

Цыганаш В. Е. /к. т. н./
ДГМА

Особенности реализации частотного метода оптимального управления

В работе для фазочастотной и временной области на основе принципа взаимности проведен анализ критерия оптимального управления мощным энергопотребителем. На основе этого критерия разработана имитационная модель управления объектом, использующая эвристический прием для разделения движений на относительное, переносное и абсолютное. Предложены варианты системы управления, сохраняющие трудносочетаемые свойства процесса управления – высокую точность и быстродействие, приведены результаты промышленной проверки. Ил. 2. Библиогр.: 5 назв.

Ключевые слова: энергопотребитель, относительное движение, точность, быстродействие, имитационная модель

The work for phase-frequency and time domain based on the principle of reciprocity analysis criterion optimal control of a powerful energy consumer. On the basis of this criterion was developed simulation model of control object, used a heuristic approach to separate the relative movements, translational and absolute. The variants of the control system, which combines the properties, that retains hardly to control process – high accuracy and speed. The results of industrial inspection are given.

Keywords: Energy consumer, relative motion, accuracy, speed, simulation model

Для мощных энергопотребителей особую роль играет повышение эффективности электрометаллургического производства путем достижения максимально возможной текущей производительности плавильных печей, снижения удельных затрат электроэнергии и уменьшения себестоимости выплавляемой стали в энергетический и технологический периоды плавки, когда плавильная печь используется как высокопроизводительный агрегат для расплавления шихты [1]. Энергетический режим при выплавке стали, например, в дуговой сталеплавильной печи, в период расплавления характеризуется крайней неустойчивостью, поэтому очень важным в этих условиях для достижения наименьшей продолжительности плавки или наибольшей производительности печи, при соблюдении заданного качества выплавляемой стали, является обеспечение режима максимального быстродействия процесса.

Для решения этой задачи в настоящее время имеются в наличии трудноформализуемые методы оптимального управления, требующие представления информации во временной области, больших объемов вычислительной работы, учета трудноизмеряемых переменных. Такое положение еще более усугубляется отсутствием теоретических основ для методов оптимального управления, позволяющих вести обработку информации в режиме реального времени, допускающих полный охват уравнений в единой системе при точном определении на-

ложенных условий и представляющих возможность проведения упрощенного синтеза и декомпозиции исследуемых объектов.

Добиться положительных результатов при решении этой задачи можно используя частотный метод оптимального управления. Он основан на применении в качестве критерия оптимального управления коэффициента использования мощности источника питания $K_n(t)$, характеризующего отклонение от оптимального режима значения мощности, потребляемой от источника питания [2]

$$K_n(t) = \frac{P_n(t) - P_{ном}(I) - \Delta P_p(t)}{P_n(t)} = \frac{P_n(t) - P_{ном}(I) - (I\Delta U + U\Delta I)}{P_n(t)},$$

где $P_n(t) = UI$ – заданное значение мощности источника питания; $\Delta P_p(t)$ – недоиспользованная мощность источника питания, возникающая в результате отклонения от оптимального режима по току на ΔI и по напряжению на ΔU ; $P_{ном}(I)$ – мощность потерь, зависящая от тока I силовой цепи; U – напряжение на нагрузке; t – время.

Если через $P_n(t)$ обозначить полезную мощность, то при правильном выборе $P_n(t)$ и $\Delta P_p(t) = 0$ в системе поддерживается оптимальный электрический режим $P_n(t) = P_n(t)_{max}$.

Достоинствами этого критерия являются:

– возможность представления сигналов как в фазочастотной, так и во временной области;

та, Ω – частота питания силовой цепи. Тогда при малых значениях A спектр колебания в КК будет состоять из несущей частоты ω_0 и двух боковых частот: верхней $\omega_0 + \Omega$ (вектор $O_x B$) и нижней $\omega_0 - \Omega$ (вектор $O_x C$). При этом результирующий вектор модуляции $O_x E$ будет перпендикулярен к направлению вектора $O O_x$, изображающего несущее колебание. Вектор $O E$, изображающий результирующее колебание, изменяется как по фазе, так и по амплитуде. Фазовые изменения на диаграмме ограничены диапазоном $\Delta\varphi$.

Подчеркнем, что перемещения $O E$ в этом диапазоне происходят вследствие изменений тока ($L \frac{di}{dt}$). При этом центр вращения векторов $O_x C$ и $O_x B$ не меняется, так как параметры колебательного контура постоянны. Это равносильно движению точки в абсолютной системе отсчета при отсутствии переносного движения. При этом $V_{отн} = V_{абс}$.

Теперь допустим, что на вх 2 КК (рис. 1) поступает сигнал $U = I$. При этом для параметров КК характерно $L = var$, $C = const$, где C – емкость КК. При соответствующем подборе параметров колебательного контура можно добиться, что вектор $O E$ будет перемещаться в том же диапазоне и изменяться по тому же закону, что и в первом случае. Эти перемещения $O E$ вызваны изменением индуктивности ($i \frac{dL}{dt}$). Это равносильно состоянию покоя точки в абсолютной системе отсчета при одновременном перемещении относительной системы координат. При этом $V_{отн} = -(+V_{пер})$.

Одновременное поступление различных входных воздействий на оба входа КК приводит к перемещению $O E$ как в результате изменений тока ($L \frac{di}{dt}$), так и в результате изменений индуктивности ($i \frac{dL}{dt}$). Центр вращения векторов $O_x C$ и $O_x B$ также меняется. Это равносильно общему случаю движения точки в механике $V_{отн} = V_{абс} - (+V_{пер})$, где $V_{отн}$ эквивалентно $\frac{d(Li)}{dt}$. Для такого вида движения в механике возможен случай, когда движение в относительной системе отсчета себя не проявляет, несмотря на наличие движения в абсолютной системе отсчета. Этот случай удобно отождествлять с наличием оптимального электрического режима в рассматриваемой системе. При соответствующей настройке параметров модели его можно воспроизвести экспериментально и в КК. Для этого достаточно на оба входа подать сигналы $U = I$. В результате получим, что центр враще-

ния векторов $O_x C$ и $O_x B$ изменяется, т. е. наблюдается вращение векторов вокруг мгновенного центра вращения. При этом мгновенный центр вращения перемещается так, что вектор $O_x E$ равен нулю. Это аналогично движению в механике, когда $V_{абс} - (+V_{пер}) = 0$, т. е. $V_{отн}$ не имеет низкочастотных составляющих движения. При этом в выходном сигнале КК будут отсутствовать составляющие $\omega_0 \pm \Omega$ и в контуре не нарушится резонансный режим, соответствующий в данном случае оптимальному режиму преобразования энергии в исследуемой системе.

Такой подход к определению оптимальности режима работы силовой цепи объекта, с одной стороны инвариантен к величине и форме входных сигналов, которые могут быть и не дифференцируемыми, а с другой – сравнительно просто реализуется.

Возможность представления $K_n(t)$ как в фазочастотной области (ФЧО), так и во временной области позволяет формализовать вариационный принцип взаимности в этих областях и рассматривать полученные значения как кластеры системных парадигм, хорошо дополняющих друг друга. При представлении сигналов в ФЧО это дает возможность сократить мерность пространства и при этом еще учитывать текущие изменения, происходящие в нем за счет введенной относительной системы отсчета (ОСО). Введение ОСО способствует также отделению явных движений от скрытых движений. Эти меры благоприятно отражаются на динамике метода, так как сокращение мерности пространства неизбежно приводит к сокращению множества анализируемых траекторий и в пределе сводит эту процедуру к одной – оптимальной траектории. Поэтому, при технической реализации это позволяет применить сочетание двух регуляторов в системе: оптимального и обычного.

Такой подход к оценке изменения энергии, поступающей в систему, удобен и тем, что при оптимальном режиме работы системы позволяет совместить область допустимых значений параметров с областью предельно допустимых их значений и вести процесс, не приближаясь к оптимальной траектории как в существующих методах, а вести его непосредственно по этой траектории, что положительно сказывается на эффективности энергопреобразования. При унимодальном характере преобразования мощности (одновершинным ее распределении) это позволяет влиять через добротность контура на величину наименьшего действия и существенно повышать точность определения оптимальной траектории за счет значительного увеличения добротности КК по сравнению с добротностью объекта.

Таким благоприятным сочетанием факторов – ростом быстродействия и повышением точности определения экстремали можно воспользоваться не только при решении оптимизационной задачи, с использованием КК в качестве модели, но и при решении задачи выбора предпочтительной альтернативы, воспользовавшись унимодальной характеристикой объекта и включив в процесс управления энергопотребителем лицо, принимающее решения (оператора) [5]. Осуществимость эффективного включения в контур управления оператора становится возможной из-за выделения низкочастотной составляющей мощности, которая является основной при управлении объектом и позволяет добиться более действенного согласования частотных диапазонов работы оператора и системы управления объектом.

Решение задачи выбора предпочтительной альтернативы было опробовано в промышленных условиях и внедрено на ДСП-100 («Энергомашспецсталь»). Такая система управления имеет значительные преимущества перед традиционными системами, заключающиеся в следующем:

– пультовщик может принимать более обоснованные и своевременные решения по ходу плавки, так как в информационном потоке, поступающем на пульт управления в период расплавления шихты, значительно ослабляется влияние помех (особенно заметно это проявляется, если в качестве шихты используется металлом);

– реализованная система предоставляет возможность выбора и поддержания оптимального положения рабочей точки в таком сложном трехфазном агрегате без нулевого провода, каким является ДСП;

– эффективность от внедрения модернизированной системы управления по мощности проявляется в том, что процесс плавления протекает быстрее и сопровождается меньшим расходом электроэнергии на 7-10 кВт·час/т.

Библиографический список

1. Каблуковский А. Ф. Производство стали и ферросплавов. – М.: ИКЦ Академкнига, 2003. – 511 с.

2. Цыганаш В. Е. Исследование и разработка структуры управления дуговой печи для производства слитков крупных поковок / Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні. Темат. зб. наук. пр. – Краматорськ: ДДМА, 2005. – С. 594-598.

3. Цыганаш В. Е. Системный анализ энергетических преобразований в технологической системе / Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Зб. наук. пр. – Краматорськ: ДДМА, 2000. – С. 49-53.

4. Гоноровский И. С. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Сов. Радио, 1971. – 672 с.

5. Цыганаш В. Е. О стабильности и устойчивости системы управления мощным энергопотребителем / Металлург. и горноруд. пром-сть. – 2013. – № 3. – С. 137-140.

Поступила 20.03.2015

