

Комплекс управления оборудованием электродуговой печи

Михаил Ин

В статье описан комплекс управления оборудованием современной сверхмощной электродуговой печи. Данный комплекс автоматически адаптируется для работы с металлоломом разных уровней качества, что особенно актуально в нынешних условиях, когда это качество постоянно ухудшается.

История создания системы

Первый вариант системы регулирования мощности дуги сталеплавильного агрегата был создан разработчиками, позднее объединившимися в ООО «Полином-Юг», в 2007 году. Эта система была предназначена для установки типа «печь-ковш» вместимостью 50 тонн предприятия ООО «Новоросметалл». Задача включала в себя замену существующей системы, работающей по принципу стабилизации токов электродов, на систему регулирования по полному сопротивлению. Однако первые опыты работы системы показали, что хорошо работающего регулятора мощности недостаточно для получения хороших результатов. В итоге модернизации для установок подобного типа родилась система, учитывающая технологические особенности процесса. Например, скорость нагрева металла достигла 6°C в минуту, что позволяло внести коррективы в основной технологический процесс на электродуговой печи с целью уменьшения расхода основных энергоносителей. Но на тот момент экономия энергоносителей не была настолько актуальной.

Основной толчок к развитию системы был дан во время кризиса 2008 года. Именно тогда стало ясно, что вопрос эффективного использования энергоносителей стоит особенно остро с точки зрения выживания предприятия.

Задачи, стоявшие перед разработчиками

Кризис поставил перед разработчиками первую непростую задачу: найти пу-

ти, позволяющие эффективно снизить потребление энергоносителей и при этом не уменьшить объёмы производства. Вторая задача была продиктована сложившейся ситуацией, когда, с одной стороны, стало резко падать качество поставляемого металлолома, а с другой — существующие на тот момент системы управления не имели совершенно никакой адаптации именно к качеству металлолома. Третья задача — экономия огнеупорных материалов, так как в стоимости передела металлолома затраты на них занимают достаточно большую долю.

Для решения этих задач был нужен новый подход, и нам удалось его найти.

Было принято решение создать систему, в которой процесс ведения плавки является саморегулируемым. Второе важное решение — получить пользу от вредных сторон процесса. Для реализации обоих этих принципов управления необходимо было найти новый способ определения реального режима работы электродуговой печи. Существующие способы, например метод анализа гармонических составляющих токов, дают недостаточно достоверный результат. Найденный нами способ на данный момент является ноу-хау нашей компании, не требует никаких добавочных аппаратных средств и, как показала практика,

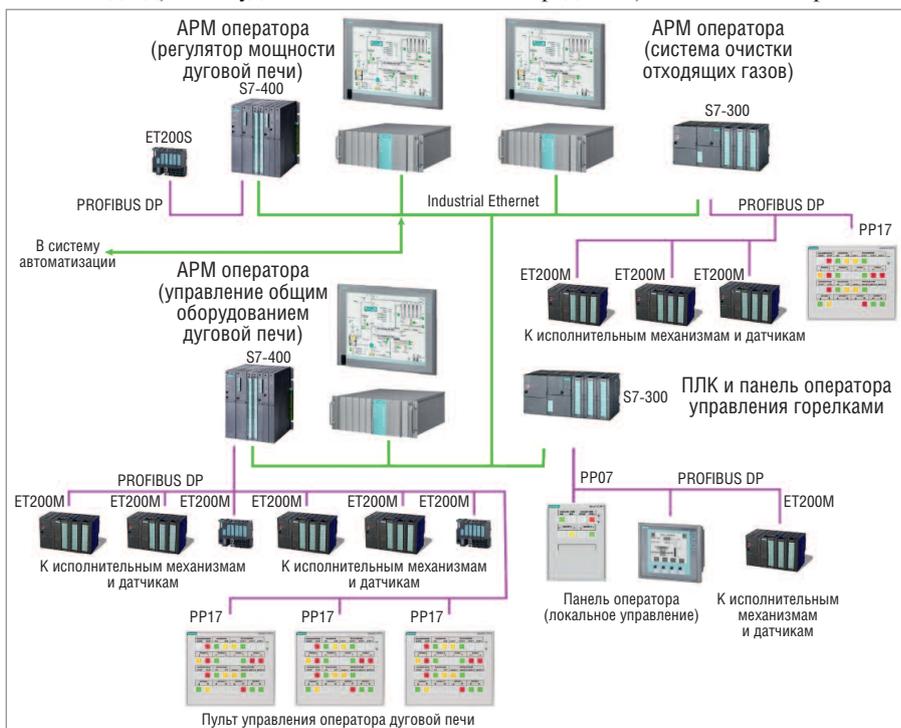


Рис. 1. Общая структурная схема системы

позволяет более достоверно определять режимы работы электродуговой печи.

Назначение и функции системы

Назначение нашей системы – управление не только мощностью дуги электродуговой установки, но и всем комплексом оборудования печи как единого агрегата. Функционально систему можно разбить на следующие блоки, каждый из которых вполне можно рассматривать как самостоятельную систему управления:

- собственно регулятор мощности дуги;
- модуль ведения процесса плавления;
- регулятор управления газокислородными комбинированными горелками;
- система управления подачей инъекционных материалов;
- регулятор управления системой очистки отходящих газов;
- детектор режима работы печи;
- модуль формирования отчёта по процессу ведения плавки;
- модуль замера температуры металла в печи;
- модуль компенсации отклонений напряжения;
- модуль компенсации дрейфа пропорциональных клапанов;
- модуль получения симметрии короткой сети.

Общая структурная схема системы показана на рис. 1, а блок-схема комплекса управления – на рис. 2.

Регулятор мощности дуги управляет мощностью, передаваемой от дуги металлу и шлаку. Принцип управления – работа с регулированием по поддержанию полного сопротивления дуги. Про-

цессом плавления управляет модуль ведения плавки, находящийся в подчинении детектора режима работы печи. Для обеспечения вспенивания шлака и накрытия в необходимый момент дуг применяется система управления подачей инъекционных материалов. Для интенсификации процесса плавления используется система управления газокислородными горелками, которая работает в режиме слежения за процессами, происходящими в печи. Такой принцип управления применяется впервые и позволяет минимизировать расход газа и кислорода за счёт подачи только того их количества, которое необходимо для ведения процесса плавления. Для компенсации отклонения первичного питающего напряжения имеется соответствующая система. В полной мере произвести компенсацию, конечно же, не получится, но нам удалось минимизировать эти отклонения. В целях реализации процесса обеспыливания используется модуль управления режимами газоочистки, необходимость в котором продиктована тем, что принцип работы по фиксированной программе неприменим в программе плавления, не имеющей жёстких уставок.

Используемые технические средства

Задачи, которые возлагаются на систему управления, достаточно сложны, и для их успешного решения мы выбрали ПЛК фирмы Siemens серии S7-400 с номером для заказа 6ES7414-3EM06-0AB0.

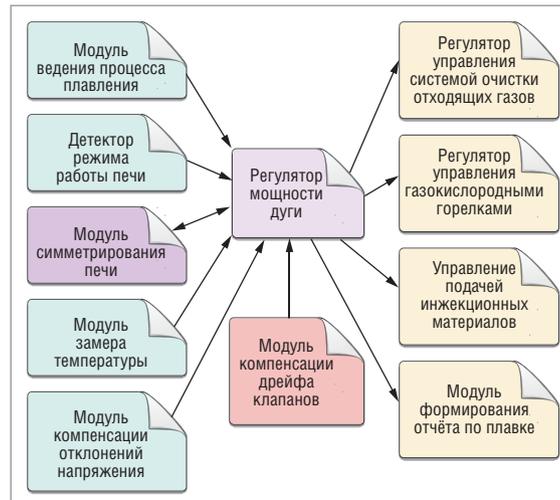


Рис. 2. Блок-схема комплекса управления

На рис. 3 показан этот контроллер на этапе монтажа в шкаф управления. Имея 2 Мбайт встроенной памяти для программ и 2 Мбайт встроенной памяти для данных, требуя всего 135 нс для выполнения операций с плавающей запятой, данный ПЛК обладает вполне достаточными ресурсами для реализации всего комплекса управления. Для построения системы замера температуры мы применили станцию распределённой периферии ET200pro (Siemens) со степенью защиты IP67. Ввиду сложности алгоритма управления для его реализации был выбран язык высокого уровня CFC. В качестве SCADA-системы используется WinCC версии 7.0.

Блок-схема модуля первичного преобразования сигналов тока и напряжения показана на рис. 4. В качестве преобразователя тока применяется SINEAX I552, а преобразователя напряжения – SINEAX U553. Оба типа преобразовате-



Рис. 3. Контроллер S7-400 на этапе монтажа в шкаф управления

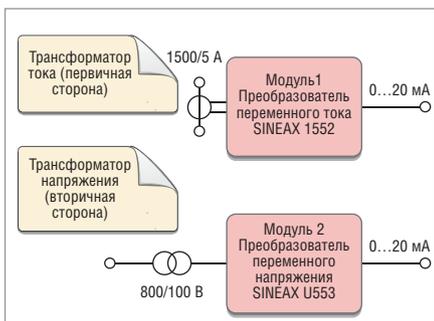


Рис. 4. Блок-схема модуля первичного преобразования сигналов тока и напряжения

лей имеют время интегрирования, равное 50 мс. Выходной сигнал — 0...20 мА постоянного тока.

Токвые сигналы поступают для аналого-цифрового преобразования на входной модуль контроллера, в качестве которого используется модуль ввода аналоговых сигналов SIMATIC SM 431 с номером для заказа 6ES7431-1KF20-0AB0. Данный модуль характеризуется высокой скоростью преобразования, равной 0,416 мс для восьми каналов. Наряду с сигналами тока и напряжения он обрабатывает сигналы датчиков давления масла в цилиндрах электродов, сигналы положения золотника гидравлических клапанов и сигналы с датчиков положения электродов. Блок-схема организации ввода аналоговых сигналов показана на рис. 5.

Далее уже оцифрованный сигнал обрабатывается программой управления, на основе чего формируются управляющие воздействия, которые через модуль цифро-аналогового преобразования SM 432 с номером для заказа 6ES7432-1HF00-0AB0 подаются непосредственно на пропорциональные гидравлические клапаны управления системой перемещения электродов. Для вспомогательных систем, таких как регулятор управления газокислородными горел-

ками или системой очистки отходящих газов, управляющие воздействия передаются по сети Ethernet.

Для систем регулирования важными параметрами являются истинные значения активной и реактивной мощности, коэффициента мощности, а также основных показателей качества электроэнергии. В связи с этим в описываемой системе используется многофункциональный измеритель параметров электросети SENTRON PAC4200, подключенный на стороне высшего напряжения установки электропечи. В качестве канала передачи данных используется PROFIBUS DP.

Внешний вид шкафа регулятора мощности показан на рис. 6.

Для модуля ведения процесса плавания написана сервисная программа, позволяющая произвести выгрузку/загрузку программы плавания из контроллера, а также сохранить программу во внешнем файле и загрузить из файла. Этим достигается исключительное удобство использования системы: теперь технолог может сам спокойно создать и изменить программу плавания или программу для горелок, находясь в кабинете или вообще в другом городе. Для написания сервисной программы использовался язык Visual Basic.

ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ

В качестве примера для более полного понимания принципов работы системы рассмотрим процесс функционирования всех основных частей комплекса при ведении плавки.

Далее по тексту порцию металла, загруженного в печь для расплавления, будем называть корзиной.

Этап 1 – плавление первой корзины

После завершения завалки система управления вспомогательными механизмами закрывает свод печи. Вслед за подачей высокого напряжения на трансформатор и появлением разрешающих сигналов регулятор переходит в автоматический режим. Сразу после включения высоковольтного выключателя система проверяет целостность измерительных цепочек тока и напряжения. В случае положительного результата запускается проверка целостности гидравлической системы для предотвращения перекачивания содержимого гидравлического бака под печь из-за дефекта на линии. При успешном завершении теста регулятор перево-

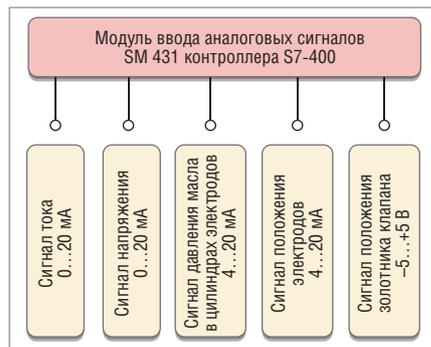


Рис. 5. Блок-схема организации ввода аналоговых сигналов в контроллер S7-400 через модуль SM 431



Рис. 6. Внешний вид шкафа регулятора мощности

дится в режим зажигания дуги. Для достижения максимальной стабилизации дуги в этот момент используется специальный алгоритм, позволяющий не только быстро зажечь и стабилизировать дугу, но и максимально быстро погрузить электроды в металлошихту. Это необходимо для обеспечения защиты огнеупорного материала малого свода от вредного излучения дуг. С момента зажигания дуги начинает работать модуль ведения плавки, выполняя заложенную программу. Всего технологических программ плавания пять, каждая включает плавление от 2 до 5 корзин, режим рафинирования и ускоренный нагрев. Алгоритм работы является нашим ноу-хау, он позволяет гибко работать как в классических режимах по израсходованной энергии, так и в режиме «плавка управляет сама собой». Как только один из электродов достигает жидкой ванны, регулятор включает модуль симметрирования печи, уменьшая эффект «дикой» фазы (перенос мощностей между электродами разных

фаз из-за отсутствия симметрии короткой сети или достаточно большой разницы длины электродов). До момента касания любым электродом жидкого металла можно сказать, что стены печи и свод были экранированы металлошихтой от вредного излучения дуг. Одновременно включаются интегральные регуляторы для достижения максимальной стабильности дуги. Однако если произойдет обвал шихты или какая-то из фаз перейдет в режим горения между электродом и твердой металлошихтой, интегральная часть регулятора отключится. После достижения всеми тремя электродами жидкой фазы, в зависимости от стабильности горения дуг может быть включена система инъекции для формирования вспененного шлака, что даст дополнительную стабильность и защиту печи от излучения. Работа газокислородных горелок в огромной степени зависит от системы управления. И здесь мы тоже применили наше ноу-хау, которое позволяет технологу предприятия настроить режимы работы газокислородных горелок от классического (по израсходованной энергии) до адаптивного, когда работа горелки управляется в зависимости от процессов, происходящих в печи. Основой соответствующих этим режимам алгоритмов яв-

ляются сигналы от модуля детектора режима работы печи. Хотелось бы отметить, что мы не используем гармонический анализ тока или напряжения, но метод, являющийся нашим ноу-хау, позволяет достаточно достоверно определить режим работы печи. Модуль ведения плавки при соответствующей настройке в состоянии достоверно определить момент завершения плавления корзины. То, что обычно сталевар делает на слух, слушающая печь, стало неотъемлемой частью работы нашей системы, и в этом её уникальность. Благодаря такой особенности для адаптации к качеству лома не надо делать абсолютно ничего — система сделает всё сама, опираясь на программу, написанную технологом предприятия.

Этапы 2, 3, 4, 5 – плавление остальных корзин

Эти этапы мало чем отличаются от описанного первого этапа. Единственное, что хотелось бы отметить, это возможное варьирование количества корзин от 2 до 5 ввиду различного качества металлолома. Для обеспечения такой возможности система способна очень гибко перестраиваться, максимально быстро адаптируясь к изменяющимся условиям.

Этапы 6 и 7 – рафинирование и перегрев

Эта фаза обработки характерна тем, что горение электрической дуги происходит уже между электродом и поверхностью жидкого металла. Как известно, в этом случае дуга не горит устойчиво, и с целью обеспечения стабильности используется система инъекции вспенивающих материалов для получения вспененного шлака в печи. Управление системой инъекции происходит автоматически, опираясь на данные детектора режима работы печи. Эффективность такой системы достаточно высока: дуга переходит в линейный режим горения, и это повышает общий КПД установки. В этом режиме практически всегда включены интегральные регуляторы, конечно, если процесс достаточно стабилен. При правильно выбранной программе управления режим перегрева может и не потребоваться. После проведения химического анализа металла и достижения заданной температуры металл готов для последующей обработки в печи-ковше.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТА

На рынке существует достаточно большое количество решений для сис-

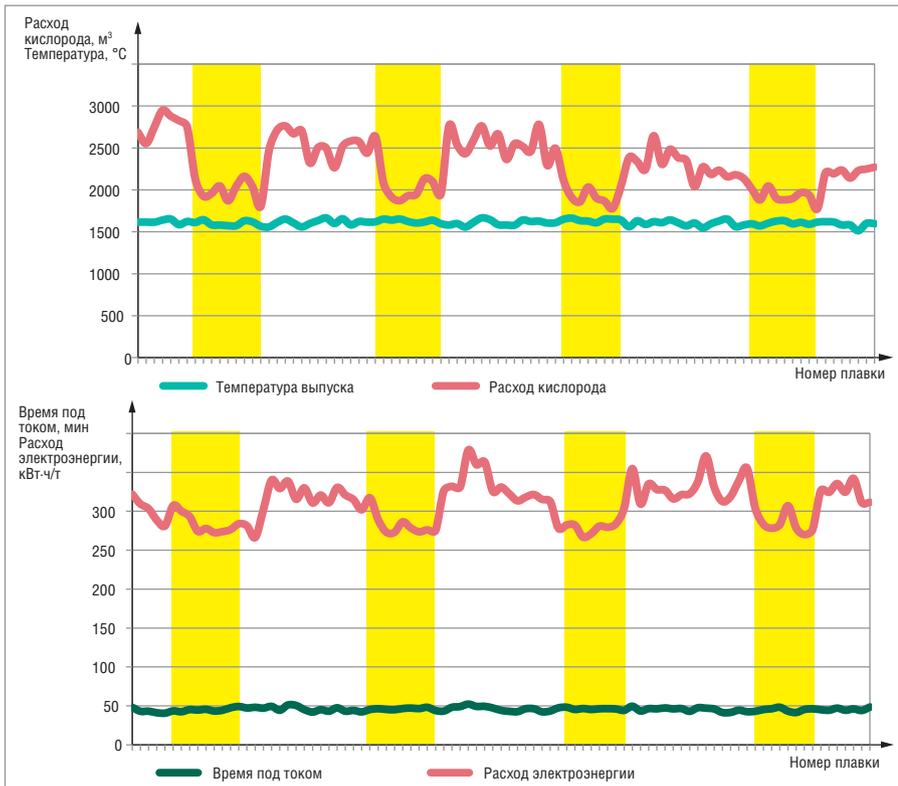


Рис. 7. Графики, иллюстрирующие экономический эффект от применения комплекса управления. Здесь жёлтым цветом выделены смены, работавшие с введёнными в действие системами компенсации

тем управления электродуговыми печами, и каждый производитель заявляет, что именно его система лучше, чем система конкурентов. Чтобы не быть голословными в оценке описанного проекта, давайте рассмотрим, что именно в нём позволяет решить поставленные перед разработчиками задачи, опираясь при этом лишь на те его особенности, которые присущи только представленной системе и потому не могут быть задействованы в системах регулирования других производителей.

Наиболее масштабная задача — экономия ресурсов. Под ресурсами подразумеваются прежде всего энергоресурсы — электрическая энергия и такие энергоносители, как природный газ, а также к ресурсам относятся кислород, сжатый воздух, порошкообразный углерод для вдувания. В целях экономии электроэнергии и других ресурсов в проекте применяются:

- следящая система ведения процесса плавления (классическим примером является ситуация, когда недостаточно полное расплавление предыдущей порции металла приводит к неполному расплавлению текущей порции, в итоге процесс затягивается по времени, и перерасход электроэнергии может составлять более 10% — к сожалению, подобную ситуацию допускают системы ведения процесса плавления,

работающие по классически принятому принципу);

- принцип симметрирования короткой сети, позволяющий более равномерно вводить мощность в пространство печи, уменьшая вероятность появления «холодных» зон (проблема наличия в пространстве печи «холодных» зон классически решается путём завышения нормы электроэнергии, необходимой для гарантированного расплавления порции металла);
- управляемые интегральные регуляторы, позволяющие получить повышенную стабильность значения полного сопротивления дуги и, как следствие, обеспечить более полное использование активной составляющей мощности (практически все современные регуляторы мощности, работающие по принципу полного импеданса, имеют интегральный регулятор, но зачастую при вводе в эксплуатацию инженер-наладчик включает только пропорциональную часть — для этого есть целый ряд причин, рассмотрение которых выходит за рамки данной статьи);
- гибкое управление системой очистки отходящих газов, позволяющее исключить режимы работы, в которых полезное тепло из пространства печи просто выводится в атмосферу из-за неправильного режима работы дымо-

сосов (зачастую инженер-технолог, производящий настройку режимов работы печи, просто не обращает внимания на систему отвода отходящих газов, или настройка производится по критерию «нет выбросов пыли из печи — хорошо»);

- регуляторы управления газокислородными горелками, работающие с обратной связью от процессов, происходящих в печи (это позволяет сократить время, необходимое для расплавления порции металла, и более равномерно распределить тепло в пространстве печи, уменьшая вероятность появления «холодных» зон).

Хотелось бы дополнить, что задачи адаптации к качеству металлолома и экономии огнеупорных материалов в той или иной степени решаются перечисленными составляющими системы управления, и наилучший эффект достигается при их комплексном использовании. Описанная в статье система будет в полном объёме установлена на заводе хорватской компании Adria Celik (г. Сплит).

ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ОТ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСА УПРАВЛЕНИЯ

Для проведения испытаний комплекс был развёрнут на электросталеплавильной печи переменного тока ёмкостью 50 тонн. Печь была оборудована тремя комбинированными газокислородными горелками мощностью 3 МВт каждая и установкой инжектирования углерода. Мощность трансформатора составляла 43 МВ·А.

Экономический эффект от применения комплекса хорошо демонстрируют графики, представленные на рис. 7. Для их построения были использованы данные за 4 дня посменной работы. Работа была организована в 3 смены по 8 часов каждая. Первая и третья смены работали в обычном режиме, а вторая — с введёнными в действие системами комплекса управления. На графике 1 показана зависимость температуры выпуска металла и расхода кислорода. Видно снижение потребления кислорода при практически неизменной температуре выпуска. На графике 2 показана зависимость времени под током и расхода электроэнергии на расплавление одной тонны загруженного металлолома. Здесь также видно, что при практически неизменном времени работы под током происходит снижение расхода электроэнергии. ●

E-mail: regulation@yandex.ru