

## Моделирование режима рекуперации в подъемно-транспортных механизмах

В.М. Степанов, С.В. Котеленко  
ФГБОУВПО «Тульский государственный университет», г. Тула, Российская Федерация  
E-mail: S.V.Kuzmina@yandex.ru

### Авторское резюме

**Состояние вопроса:** Существующие функциональные схемы и системы рекуперации электроэнергии не обеспечивают максимальную энергоэффективную работу многодвигательного подъемно-транспортного электрооборудования в генераторном режиме, генерацию дополнительной электроэнергии при работе электродвигателей в генераторном режиме для собственных нужд предприятий в сеть, а также резервирование в системе рекуперации электроэнергии в многодвигательных подъемно-транспортных механизмах для повышения ее функциональной надежности. В связи с этим актуальным является создание группового управления электродвигателями с резервированием при работе в генераторном режиме с рекуперацией электрической энергии в сеть.

**Материалы и методы:** Описаны физические процессы, происходящие в устройстве рекуперации электрической энергии, обеспечивающем генерацию дополнительной электроэнергии в многодвигательных подъемно-транспортных механизмах при работе в генераторном режиме.

**Результаты:** Разработана математическая модель устройства рекуперации электроэнергии в подъемно-транспортных механизмах, вырабатывающего дополнительную электроэнергию при работе двигателей в генераторном режиме.

**Выводы:** Использование полученной модели устройства рекуперации электроэнергии направлено на повышение энергоэффективности работы устройства, вырабатывающего дополнительную электроэнергию при работе двигателей в генераторном режиме.

**Ключевые слова:** обратимость двигателя, режимы работы двигателя, внешний момент.

## Recuperation Mode Modeling in Lift-and-Carry Mechanisms

V.M. Stepanov, S.V. Kotelenko  
Tula state university, Tula, Russian Federation  
E-mail: S.V.Kuzmina@yandex.ru

### Abstract

**Background:** The existing functional schemes and recuperation systems don't provide the maximum power effective operation of the multiimpellent hoisting-and-transport equipment in the generating mode, generation of the additional electric power at electric motors operation in a generating mode for own enterprises needs and/or in a network, reservation in recuperation system of the electric power in many and impellent list-and-carry mechanisms for increase of its functional reliability. Thus, the developing the group control of electric drives with back-up in generating mode with recuperation of electric energy in network.

**Materials and methods:** The physical processes in electric energy recuperation device which provide the generation of additional electric energy in inpellent lift-and-carry mechanisms in generation mode operation are discribed.

**Results:** The mathematical model of the electric energy recuperation device in lift-and-carry mechanisms, developing the additional electric power at operation of engines in a generating mode is developed.

**Conclusions:** The use of the received model of the electric energy recuperation device is directed on increasing power overall performance of the device developing the additional electric power at operation of engines in a generating mode.

**Key words:** convertibility of engine, engine operation mode, external torque.

Управление электроприводом должно происходить не только в двигательном режиме, но и во время торможения двигателя в генераторном режиме. Область применения электродвигателей, работающих в генераторном режиме, следующая: подъемно-транспортное оборудование (шахтные подъемные установки, грузовые подъемники, лифты, подвижной состав, краны), нагрузочные стенды для проверки оборудования, сепараторы, центрифуги, пресса, штамповочные машины и установки.

Отличительная особенность работы данных устройств заключается в необходимости обеспечения режима торможения на длительный интервал времени. Задача длительного интенсивного торможения решается благодаря

применению устройств рекуперации электроэнергии, возвращающих обратно в сеть электроэнергию, вырабатываемую двигателем, работающим в генераторном режиме [1].

В режиме генератора под воздействием внешнего момента  $M_e > 0$ , направленного в сторону поля статора, ротор машины вращается со скоростью, превышающей скорость поля статора. В этом режиме в связи с изменением направления вращения поля  $w_1$  относительно ротора активная составляющая тока ротора  $i_{1a}$  изменяет свое направление на обратное (по сравнению с двигательным режимом). Таким образом, электромагнитный момент определяется как [2]

$$M_{эм} = B_m i_{2a} \cdot \quad (1)$$

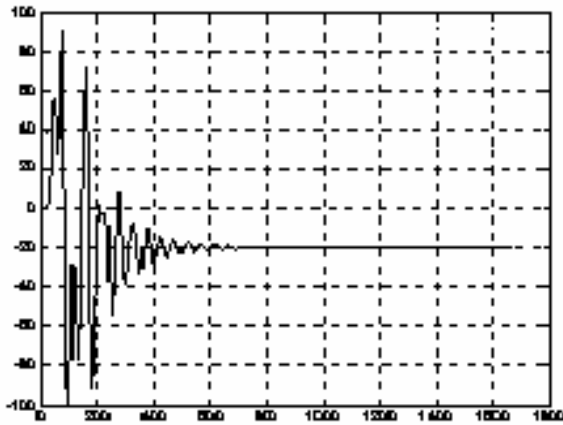


Рис. 1. Изменение момента двигателя в генераторном режиме

Анализ полученного графика, описывающего изменение момента двигателя в зависимости от режима работы (рис. 1) показывает, что в двигательном режиме момент положителен, в генераторном режиме по абсолютному значению неизменен, однако меняет знак на противоположный. Это происходит потому, что уравновешивающий внешний момент направлен против поля и считается отрицательным [3].

Что касается мощностей  $P_{эм}$  и  $P_{мех}$ , то их значения также отрицательны:

$$P_{эм} = M \omega_1 = \frac{P_{э2}}{S} < 0, \quad (2)$$

$$P_{мех} = M \omega = P_{э2} \frac{1-S}{S} < 0. \quad (3)$$

Направление преобразования электроэнергии изменяется на обратное: механическая мощность, приведенная к валу двигателя, преобразуется в электромагнитную, поступающую в сеть. Так как мощность потерь положительна (в любом режиме эти мощности превращаются в тепло), механическая мощность

$$P_{мех} = P_{эм} - P_{э2} < 0 \text{ при } S > 0 \quad (4)$$

по абсолютному значению больше, чем электромагнитная:

$$|P_{мех}| = |P_{эм}| + P_{э2}. \quad (5)$$

По той же причине потребляемая механическая мощность

$$P_2 = P_1 - \Sigma P < 0 \quad (6)$$

по абсолютному значению на потери больше электрической мощности, отдаваемой в сеть:

$$|P_2| = |P_1| + \Sigma P. \quad (7)$$

В этом можно убедиться исходя из анализа графика, описывающего потребление мощности в генераторном режиме (рис. 2).

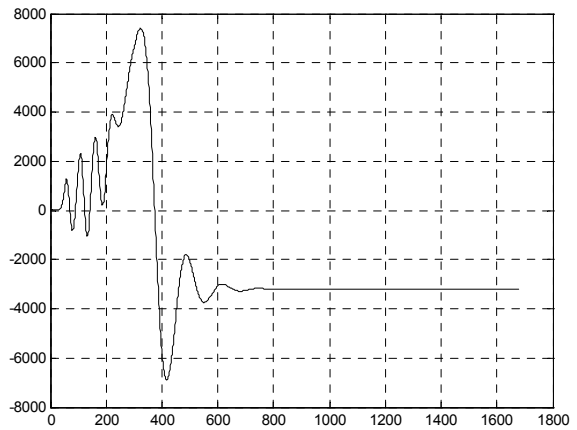


Рис. 2. Изменение мощности двигателя в генераторном режиме

КПД генератора, соответственно, отрицательно:

$$\eta = \frac{|P_2|}{|P_1|} = 1 - \frac{\Sigma P}{|P_2|} < 0. \quad (8)$$

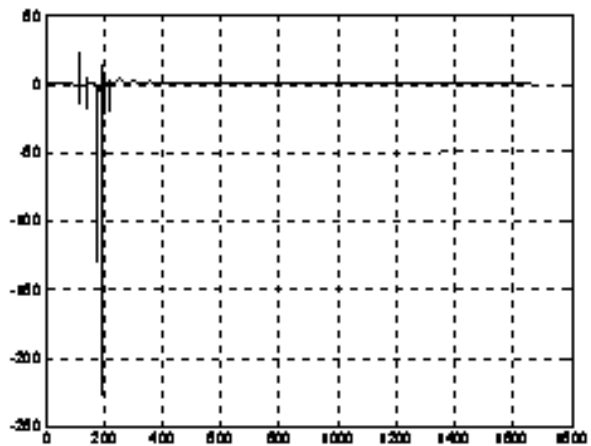


Рис. 3. Изменение КПД двигателя в генераторном режиме

Таким образом, можно проиллюстрировать соответствующей зависимостью изменения частоты вращения двигателя в генераторном режиме.

Схема, составленная в пакете MatLab, описывающая подачу внешнего момента, показана на рис. 4.

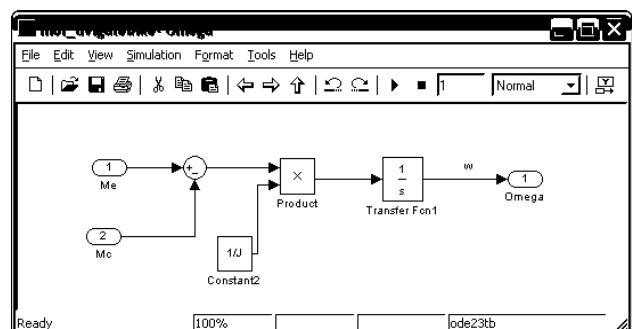


Рис. 4. Модель, описывающая преобразование момента в скорость вращения асинхронного двигателя

Анализ полученных результатов (рис. 1, 4) показывает, что при изменении знака внешнего момента в генераторном режиме момент двигателя становится отрицательным, но по абсолютному значению остается таким же; мощность потребления двигателя в генераторном режиме становится противоположной по знаку, а именно, отрицательной, но по абсолютному значению большей, по сравнению с мощностью потребления двигателя в двигательном режиме, где разностью потребления мощностей являются суммарные потери в двигателе; незначительное увеличение частоты и скорости вращения двигателя связано с увеличением потребления мощности в генераторном режиме.

#### Список литературы

1. **Браславский И.Я., Ишматов З.Ш., Поляков В.Н.** Энергосберегающий асинхронный электропривод: учеб.

*Степанов Владимир Михайлович*,  
ФГБОУВПО «Тульский государственный университет»,  
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой электроэнергетики,  
телефон (4872) 35-54-50,  
e-mail: eists@rambler.ru

*Котеленко Светлана Владимировна*,  
ФГБОУВПО «Тульский государственный университет»,  
аспирантка кафедры электроэнергетики,  
e-mail: S.V.Kuzmina@yandex.ru

пособие для студ. высш. учеб. заведений / под ред. И.Я. Браславского. – М.: Изд. центр «Академия», 2004. – 256 с.

2. **Кацман М.М.** Электрический привод: учеб. для студ. образоват. учреждений сред. проф. образования. – М.: Изд. центр «Академия», 2005. – 384 с.

3. **Белов М.П., Зементов О.И., Козярук А.Е.** Инжиниринг электроприводов и систем автоматизации: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / под ред. В.А. Новикова, Л.М. Чернигова. – М.: Изд. центр «Академия», 2006. – 368 с.

#### References

1. Braslavskiy, I.Ya., Ishmatov, Z.Sh., Polyakov, V.N. *Energosberegayushchiy asinkhronnyy elektroprivod* [Energy Saving Asynchronous Electric Drive]. Moscow, Izdatel'skiy tsentr «Akademiya», 2004. 256 p.

2. Katsman, M.M. *Elektricheskiy privod* [Electric Drive]. Moscow, Izdatel'skiy tsentr «Akademiya», 2005. 384 p.

3. Belov, M.P., Zementov, O.I., Kozyaruk, A.E. *Inzhiniring elektroprivodov i sistem avtomatizatsii* [Electric Drive and Automation Systems Engineering]. Moscow, Izdatel'skiy tsentr «Akademiya», 2006. 368 p.