

## МОТОР-КОМПРЕССОР ЭПС КАК ОБЪЕКТ РЕГУЛИРОВАНИЯ

У статті проводиться аналіз роботи мотор-компресора в перехідних режимах, що значною мірою впливає на його надійність та визначає готовність локомотива до виконання його функцій.

В статье проводится анализ работы мотор-компрессора в переходных режимах, что в значительной степени влияет на его надежность и определяет готовность локомотива к выполнению его функций.

In the article the analysis of work of motor-compressor is conducted in transient modes, which considerably influences on its reliability and determines the readiness of a locomotive to function.

Со времени изобретения в 30-х годах прошлого века винтового компрессора трудно назвать любую из последующих новинок революцией в компрессоростроении. Но в связи с особенностями на железнодорожном транспорте Украины и СНГ используются поршневые компрессоры.

При выборе компрессорного оборудования на предприятиях учитывается его энергопотребление, но сейчас этот показатель аналогичных по своим параметрам винтовых и поршневых компрессоров отличается незначительно. Преимуществом винтового компрессора является более высокий КПД, достигаемый за счет уменьшения трущихся деталей в конструкции и за счет отсутствия механических преобразователей вращательного движения электродвигателя в возвратно-поступательное рабочего органа (поршня).

Однако, обычные поршневые компрессоры из-за простоты технической реализации являются наиболее распространенными среди установленных компрессоров с производительностью до 100 м<sup>3</sup>/мин. По этой же причине поршневые компрессоры до сих пор имеют широкое распространение, в том числе и на железнодорожном транспорте. Основными достоинствами поршневых компрессоров являются их заметная дешевизна по сравнению с компрессорами других типов, относительная простота производства, высокая ремонтпригодность.

Поршневые компрессоры по своим характеристикам и ценовым параметрам предпочтительнее компрессоров других типов в следующих случаях:

1. Большие перепады в потреблении сжатого воздуха. Промышленные поршневые компрессоры одинаково хорошо работают в повторно-кратковременном режиме, они намного экономичнее, чем винтовые компрессоры.

2. Неблагоприятные условия эксплуатации компрессора. При неблагоприятных условиях эксплуатации, например, при больших колебаниях температуры, поршневые компрессоры обеспечивают более длительный срок службы и требуют меньших затрат на обслуживание.

3. Требуется относительно малая производительность (до 100 м<sup>3</sup>/мин).

Но необходимость проведения частого технического обслуживания и ремонта является и основным недостатком поршневых компрессоров, так как требует полной его разборки для дефектации и замены изношенных деталей, стоимость которого составляет 10...15 % от стоимости нового компрессора.

При выборе компрессора нужно учесть, что стоимость его эксплуатации в течение всего срока службы в несколько раз превосходит первоначальные капитальные затраты. Это определяет необходимость анализа режимов работы мотор-компрессоров, которые определяют их надежность.

Надежность мотор-компрессора в значительной степени определяет готовность локомотива к выполнению его функции. Поэтому оценка факторов, определяющих работоспособность мотор-компрессора, является важной задачей проектирования, изготовления и эксплуатации тягового подвижного состава.

На электроподвижном составе постоянного тока наибольшее распространение имеют мотор-компрессоры с электродвигателями постоянного тока последовательного возбуждения. Напряжение в контактной сети может изменяться в пределах от 2200 В до 400 В, причём весьма часто имеет место скачкообразное изменение напряжения в пределах  $\pm 500$  В.

Эти обстоятельства определяют необходимость анализа работы мотор-компрессора в переходных режимах. Компрессор должен иметь необходимую производительность при всех

значениях напряжения контактной сети. Двигатель компрессора должен устойчиво работать при скачках питающего напряжения.

Использование метода ослабления возбуждения при низком напряжении контактной сети для сохранения производительности компрессора не может быть признано рациональным, т.к. требует увеличение тока обмотки якоря, увеличивает нагрузку на коллектор и щеточный аппарат. Кроме того, применение метода шунтирования главных полюсов электродвигателя резисторами создает повышенную опасность переброса по коллектору при скачкообразном повышении напряжения в контактной сети и требует подбора индуктивных шунтов.

Перечисленные факторы определяют необходимость анализа характера переходных процессов в цепях привода компрессора с учётом электрических и механических характеристик узлов системы. Этот анализ возможен путём рассмотрения привода компрессора как системы регулирования на основе составления передаточных функций элементов и системы в целом.

Функциональная схема привода компрессора показана на рис. 1.

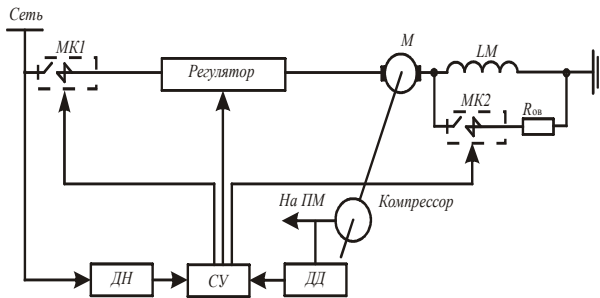


Рис. 1. Функциональная схема привода компрессора:

- МК1 – включающий контактор;
- МК2 – контактор ослабления возбуждения;
- ДН – датчик напряжения контактной сети;
- ДД – датчик давления воздуха питающей магистрали;
- СУ – система управления;
- ПМ – пневматическая магистраль;
- R<sub>ов</sub> – резистор ослабления возбуждения

Регулятор может быть выполнен в виде демпферных резисторов с контакторами (ДР), изменяющими величину сопротивления ДР, либо в виде полупроводникового широтно-импульсного регулятора (ШИР) напряжения.

Система управления обеспечивает формирование команды на регулятор и на МК2 в зависимости от сигналов ДН и ДД.

Таким образом, электропривод компрессора представляет собой систему регулирования,

содержащую электрический, электромеханический и механический элементы.

Динамика привода с двигателем постоянного тока последовательного возбуждения описывается системой уравнений [1]:

$$U_{я} = k\Phi\omega + i_{я}R_{я} + L \frac{di_{я}}{dt}; \quad (1)$$

$$J \frac{d\omega}{dt} = k\Phi i - M_c; \quad (2)$$

$$k\Phi = f(i_{я}). \quad (3)$$

где  $i_{я}$  – ток якоря;

$R_{я}$  – суммарное сопротивление цепи якоря;

$L$  – суммарная индуктивность цепи якоря;

$U_{я}$  – напряжение на якорной цепи;

$J$  – приведённый к валу якоря момент инерции механических частей привода;

$\omega$  – частота вращения якоря;

$k$  – постоянная двигателя;

$\Phi$  – магнитный поток возбуждения;

$M_c$  – статический момент на валу якоря.

Переходя к операторной форме, получим передаточные функции привода.

По току якоря:  $W_I(p) = \frac{k_d}{T_3 p + 1}, \quad (4)$

где  $k_d = \frac{1}{R_{я}}$  – коэффициент передачи;

$T_3$  – электрическая постоянная времени системы.

$p$  – оператор Лапласа.

По частоте вращения:  $W_{\omega}(p) = \frac{1}{Jp}. \quad (5)$

Структурная схема системы представлена на рис. 2.

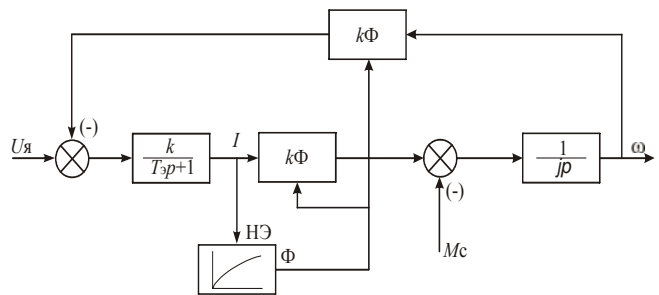


Рис. 2. Структурная схема ДПТ ПВ

На схеме НЭ – нелинейный элемент, характеристика которого определяется зависимостью  $\Phi(i_{я})$ .

Решение системы уравнений возможно производить методом малых приращений, при которых зависимость  $\Delta\Phi(\Delta i_{я})$  может быть принята линейной (рис. 3).

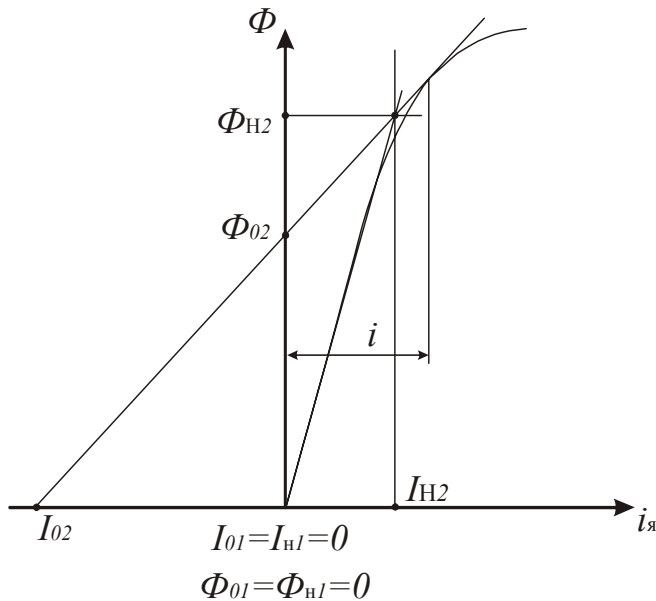


Рис. 3. Кривая намагничивания  $\Phi(i_{я})$

Задавшись малым приращением потока возбуждения  $\Delta\Phi$  и пренебрегая членами высшего порядка малости, получаем передаточные функции системы, описывающие динамику системы «в малом». При этом зависимость  $\Phi(i_{я})$  представляется в виде отрезков прямых, имеющие разные углы наклона к оси абсцисс, определяемые отклонением:

$$\Psi_j = \frac{\Phi_{нj}}{I_{0j} + I_{нj}} = \frac{\Phi_{0j}}{I_{0j}}; \quad (6)$$

$$\Phi = \Psi_j (I_{0j} + i). \quad (7)$$

Значение  $I_{0j}$  находится для данного двигателя по зависимости  $E(\omega)$ , где  $E$  – противо-электродвижущая сила. При выбранных значениях  $\Delta\Phi_j$  определяются значения  $\Delta I_j$  и остальные параметры линеаризации ( $I_{нj}; I_{0j}; I_j; \Phi_{нj}; \Phi_{0j}; \Phi_j$ ). При этом  $I_{01} = I_{н1} = 0$ ;  $\Phi_{01} = \Phi_{н1} = 0$ .

В результате может быть получена электрическая постоянная времени для передаточных функций системы «в малом»:

$$T_{эj} = \frac{L_j}{R_{я} + \Psi_j \omega}. \quad (8)$$

Для поршневого компрессора необходимо учесть тот факт, что момент на валу якоря двигателя изменяется в зависимости от положения поршня и штока, которое определяет величину силы, действующей вдоль шатуна.

Величина этой силы может определяться по методике, изложенной в [2].

На основе соотношений (1 – 8) был исследован мотор-компрессор в составе двигателя ДТ-409 с параметрами:

число пар полюсов  $p - 2$ ;

номинальное напряжение питания  $U_{ном}$ , В – 1500;

номинальный ток якорной цепи  $I_{ном}$ , А – 4,65;

номинальная скорость вращения вала двигателя  $\omega_{ном}$ , 1/с – 106,8;

активное сопротивление цепи обмоток возбуждения  $R_{об}$ , Ом – 12,1;

активное сопротивление якорной цепи  $R_{я}$ , Ом – 7,66;

демпферное сопротивление в якорной цепи  $R_{д}$ , Ом – 14,

и компрессора ЭК-7Б с параметрами:

диаметр поршня  $D_{п}$ , м – 0,112;

расстояние между центрами отверстия шатунных головок  $L$ , м – 0,208;

вес поршня со штоком (2 цилиндра)  $G$ , кг – 8,84;

ход поршня  $R_{хп}$ , м – 0,14.

На рис. 4 и 5 приведены результаты моделирования переходных процессов мотор-компрессора при провале питающего напряжения от 1700 В до 1300 В и его набросе от 1300 В до 1700 В.

Данные моделирования показывают возможность их использования для оценки реальных величин кратности пусковых токов, времени пуска.

Таким образом, предложенный метод линеаризации кривой намагничивания позволяет получить достаточно простые зависимости и реализовать математическую модель, позволяющую исследовать различные режимы работы мотор-компрессора, оптимизировать величины демпферных резисторов в цепи якоря двигателя и выбрать параметры пусковых защитных устройств.

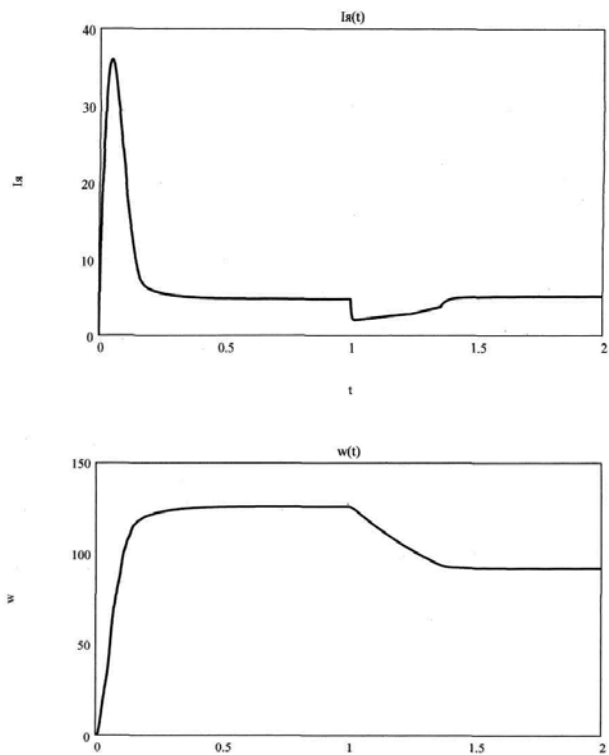


Рис. 4. Переходные процессы при скачкообразном провале напряжения:  
а – по току, б – по частоте вращения

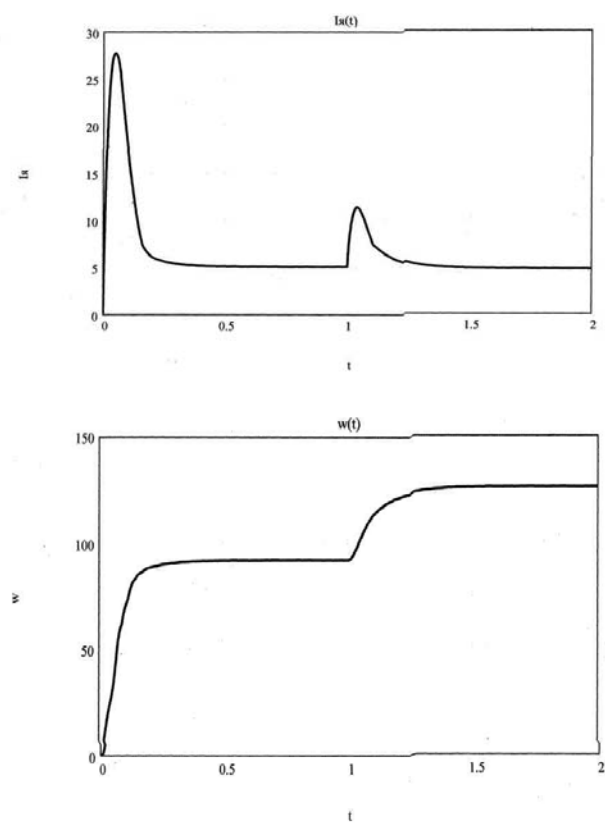


Рис. 5. Переходные процессы при скачкообразном увеличении напряжения:  
а – по току, б – по частоте вращения

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чорний, О. П. Моделювання електромеханічних систем [Текст]: підручник / О. П. Чорний. – Кременчук, 2001.
2. Милер, Е. В. Электрооборудование и автоматизация общепромышленных механизмов [Текст] / Е. В. Милер. – М.: Высш. шк., 1965.

Поступила в редколлегию 22.09.2008.