

УДК 621.316

В.Д. Акиншин, д.ф.-м.н., проф., В.М. Гвоздь, к.т.н., доц., А.Г. Баракин, к.т.н., доц.,
О.В. Квашнина, к.т.н., доц., В.А. Марченко
Академия пожарной безопасности имени Героев Чернобыля

ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОГЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СИНТЕЗА АММИАКА

С целью повышения техногенной безопасности технологического процесса синтеза аммиака разработана система автоматического управления технологическим процессом пуска колонны синтеза аммиака, исследованы и оптимизированы регулировочные характеристики преобразователя напряжения.

Ключевые слова: техногенная безопасность, синтез аммиака, технологический процесс, регулятор напряжения.

Постановка проблемы. Химические предприятия Украины, связанные с переработкой природного газа и синтезом аммиака, являются потенциально опасными объектами. Не все элементы технологического процесса синтеза аммиака обладают должной устойчивостью и надежностью в нормальных условиях работы, поэтому существует опасность возникновения чрезвычайных ситуаций и катастроф. Даже небольшие аварии способны привести к людским потерям и тяжелым экологическим последствиям. В общем случае последствия аварии могут проявляться не только в рабочей зоне, но и за ее пределами. Так, при возникновении аварии и разгерметизации колонны, облако зараженного воздуха может распространяться на десятки километров, вызывая поражения населения. Аммиак является одним из наиболее распространенных и, следовательно, опасных для городского населения промышленных сильнодействующих ядовитых веществ. Острое отравление газообразным аммиаком характеризуется клинической картиной различной степени тяжести, варьируемой от простого раздражения слизистых оболочек до смерти.

В настоящее время, процесс получения аммиака проводят в колоннах синтеза при следующих условиях: температура 500°C , давление 350 атмосфер, катализатор. Выход на рабочую температуру осуществляется с помощью трехфазного электронагревателя установленной мощностью 1500 кВт, размещенного в колонне синтеза. Существующие схемы электропитания не предусматривают автоматического регулирования температуры внутри колонны, что может привести к авариям электронагревателя [1] и вынужденной разгерметизации колонны. В настоящее время при эксплуатации электронагревателя колонны синтеза аммиака при остановке технологического процесса и повторном включении электронагревателя сопротивление изоляции между нагревательными элементами, а также между нагревательными элементами и оболочкой колонны резко уменьшается из-за повышения влажности катализатора. Величина изоляции, вместо предусмотренной по техническим условиям 200 кОм, уменьшается в десятки тысяч раз, и становится равной десяткам, а иногда и единицам Ом. Включение электронагревателя на полное напряжение при сниженном сопротивлении изоляции приводит к аварийному режиму и выходу из строя электронагревателя.

Это становится причиной простоя технологического оборудования и значительным материальным затратам на ремонт или замену электронагревателя, кроме того происходят выбросы в атмосферу ядовитых химических соединений.

Анализ последних достижений и публикаций.

Требования, предъявляемые к электрооборудованию, которое используется в пожароопасных и взрывоопасных зонах подробно рассматриваются в нормативных документах [1,2]. Предлагаются различные методы регулирования силового напряжения на нагрузке [3,4,7], однако, непосредственно применить их для электронагревателя колонны

синтеза амміака не представляється можливим из-за необхідності включення преобразователя напруги на вторичній стороні силового трансформатора. Однак це реалізувати не представляється можливим, так як силовий трансформатор розташований на колонні синтезу амміака в агресивній середі. Крім того, ток навантаження трансформатора становить 1800 А. Обезпечити надійну роботу тиристорного регулятора перемінного напруги в хімічно агресивній середі при широкому діапазоні зміни температури і вологості дуже складно.

Постановка задачі і її рішення. Покращення техногенної безпеки пуску колонні синтезу амміака може бути досягнуто шляхом розробки оптимального алгоритму управління пуском і синтезом системи автоматичного регулювання температури з заданими критеріями якості. Єдиним способом рішення цієї задачі є поступове підвищення напруги живлення на електронагрівателі. Це дасть можливість на зниженому напруги зменшити вологість всередині колонні і потім забезпечити безаварійний пуск колонні синтезу амміака [5,6].

Изложение основного материала исследования.

В публикациях [5,6] авторами был предложен и разработан силовой тиристорный регулятор напряжения, позволяющий в широком диапазоне регулировать высоковольтное напряжение на трехфазном силовом трансформаторе.

На рис. 1 представлена система автоматического регулирования (САР) температуры с одновременным контролем давления внутри колонны синтеза аммиака.

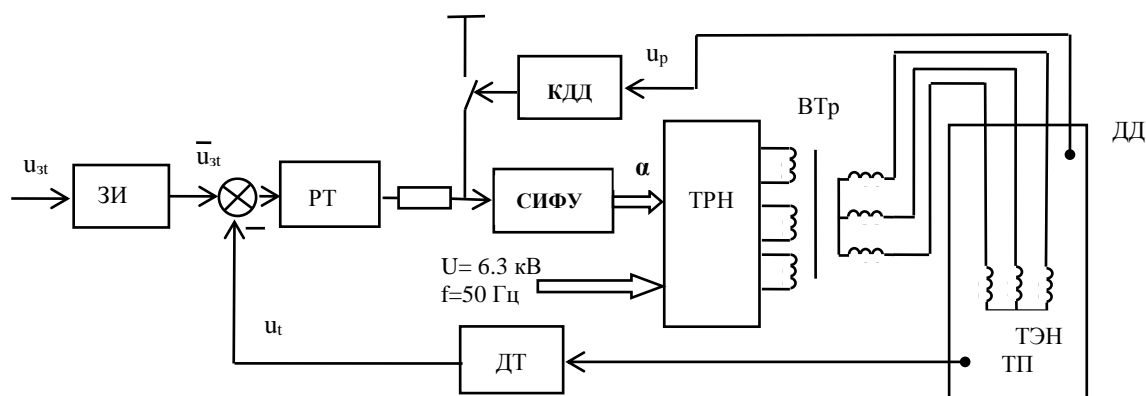


Рисунок 1 – Система автоматического регулирования температуры колонны синтеза аммиака.

На вход САР от контроллера подается сигнал задания температуры в колонне $u_{ст}$. Для исключения режима короткого замыкания из-за высокой влажности в колонне при пуске [5] на входе САР стоит датчик интенсивности изменения температуры (ЗИ). Такое решение позволяет просушить тепловые элементы электронагревателя (ТЭН), тем самым исключить режим короткого замыкания. САР замкнута по температуре. Внутри колонны находится термопара (ТП), измеряющая температуру среды, сигнал с которой поступает на датчик температуры (ДТ), являющийся дифференциальным усилителем. С выхода регулятора температуры (РТ) сигнал ошибки поступает на систему импульсно-фазового управления (СИФУ). СИФУ выполнена одноканальной, во избежание несимметрии в выходном напряжении (u^*) тиристорного регулятора напряжения (ТРН), что может привести к появлению постоянной составляющей в выходном напряжении ТРН, и, как следствие этого, к быстрому намагничиванию высоковольтного трансформатора (ВТр) и возникновению аварийного режима в системе [6].

Кроме регулирования температуры осуществляется контроль рабочего давления внутри колонны с помощью датчика давления (ДД).

Контроллер датчика давления (КДД) при достижении рабочих значений давления внутри колонны обнуляет сигнал на входе СИФУ, тем самым выключает из работы ТЭН. В результате этого прекращается дальнейший рост температуры внутри колонны и, как

следствие этого, рост давления. При температуре 500⁰ С и давлении 350 атмосфер наступает равновесие реакции синтеза аммиака.

Действующее напряжение на выходе ТРН, а также его минимальное значение будем выражать в относительных единицах по отношению к номинальному напряжению на нагрузке, которое может обеспечить данный регулятор. В диапазоне регулирования выходного напряжения выполняется следующее соотношение:

$$1 \geq U^* \geq U_{\min}^* \quad (1)$$

Здесь и далее звездочка в индексе указывает на относительное значение; $1/U_{\min}^*$ определяет диапазон регулирования действующего значения выходного напряжения. Временные диаграммы, представленные на рис. 2, поясняют процесс регулирования выходного напряжения на нагрузке при различных значениях сигнала управления U_o^* .

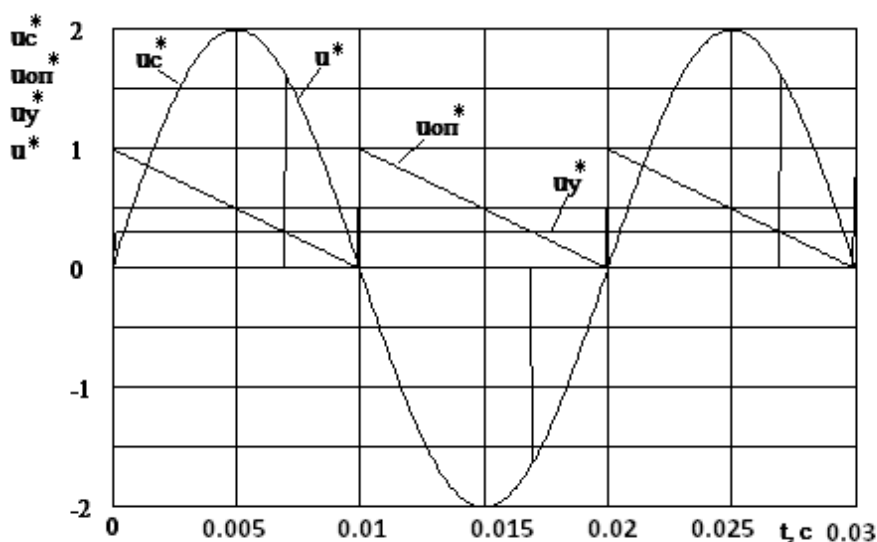


Рисунок 2 – Временные диаграммы ТРН с вертикальным принципом управления.

На временных диаграммах приняты следующие обозначения: u_c^* - напряжение питающей сети; u^* - выходное напряжение преобразователя; u_n^* - опорное напряжение системы импульсно-фазового управления; u_y^* - напряжение управления.

Максимальный диапазон регулирования напряжения равен 20, при этом диапазон изменения мощности на ТЭН составит 400, эта величина вполне достаточна для обеспечения безаварийного выхода колонны на рабочий режим. На максимальном диапазоне регулирования выходное напряжение равно 0,315 кВ, а мощность в нагрузке 3,75 кВт.

Определим действующее значение приведенного напряжения на нагрузке для различных моментов включения тиристоров:

$$U^* = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_1}^T \sin^2 \omega t dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \left(\frac{1}{2} t - \frac{1}{4\omega} \sin 2\omega t \right) \Big|_{t_1}^T} \quad (2)$$

С учетом того, что дискретность работы преобразователя $T=0,01$ с выражение для приведенного действующего значения напряжения на нагрузке принимает вид:

$$U^* = \sqrt{(0,5 - 50t_1 + 0,08 \sin 628t_1)}, \quad (3)$$

где t_1 - момент включения соответствующего тиристора, отсчитанный от момента перехода фазного напряжения через нуль из минуса в плюс.

Регулировочная характеристика преобразователя напряжения $U^* = f(t_1)$, а также его коэффициент передачи по действующему значению выходного напряжения $K_u = U^* / U_y^*$ представлены на рис.3. Регулировочная характеристика преобразователя имеет ярко выраженный нелинейный характер, а коэффициент передачи имеет экстремум при угле управления 90 электрических градусов, причем его величина в заданном диапазоне изменения углов управления изменяется в десятки раз.

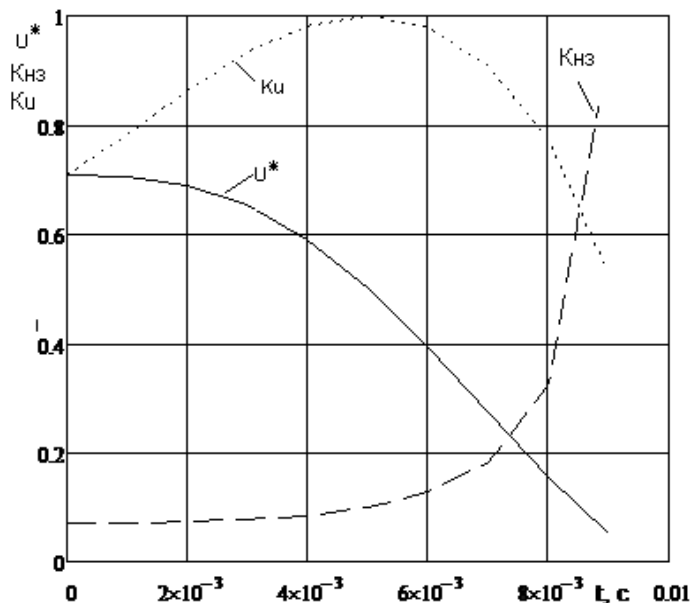


Рисунок 3 – Зависимости выходного напряжения и коэффициента передачи ТРН.

Линеаризация регулировочной характеристики преобразователя возможна путем изменения вида опорного напряжения или включением на входе СИФУ нелинейного звена, имеющего характеристику, обратную регулировочной характеристике преобразователя. При линейном опорном напряжении предпочтительнее использовать второй способ, т.к. он значительно проще в технической реализации. Функциональная схема системы импульсно-фазового управления ТРН с вертикальным принципом управления в этом случае примет следующий вид (рис.4).

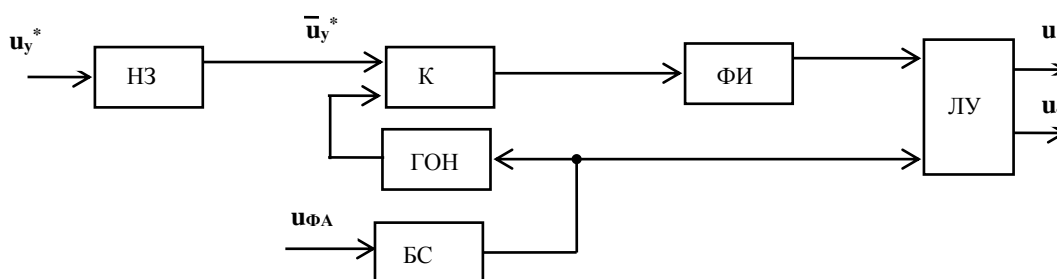


Рисунок 4 - Функциональная схема СИФУ.

Фазное напряжение $U_{\Phi A}$, синхронизирующее работу СИФУ, поступает с трансформатора синхронизации на блок синхронизации (БС), который формирует прямоугольные импульсы синхронизации, соответствующие зонам работы тиристорov. Генератор опорного напряжения (ГОН) формирует пилообразное опорное напряжение. На

компараторе (К) происходит сравнение опорного напряжения и сигнала управления, которое подается на компаратор с нелинейного звена. Формирователь импульсов формирует прямоугольные импульсы управления для встречно параллельно включенных тиристоров одной фазы. В логическом устройстве (ЛУ) прямоугольные импульсы управления распределяются по тиристорам в соответствии с сигналами из блока синхронизации. Коэффициент передачи нелинейного звена в зависимости от момента включения соответствующего силового ключа будет иметь вид:

$$K_{нз} = \frac{1}{\sqrt{(0,5 - 50t_1 + 0,08 \sin 628t_1)}} . \quad (4)$$

Кривая изменения $K_{нз} = f(t_1)$ представлена на рис.3.

Техническую реализацию нелинейного звена лучше выполнить на цифровых элементах, так как при его аналоговом выполнении будет достаточно большая погрешность.

Выводы.

В работе доказана возможность реализации безаварийного пуска технологического процесса колонны синтеза аммиака даже при сниженном сопротивлении изоляции и при повышенной влажности катализатора в середине колонны. Проведен синтез системы автоматического регулирования температуры среды в колонне синтеза аммиака при постоянном контроле давления.

Получена регулировочная характеристика действующего значения выходного напряжения преобразователя от сигнала управления и коэффициента передачи тиристорного регулятора напряжения. Предложен метод линеаризации регулировочной характеристики преобразователя путем установки нелинейного звена в канале сигнала управления. Получено аналитическое выражение для коэффициента передачи нелинейного звена.

Перспективы дальнейших исследований. Для выяснения влияния преобразователя на питающую сеть необходимо определить установившиеся спектральные характеристики, т.е. амплитуды, частоты и фазы их составляющих для различных моментов включения силовых ключей. Спектральные характеристики кривых выходного напряжения и тока описывают технические свойства преобразователя. Практически важно определить коэффициент искажения входного тока, коэффициент сдвига фаз на входе, коэффициент мощности на входе, относительные амплитуды и частоты искажающих составляющих.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила улаштування електроустановок. Четверте видання, перероблене й доповнене — Х.: Вид-во «Форт», 2011.— 736 с.
2. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Київ, 1998. — 380 с.
3. Gyugyi L., Pelly B. Static Power Frequency Changers: Theory, Performance, and Application. — New York, John. Wiley and Sons, 2004. — 442 с.
4. Pelly B. Thyristor Phase-Controlled Converters and Cycloconverters: Operation, Control, and Performance. — New York, John. Wiley and Sons, 1997. — 434 с.
5. Баракін А.Г. Повышение безопасности производства аммиака / А.Г. Баракін, О.В. Квашнина, А.И. Кулинич // XII Науково-методична конференція. Одеса 2008.—С. 26-28.
6. Баракін О.Г. Система фазового управління електронагрівача колони синтезу аміаку / О.Г. Баракін, О.В. Квашнина // Вісник інженерної академії України № 2, 2012. — С. 275-278.
7. R. Carbone, P. Corsonello, M. Fantauzzi, A. Scappatura: “Power Factor Correctors for Single-phase Rectifiers: a Comparative Performance Analysis”. 3th IASTED Intern. Conf. EUROPES 2003, September 3-5, 2003, Marbella, Spain.