

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ИНДУКЦИОННЫМ ПЛАВИЛЬНЫМ КОМПЛЕКСОМ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫМ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ НА ГП «ЛНПВК»

Государственное предприятие «Лугутинский научно-производственный валковый комбинат» (ГП «ЛНПВК») — одно из ведущих вальцепроизводящих предприятий стран постсоветского пространства. Стойкость валков с маркой «ЛНПВК» обеспечивает работу прокатных станов с минимальным количеством перевалок, сокращая материальные и энергетические затраты металлургических комбинатов.

На предприятии выпускают чугунные и стальные листопрокатные и сортопрокатные валки для прокатных станов предприятий металлургической промышленности, мельничные шары и мукомольные валки для помола зерна, а также различные валки для предприятий резинотехнической, бумажной, лакокрасочной и других отраслей промышленности.

Для увеличения производства ГП «ЛНПВК» приобрели индукционный плавильный комплекс немецкой фирмы OTTO JUNKER [1] на базе тиристорного преобразователя частоты с двумя индукционными 16 тонными печами. Монтаж данного комплекса был начат в 2013 году и до конца не закончен. До настоящего времени комплекс так и не был запущен в эксплуатацию, т.к. немецкая фирма не укомплектовала его системой управления.

Лишь в 2020 году возникла необходимость в обновлении оборудования прокатных цехов металлургических заводов, в том числе прокатных валков, которые производятся на ГП «ЛНПВК». Для наращивания объемов производства и повышения качества выпускаемой продукции Министерством промышленности и торговли было принято решение о запуске данного индукционного комплекса. В связи с этим Луганскому государственному университету имени Владимира Даля была поставлена задача разработать и запустить систему управления внешним контуром охлаждения печей и ряд сопутствующих защит, а Донбасскому государственному техническому институту была поставлена основная задача разработать новую систему управления индукционным плавильным комплексом с мониторингом его работы на пульте сталевара, смонтировать, наладить и запустить этот комплекс с разработанной системой управления.

В связи с этим целью данной работы является разработка системы управления индукционным плавильным комплексом фирмы OTTO JUNKER с последующим внедрением её в г. Лугутино на ГП «ЛНПВК» для производства прокатных валков.

Для этого была изучена документация на данный комплекс, проанализирована структура и схема его силовой части и оценена возможность построения замкнутой системы управления силовой частью тиристорного преобразователя частоты и разработки алгоритма работы и регулирования преобразователем для питания двух независимых индукционных печей. После чего была составлена упрощенная схема силовой части преобразователя частоты, которая представлена на рисунке 1.

На схеме обозначены Т1 — силовой питающий трансформатор собранный по схеме Y/Y и Δ; VS1-VS12 — тиристоры 12-пульсного выпрямителя, образованные двумя трехфазными мостами; L1.1, L1.2, L2.1, L2.2 — фильтровые дроссели; VS14-VS17, VS19-VS22, VS23-VS26, VS28-VS31 — тиристоры 4-х мостовых параллельных инверторов тока, формирующие в диагоналях каждого моста прямоугольный переменный ток возбуждающий каждый свой нагрузочный контур, в которых формируются выходные напряжения; L3, C1, C2 и L4, C3, C4 — индуктор и конденсаторы нагрузочного контура 1-ой и 2-ой печи; VS13, VS18, VS27, VS32 —

переключающие тиристоры, определяющие порядок работы инверторов тока, ими подключается и отключается поочередно, то одна, то другая индукционную печь. Регулирование мощностью преобразователя от 0 до 4 МВт осуществляется 12-пульсным выпрямителем по датчикам обратной связи по входному току (трансформаторы тока ТА1, ТА2 и ТА3, ТА4) и по входному напряжению (трансформаторы напряжения Т2, Т3 и Т4, Т5), а формирование синусоидального выходного напряжения частотой 250 Гц от 0 до 2,6 кВ осуществляется инверторами тока по датчикам выходного напряжения (трансформаторы напряжения Т6 и Т7).

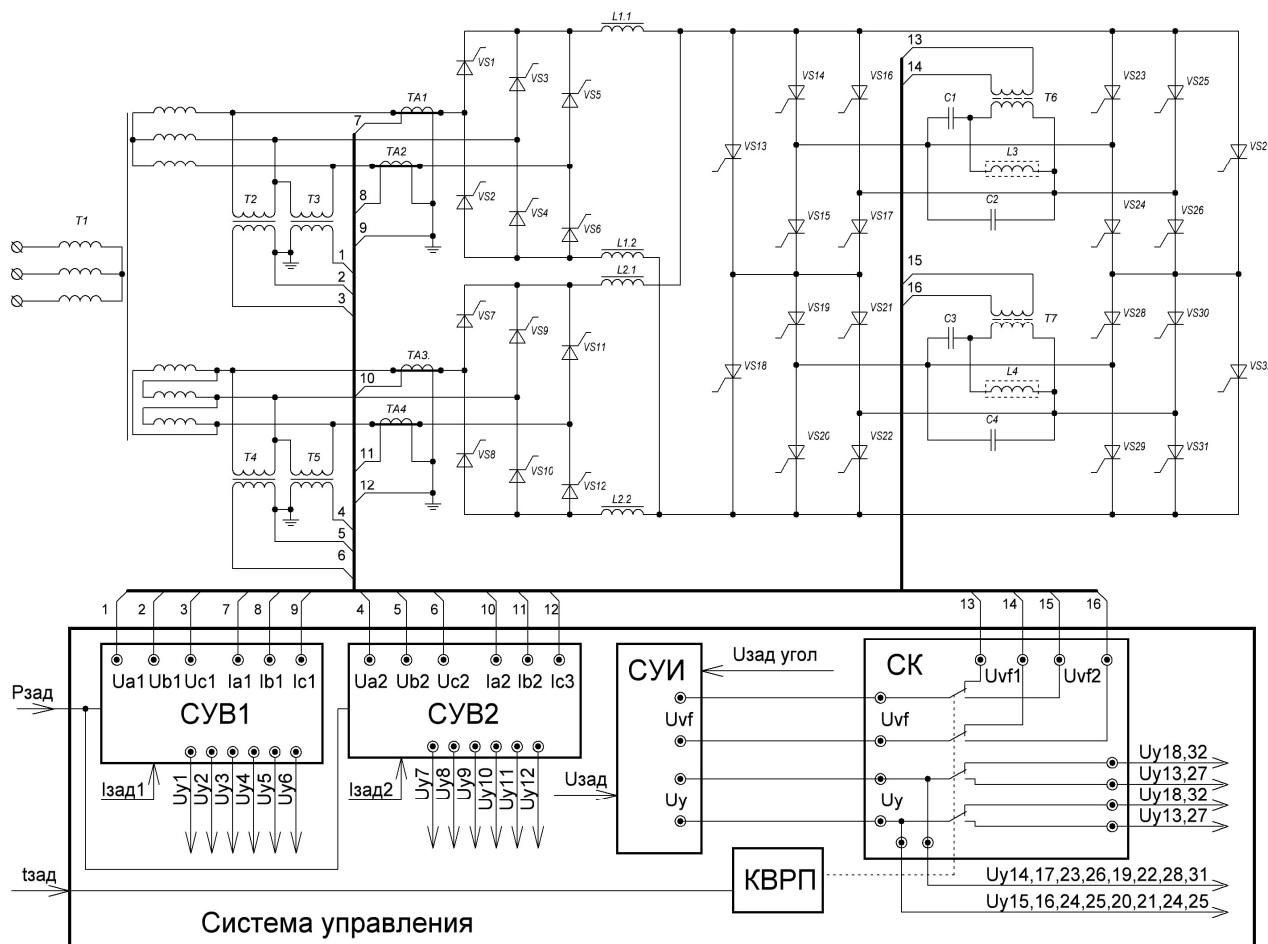


Рисунок 1 — Схема силовой части индукционного плавильного комплекса

По результатам анализа силовой схемы со штатными датчиками, была разработана замкнутая цифровая система управления, состоящая из схем управления выпрямителями (СУВ1 и СУВ2), схемы управления инвертором тока (СУИ). Разработанная система управления имеет характеристики высокой надежности, высокой импульсной симметрии, помехоустойчивости и быстрой скорости отклика.

СУВ1 и СУВ2 состоят из регулятора выпрямленного напряжения, регулятора баланса для обеспечения одинаковой загрузки выпрямителей, схемы управления фазовым сдвигом для двух выпрямителей в зависимости от сигнала задания (Рзад), схемы защиты, схемы плавного запуска и остановки, схемы формирования и усиления импульсов управления тиристорами выпрямителей (Uy1-Uy6 и Uy7-Uy12). Работают СУВ1 и СУВ2 от обратных связей по входному току (Ia1, Ib1, Ic1 и Ia2, Ib2, Ic2) и по входному напряжению (Ua1, Ub1, Uc1 и Ua2, Ub2, Uc2). Обратная связь по напряжению обеспечивает синхронизацию с сетью, обратная связь по току обеспечивает контроль загрузки каждого из выпрямителей, ограничение на заданной величине тока (Iзад1 и Iзад2) и защиту от перегрузки. Принцип построения системы управления трехфазным выпрямителем, алгоритм формирования импульсов управле-

ния тиристорами и способ регулирования угла управления для выпрямителей, который применен в данной СУВ подробно рассмотрен в работе [2].

СУИ состоит из схемы отслеживания частоты инвертора, схемы формирования и автоматического поддержания заданного угла опережения (20–40 град) ($U_{\text{зад.угол}}$) для управления инвертором, схемы запуска со стартовой частоты, схемы формирования и усиления импульсов управления тиристорами инвертора (U_y). Работает СУИ от обратной связи по выходному напряжению (U_{vf}), которая обеспечивает синхронизацию с собственной частотой нагрузочного контура, контроль загрузки инвертора, ограничение на заданной величине выходного напряжения ($U_{\text{зад}}$) и защиту от перенапряжения. Принцип и способ управления здесь применен как для классического инвертора тока и рассмотрен в работе [3].

Согласно эксплуатационной документации в течении периода плавки индукционный комплекс может работать с двумя печами в режиме поочередной работы с заданным процентным соотношением временного интервала ($t_{\text{зад}}$) в течении фиксированного времени (2 мин), например, 30 % работает первая печь, а 70 % работает вторая печь. Для переключения с одной печи на другую служат переключающие тиристоры VS13, VS18, VS27, VS32, включенные параллельно каждому инверторному мосту. Т. е. когда работают верхние мосты, включены переключающие нижние тиристоры VS18 и VS32, закоротив при этом нижние мосты, а когда работают нижние мосты включены переключающие верхние тиристоры VS13 и VS27, закоротив при этом верхние мосты. Для реализации режима поочередной работы двух печей был разработан и добавлен в систему управления контролер времени работы двух печей (КВПП) и схема коммутации (СК) обратных связей по выходному напряжению (U_{vf1} и U_{vf2}) и сигналов управления (U_{y13} , U_{y18} , U_{y27} , U_{y32}) для переключающих тиристоров. Автоматическое включение необходимых переключающих тиристоров для питания то одной печи, то другой с заданным временным интервалом ($t_{\text{зад}}$) осуществляется после того как преобразователь снизит мощность до нуля. Контролер времени настроен таким образом, что предельные временные соотношения от фиксированного (2 мин) временного интервала работы для первой печи составляет 10 %, соответственно для второй 90 % и наоборот. Если требуется работа только с одной любой печью, контроллер времени блокируется. Режим работы печей задается оператором с пульта сталевара.

Разработанная система управления в 2022 году была успешно введена в эксплуатацию в г. Лутугино на ГП «ЛНПК» в индукционный плавильный комплекс фирмы OTTO JUNKER. Испытания прошли в режиме плавки металла массой 16 тонн на одной печи. В конце плавки многофункциональными цифровыми счетчиками электроэнергии Acuvim II, установленными на входе обоих выпрямителей для мониторинга работы комплекса, были зафиксированы следующие показатели: питающие входные линейные напряжения 655 В, потребляемая мощность по каждому выпрямителю 1,92 МВт, суммарная 3,84 МВт, входной линейный ток обоих выпрямителей 1,98 кА. При этом инверторами тока на индукторе сформировалось напряжение 2600 В и частотой 250 Гц, что соответствует заявленным техническим показателям.

Выводы. Разработанная система управления реализована по принципу автоматической подстройки частоты, с функциями ограничения по входному току и выходному напряжению, с плавным пуском и остановкой преобразователя и контролем времени работы печей. Алгоритм работы системы управления позволяет работать комплексу в двух режимах: как с любой одной печью с регулированием мощности от 0 до 4 МВт, так и поочередно с двумя печами с регулируемым временным интервалом между работой двух печей с максимальной мощностью или с независимым регулированием мощности для каждой печи.

Список литературы

1. OTTO JUNKER [Электронный ресурс] . — Режим доступа: <https://www.otto-junker.com/ru/>.
2. Зайцев, А. И. Силовая промышленная электроника : учеб. пособ. Ч. 2 / А. И. Зайцев, А. С. Плехов. — Воронеж : Научная книга, 2007. — 124 с.
3. Силкин, Е. М. Реализация и способы управления вентилями в инверторах тока преобразователей частоты для установок индукционного нагрева и плавки металлов / Е. М. Силкин // Силовая электроника. — 2007. — № 3. — С. 108–114.