

М. И. Бурбело, д. т. н., проф.; А. В. Гадай, к. т. н.; П. В. Довгалоук

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ НАПРЯЖЕНИЯ

Исследована возможность уменьшения колебаний напряжения на зажимах синхронного двигателя в резкопеременных режимах работы при различной нагрузке и установлены закономерности регулирования тока возбуждения двигателя для улучшения качества напряжения в сети.

Ключевые слова: напряжение, синхронные двигатели, компенсация реактивной мощности.

Рассмотрение проблемы и постановка задачи

В случае отклонений напряжения от оптимального значения суммарные потери, определяемые технологическими и электромагнитными убытками, увеличиваются [1]. Технологические убытки учитывают ущерб от нарушения технологического процесса, ухудшения качества продукции, уменьшения производительности труда. Электромагнитным убыткам свойственны увеличение потерь электроэнергии, выход из строя электротехнического оборудования, нарушение работы автоматики.

Устройства автоматического регулирования возбуждения (АРВ) синхронных двигателей (СД) необходимо изготавливать так, чтобы в течение каждого технологического режима напряжение в узле нагрузки поддерживать оптимальным. Существующие АРВ не позволяют прогнозировать или управлять с опережением режимами напряжения и показателями качества электроэнергии. При изменении нагрузки и напряжения двигателя невозможно установить оптимальный ток возбуждения. Его необходимо автоматически регулировать в зависимости от конкретных условий, характеризующих систему электроснабжения и нагрузку СД.

Выбор закона АРВ должен осуществляться с учетом возможных изменений уровня напряжения и режима работы электропривода. Например, электропривод лебедки буровой установки должен поднимать и опускать бурильную колонну с заданной скоростью при переменной массе колонны. Для оптимального использования электропривода [2] необходимо поддерживать постоянную мощность во всем диапазоне изменения массы бурильной колонны при подъеме и опускании. В случае питания буровой установки от системы электроснабжения ограниченной мощности, активная и реактивная мощности СД значительно изменяются [3] и нагрузка СД лебедки имеет ударный характер. Это приводит к отклонениям и колебаниям напряжения на вводе буровой установки и колебаниям СД. Вследствие этого возникают аварии и преждевременный выход из строя двигателей [4].

Цель исследования

Целью исследования является определение возможности использования СД для уменьшения резких и глубоких снижений напряжения за счет динамической компенсации реактивной мощности.

Обоснование результатов

При изучении квазиустановившихся режимов СД используют уравнение Парка – Горева в d - q -координатах, записанных через действующие значения величин [5]. Систему уравнений, характеризующую электромагнитные переходные процессы СД представим в матричном виде

$$\begin{bmatrix} L_d & 0 & M_{sf} & M_{sD} & 0 \\ 0 & L_q & 0 & 0 & M_{sQ} \\ 1,5M_{sf} & 0 & L_f & M_{fD} & 0 \\ 1,5M_{sD} & 0 & M_{fD} & L_D & 0 \\ 0 & 1,5M_{sQ} & 0 & 0 & L_Q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{dI_d}{dt} \\ \frac{dI_q}{dt} \\ \frac{dI_f}{dt} \\ \frac{dI_D}{dt} \\ \frac{dI_Q}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -U_d \\ -U_q \\ U_f \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} - \\ - \begin{bmatrix} R_s & \omega L_q & 0 & 0 & \omega M_{sQ} \\ -\omega L_d & R_s & -\omega M_{sf} & -\omega M_{sD} & 0 \\ 0 & 0 & R_f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & R_D & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & R_Q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_d \\ I_q \\ I_f \\ I_D \\ I_Q \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где R_s , R_f , R_D , R_Q – активные сопротивления соответственно обмотки статора, обмотки возбуждения и демпферных обмоток по осям D , Q ; L_d, L_q – индуктивности статорной обмотки соответственно по продольной и поперечной осям; M_{sf} , M_{sD} , M_{sQ} , M_{fD} – взаимные индуктивности между соответствующими обмотками СД; U_d , U_q , U_f – напряжения соответственно обмотки статора по осям d , q и обмотки возбуждения.

Для решения задачи численным методом Рунге – Кутты четвертого порядка систему уравнений (1) необходимо записать в нормальной форме Коши и дополнить уравнениями, характеризующими электромеханические процессы

$$\frac{d\omega_r}{dt} = \frac{-\frac{P(t)}{\omega_r} - M_H(t)}{J}; \quad \frac{d\theta}{dt} = \omega_r - \frac{\omega}{p_0}. \quad (2)$$

На буровых установках для привода лебедки используют СД типа СДЗБ-13 мощностью 450 – 630 кВт. Система возбуждения таких двигателей обеспечивает регулирование возбуждения, при этом напряжение и ток возбуждения могут регулироваться с использованием разных законов и параметров регулирования.

При форсировании тока возбуждения (рис. 1) СД обладают способностью резкого изменения реактивной мощности (рис. 2). В данном случае ток возбуждения форсируется с 235 А до 325 А. При этом реактивная мощность загруженного СД уменьшается с 400 квар до нуля.

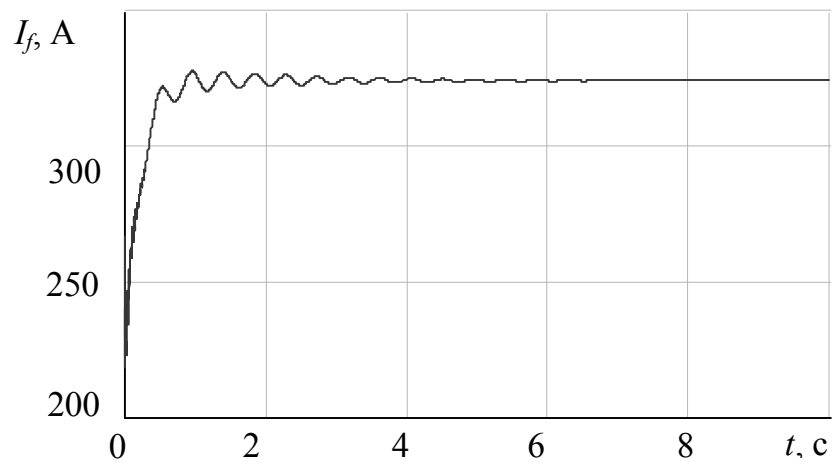


Рис. 1. Форсирование тока возбуждения СД

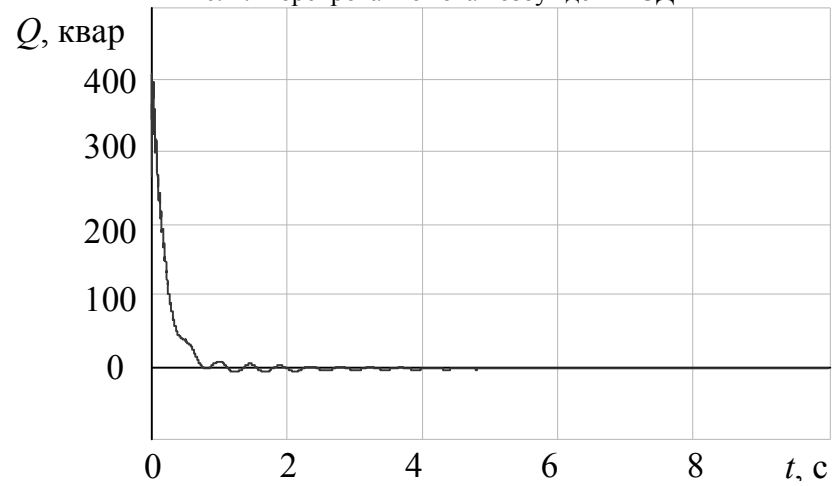


Рис. 2. Уменьшение потребления реактивной мощности СД в случае форсирования возбуждения

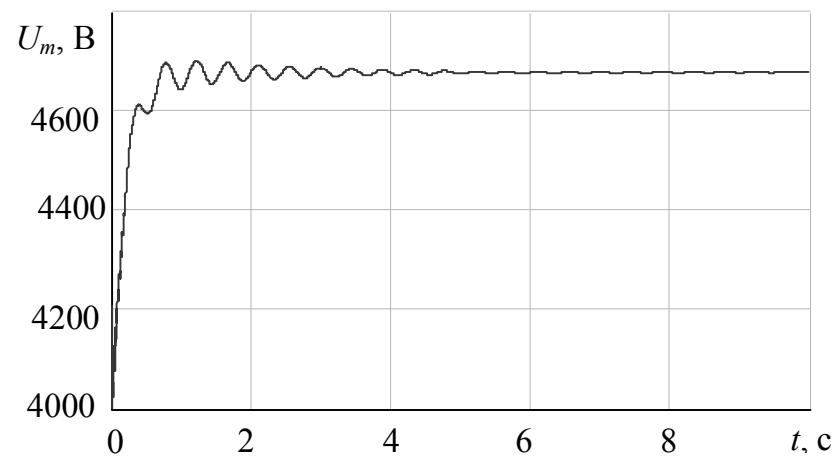


Рис. 3. Зависимость амплитуды фазного напряжения в случае форсирования тока возбуждения СД

При форсировании тока возбуждения СД угол выбега, момент и активная мощность резко изменяются. При этом напряжение имеет колебательный характер (рис. 3). Это требует увеличения постоянной времени пропорционально-интегрирующего регулятора до значения, при котором зависимость напряжения становится плавной во времени (кривая 1 на рис. 4). Причем для электропривода лебедки буровой установки при переменной массе буровой колонны из-за недопустимости резкого изменения момента на валу необходимой является адаптация постоянной времени регулятора в зависимости от нагрузки: максимальное значение постоянной времени должно быть установлено при малой нагрузке, а с увеличением нагрузки постоянная времени должна постепенно уменьшаться. Это, в

частности, отображено кривой 2 на рис. 4, построенной при уменьшении нагрузки на валу машины на 15 % при тех же параметрах регулирования.

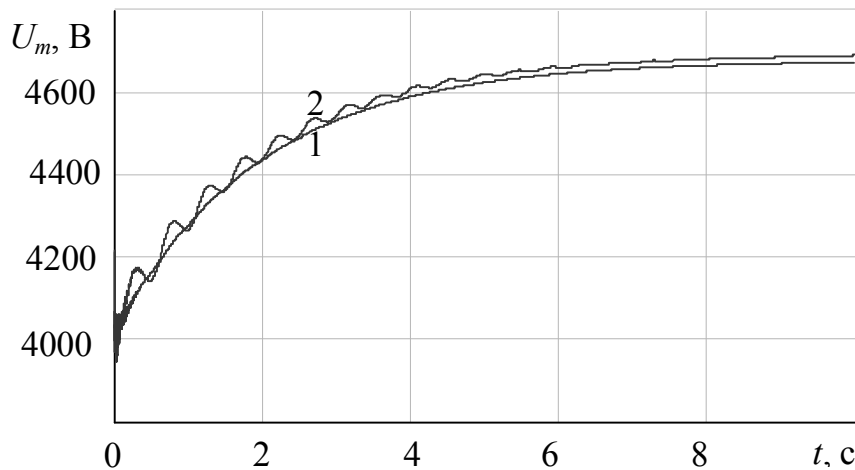


Рис. 4. Зависимости амплитуды фазного напряжения в случае увеличения постоянной времени регулятора при разных нагрузках СД

Выводы

Таким образом, форсирование возбуждения СД обеспечивает возможность уменьшения колебаний напряжения за счет динамической компенсации реактивной мощности. Выбор постоянной времени пропорционально-интегрирующего регулятора СД зависит от массы буровой колонны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Суднова В. В. Качество электрической энергии / В. В. Суднова. – М. : ЗАО Энергосервис, 2000. – 80 с.
2. Моцохейн Б. И. Электропривод буровых лебедок. / Б. И. Моцохейн, Б. М. Парфенов. – М. : Недра, 1978. – 304 с.
3. Саяк И. И. Исследование автоматического регулятора возбуждения приводного синхронного двигателя буровой лебедки. / И. И. Саяк, Р. А. Селепина, Г. С. Корниевич, В. Н. Холин. – Машины и нефтяное оборудование. – 1975. – № 8. – С. 30 – 35.
4. Абрамович Б. Н. Бесщеточные синхронные двигатели с повышенными эксплуатационными характеристиками для главных приводов буровых установок. / Б. Н. Абрамович, А. Б. Купцов, И. Ф. Лозовой. – М. : ВНИИОЭНГ, Машины и нефтяное оборудование. – 1982. – № 1. – С. 26 – 28.
5. Костюк О. М. Колебания и устойчивость синхронных машин / О. М. Костюк, М. И. Соломаха. – К. : Наукова думка, 1991. – 200 с.

Бурбело Михаил Иосифович – профессор кафедры электротехнических систем электропотребления и энергетического менеджмента.

Винницкий национальный технический университет.

Гадай Андрей Валентинович – доцент кафедры электроснабжения.

Луцкий национальный технический университет.

Довгалоук Петр Васильевич – студент института электроэнергетики и электромеханики.

Винницкий национальный технический университет.