m \cdot \omega$  – противо – ЭДС двигателя,  
 $K_g, K_m$  – конструктивные параметры генератора и двигателя. Так как в качестве генератора и двигателя используются однопольные машины, то  $K_g = K_m = K$ .  
 $\Phi_g, \Phi_m$  – магнитные потоки генератора и двигателя,

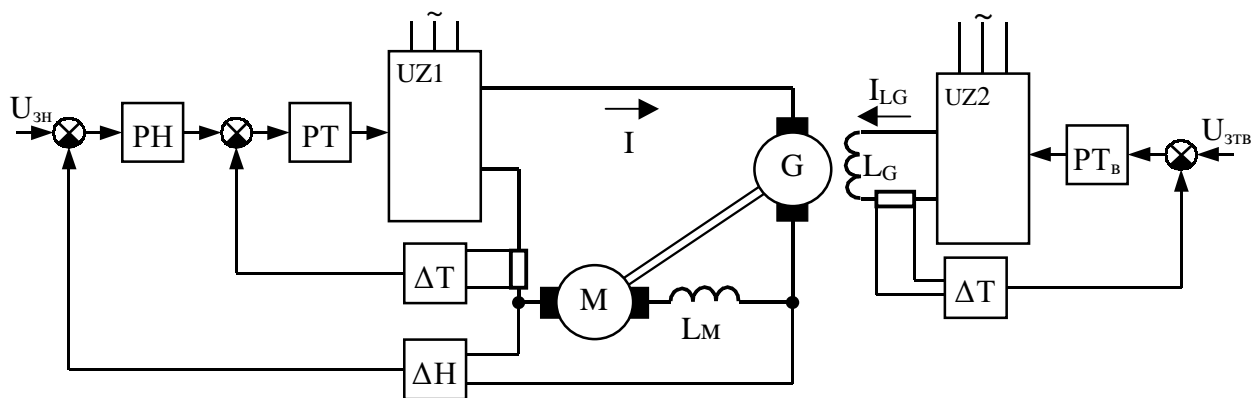


Рисунок 1. Принципиальная схема стенда обкатки тяговых двигателей.

$I$  – ток якорной цепи,  
 $R_{\Sigma} = R_{п} + R_{г} + R_{м}$  – суммарное сопротивление якорной цепи,  
 $R_{п}, R_{г}, R_{м}$  – сопротивления преобразователя, якоря генератора и двигателя,  
 $M_{м} = K \cdot \Phi_{м} \cdot I$  – электромагнитный момент двигателя,  
 $M_{г} = K \cdot \Phi_{г} \cdot I$  – электромагнитный момент генератора,  
 $\Delta M$  – момент потерь.

Из (1) и (2) следует

$$E = K \cdot \omega \cdot (\Phi_{м} - \Phi_{г}) + I \cdot R_{\Sigma} = K \cdot \omega \cdot \Phi_{м} \cdot \left(1 - \frac{\Phi_{г}}{\Phi_{м}}\right) + I \cdot R_{\Sigma} \quad (3)$$

и уравнение (3) с учетом (4) представляется в виде

$$E = \frac{\Delta M}{I} \cdot \omega + I \cdot R_{\Sigma} \quad (3a)$$

или  $R_{п} = E \cdot I = \omega \cdot \Delta M + I^2 \cdot R_{\Sigma} = \Delta P + \Delta P_{э}$  (4)  
 где  $R_{п}$  – мощность тиристорного преобразователя,  
 $\Delta P_{м}, \Delta P_{э}$  – мощности механических и электрических потерь.

Уравнение электромеханической характеристики получается из (3)

$$\omega = \frac{E}{K \cdot \Phi_{м} \cdot \left(1 - \frac{\Phi_{г}}{\Phi_{м}}\right)} - I \cdot \frac{R_{\Sigma}}{K \cdot \Phi_{м} \cdot \left(1 - \frac{\Phi_{г}}{\Phi_{м}}\right)} \quad (5)$$

Магнитные потоки машин являются функциями тока возбуждения,

$$\begin{aligned} \Phi_{м} &= \beta_{м} \cdot I \\ \Phi_{г} &= \beta_{г} \cdot I_{LG} \end{aligned} \quad (6)$$

Из уравнения (2) следует, что момент двигателя должен быть больше момента генератора. В то же время, если пренебречь моментом потерь, то из (2) с учетом (6) следует

$$\begin{aligned} \Phi_{м} &\geq \Phi_{г} \\ \beta_{м} \cdot I &\geq \beta_{г} \cdot I_{LG}, \end{aligned}$$

Приняв  $\alpha_{м} \cong \alpha_{г} = \alpha$ , уравнение (5) запишется в виде

$$\omega = \frac{E}{K \cdot \beta \cdot I \cdot \left(1 - \frac{I_{LG}}{I}\right)} - \frac{R_{\Sigma}}{K \cdot \beta \cdot \left(1 - \frac{I_{LG}}{I}\right)} \quad (7)$$

Полученное уравнение похоже на уравнение двигателя последовательного возбуждения, но от-

личается наличием в знаменателе множителя

$$\left(1 - \frac{I_{LG}}{I}\right)$$

Проведем анализ полученной характеристики

1.  $I \rightarrow \infty$ , то  $1 - I_{LG}/I \rightarrow 1$ , а  $\omega \rightarrow -R_{\Sigma} / K \cdot \beta$
2.  $\omega = 0$ , то  $I = E / R_{\Sigma}$  – пусковой ток
3.  $I \cong I_{LG}$ , то  $\omega = \frac{E - I \cdot R_{\Sigma}}{K \cdot \beta \cdot (I - I_{LG})} \rightarrow \infty$ .

Результаты анализа представлены на рисунке 3.

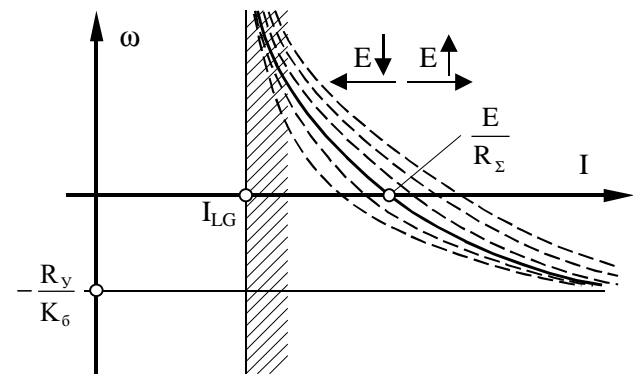


Рисунок 3. Электромеханические характеристики без обратных связей.

Из представленного анализа следует:  
 – при изменении  $E$  преобразователя изменяется пусковой ток и скорость вращения,  
 при изменении тока возбуждения изменяется и ток, и скорость вращения,  
 – характеристика асимптотически ограничена по току слева, равному току возбуждения, и по скорости снизу, равной  $-R_{\Sigma} / K \cdot \beta$ ,  
 – так как момент потерь пренебрежительно мал по сравнению с моментом генератора, то из (4) следует, что рабочий участок находится около  $I_{LG}$  и характеризуется очень мягкой характеристикой и, следовательно, большой скоростью вращения, небольшие колебания тока (момента) приведут к значительным изменениям скорости.

Для повышения регулировочных свойств и устойчивости работы в систему введены обратные связи по току и напряжению.

На рисунке 4 представлена структурная схема стенда.

Система уравнений, характеризующая работу, представляется в виде:

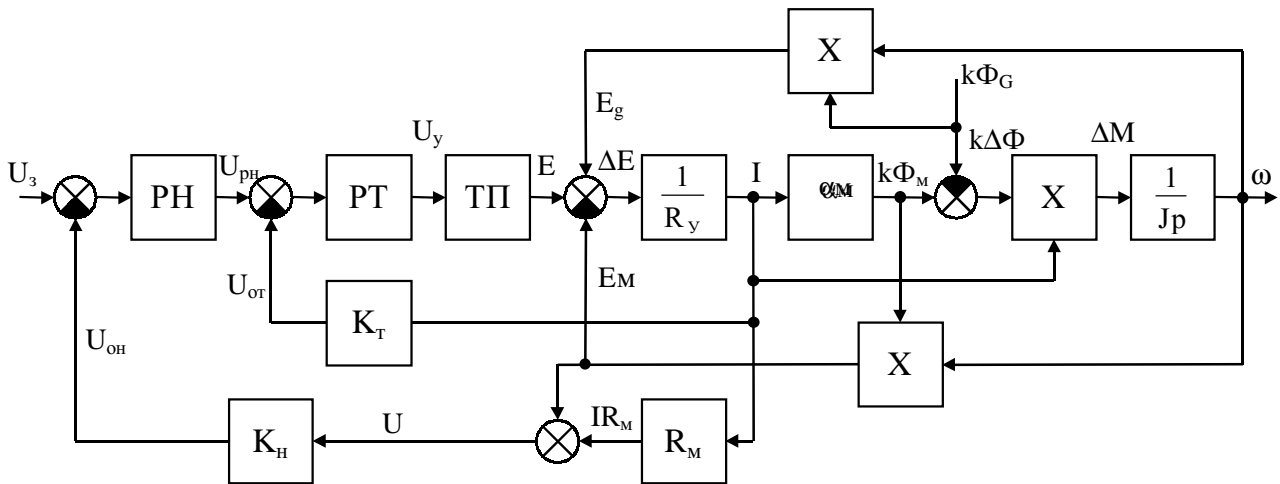


Рисунок 4. Структурная схема двигателей, включенных по схеме взаимной нагрузки.

$$\begin{aligned}
 E &= K_{\Pi} \cdot U_y \\
 U_y &= K_{рТ} \cdot (U_{рн} - U_{от}) = K_{рТ} \cdot (U_{рн} - K_T \cdot I) \\
 U_{рн} &= K_{рн} \cdot (U_3 - U_{он}) = K_{рн} \cdot (U_3 - K_H \cdot U) \quad (8) \\
 U &= K \cdot \Phi_M \cdot \omega + I \cdot R_{ям}
 \end{aligned}$$

где  $K_{\Pi}$  – коэффициент усиления тиристорного преобразователя,  
 $K_{рТ}$ ,  $K_{рн}$  – коэффициенты усиления регуляторов тока и напряжения,  
 $K_T$ ,  $K_H$  – коэффициенты преобразования обратных связей по току и напряжению,  
 $U_y$  – напряжение управления,  
 $U_{от}$  – напряжение обратной связи по току,  
 $U_{он}$  – напряжение обратной связи по напряжению,  
 $U_{рн}$  – выходное напряжение регулятора напряжения,  
 $U_3$  – напряжение задания.

Решая уравнения (7) и (8) получим уравнение электромеханической характеристики

$$\begin{aligned}
 \omega &= \frac{K_{\Pi} \cdot K_{рн} \cdot K_{рТ} \cdot U_3}{K \cdot (\Phi_M - \Phi_g + K_{\Pi} \cdot K_{рн} \cdot K_{рТ} \cdot K_H \cdot \Phi_M)} - \\
 &- I \cdot \frac{R_{\Sigma} + K_{\Pi} \cdot K_{рТ} \cdot (K_T + K_{рн} \cdot K_H \cdot R_{ям})}{K \cdot (\Phi_M - \Phi_g + K_{\Pi} \cdot K_{рн} \cdot K_{рТ} \cdot K_H \cdot \Phi_M)} \quad (9)
 \end{aligned}$$

Если принять  $\Phi_M = \Phi_g$ , то

$$\omega = \frac{U_3}{K \cdot K_H \cdot \Phi_M} -$$

$$-I \cdot \frac{R_{\Sigma} + K_{\Pi} \cdot K_{рТ} \cdot (K_T + K_{рн} \cdot K_H \cdot R_{ям})}{K \cdot K_{\Pi} \cdot K_{рн} \cdot K_{рТ} \cdot K_H \cdot \Phi_M} \quad (10)$$

При  $\Phi_M = \alpha \cdot I$

$$\omega = \frac{U_3}{K \cdot K_H \cdot \alpha \cdot I} -$$

$$- \frac{R_{\Sigma} + K_{\Pi} \cdot K_{рТ} \cdot (K_T + K_{рн} \cdot K_H \cdot R_{ям})}{K \cdot \alpha \cdot K_{\Pi} \cdot K_{рн} \cdot K_{рТ} \cdot K_H} \quad (11)$$

Проведем анализ полученной характеристики – при  $I \rightarrow \infty$

$$\omega = - \frac{R_{\Sigma} + K_{\Pi} \cdot K_{рТ} \cdot (K_T + K_{рн} \cdot K_H \cdot R_{ям})}{K \cdot K_{\Pi} \cdot K_{рн} \cdot K_{рТ} \cdot K_H} = \omega_{гр}$$

– при  $I = 0$   $\omega \rightarrow \infty$

– при  $\omega = 0$

$$I = \frac{U_3 \cdot K_T \cdot K_{рТ} \cdot K_{рн}}{R_{\Sigma} + K_{\Pi} \cdot K_{рТ} \cdot (K_T + K_{\Pi} \cdot K_{рн} \cdot R_{я})} = I_{\Pi}$$

Результаты анализа представлены на рисунке 5.

Из рисунка видно, что:

– область с  $\omega \rightarrow \infty$  сдвинулась к току, равному нулю,

– при  $I \cong I_{LG}$  характеристика обладает достаточной и регулируемой жесткостью,

– скорость вращения практически пропорциональна задающему напряжению,

– так как ток возбуждения генератора является независимым регулируемым параметром, то

рабочую зону можно сдвигать как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения тока двигателя.

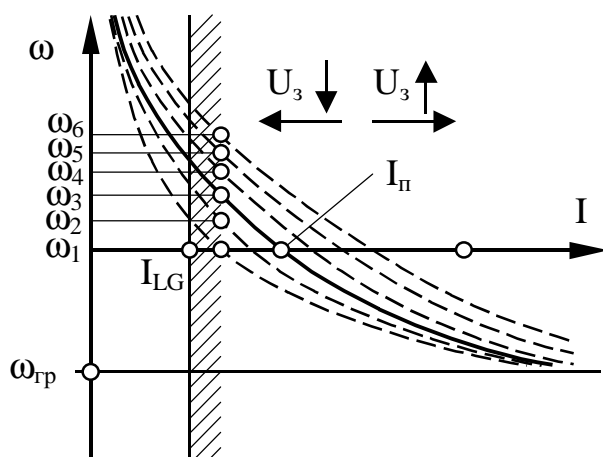


Рисунок 5. Электромеханические характеристики с обратными связями.

### Выводы.

1. Мощность тиристорного преобразователя выбирается из условия компенсации потерь в установке.

2. Для работы двигателя в режиме двигателя необходимо, чтобы ток якоря, и, следовательно, ток возбуждения двигателя превышал ток возбуждения генератора.

3. Введение обратных связей позволяет:

- увеличить жесткость характеристик и устойчивость,

- улучшить управляемость стенда.

4. Предлагаемая схема имеет ряд существенных преимуществ перед традиционной схемой с использованием линейного генератора и вольтдобавочной машины /1/:

- уменьшаются массо-габаритные показатели и установленная машинная мощность,

- уменьшаются выходные напряжения преобразователей (в несколько раз меньше номинальных напряжений испытываемых машин),

- регулирование тока и напряжения происходит в широких пределах, что позволяет испытывать практически любые тяговые двигатели последовательного возбуждения,

- простота управления, не требующая квалифицированного персонала.

### Список использованной литературы:

1. Жерве Г.К. Промышленные испытания электрических машин. – Л.: Энергоатомиздат. 1984. – 408 с.