

Особенности использования преобразователя частоты для регулирования производительности центробежных компрессоров с электроприводом

Я.З. Гузельбаев, Е.Р. Ибрагимов, Б.М. Лившиц (ОАО «Казанькомпрессормаш». Группа ГМС),
А.Т. Лунев (ЗАО «НИИтурбокомпрессор им. В.Б. Шнеппа». Группа ГМС)

niitk@kazan.ru

Приведен перечень задач, которые необходимо решить при использовании преобразователя частоты в эксплуатируемых центробежных компрессорах без смены приводного электродвигателя, а также результаты анализа газодинамических характеристик компрессоров, широко используемых в промышленности.

Ключевые слова: компрессоры, преобразователи частоты, регулирование производительности, газодинамические характеристики.

The frequency converter application features in performance management of operated electric-driven centrifugal compressors
Y.Z. Guzelbaev, E.R. Ibrahimov, B.M. Livshitz; A.T. Lunev

The paper provides a list of tasks to be solved in application of the frequency converter with operated centrifugal compressors without change of the electric motor drive, as well as the analysis results of the gas-dynamic characteristics of the compressors widely applicable in the industry.

Keywords: compressors, frequency converters, performance management, gas-dynamic characteristics.

В последние годы созданы преобразователи частоты (ПЧ) для электродвигателей мощностью от единиц килоВатт до десятков мегаВатт частотой 5...50 Гц с высокими электрическими характеристиками. Производители ПЧ настойчиво предлагают применять их, обещая высокую эффективность.

Рассмотрим, какие проблемы возникнут у эксплуатирующих организаций при установке ПЧ на электродвигатели центробежных компрессоров, спроектированных для работы с постоянной частотой вращения.

Первая проблема связана с используемым методом получения частоты, отличной от питающей (50 Гц).

Переменное напряжение питания в выпрямителе преобразуется в постоянное, которое далее коммутируется с требуемой частотой $f_{\text{зад}}$ и через фильтр подается на электродвигатель (рис. 1).

Из рис. 2 видно, что коммутируемое переменное напряжение намного отличается от требуемого синусоидального напряжения, и эта разница является в чистом виде потерями, уменьшающими КПД электродвигателя и ПЧ.

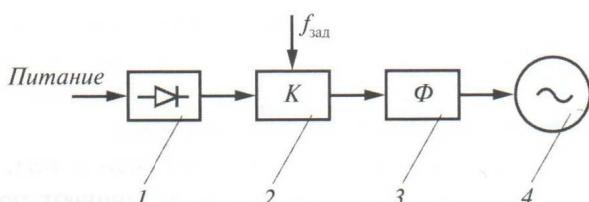


Рис. 1. Блок-схема преобразователя частоты:
1 – выпрямитель; 2 – коммутатор; 3 – фильтр; 4 – электродвигатель

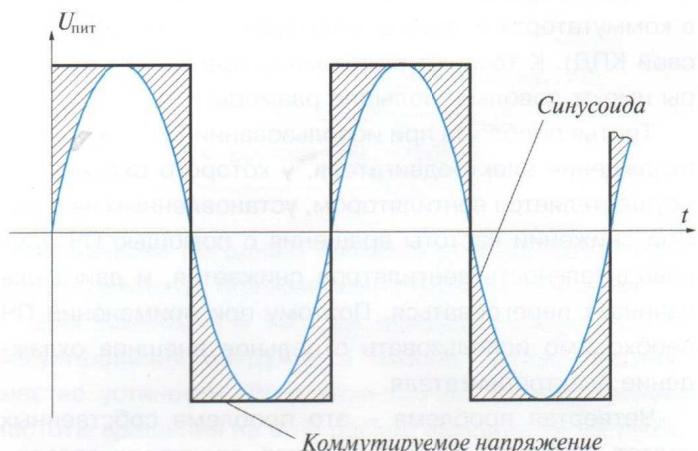


Рис. 2. Форма выходного напряжения простейшего коммутатора (напряжение питания в зависимости от времени)

Для уменьшения этих потерь создатели ПЧ применяют сложные многоуровневые коммутаторы, которые приближают выходное напряжение ПЧ к синусоиде (рис. 3), но «ступеньки» все же остаются.

Вторая проблема – ограниченные возможности коммутаторов по предельному напряжению (единицы кило-Вольт). Если электродвигатель предназначен для питания напряжением 10 кВ, то на входе ПЧ необходимо поставить понижающий трансформатор, который уменьшает напряжение до допустимой величины работы полупроводникового коммутатора, а на выходе ПЧ – повышающий трансформатор для повышения напряжения до соответствующего паспортным данным электродвигателя. В последнее время появились

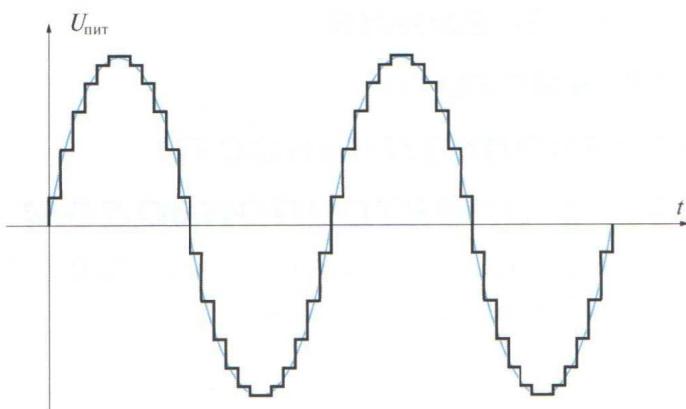


Рис. 3. Форма выходного напряжения многоуровневого коммутатора

силовые полупроводниковые приборы, рассчитанные на более высокое напряжение, но выходной трансформатор, как правило, все равно устанавливается, так как он одновременно выполняет роль фильтра, отсекая высокочастотные составляющие спектра питающего напряжение на выходе из ПЧ.

Таким образом, с применением ПЧ связаны потери в коммутаторах и трансформаторах (последние имеют свой КПД). К тому же высоковольтные трансформаторы имеют довольно большие размеры.

Третья проблема при использовании ПЧ – проблема охлаждения электродвигателя, у которого охлаждение осуществляется вентилятором, установленным на валу. При снижении частоты вращения с помощью ПЧ производительность вентилятора снижается, и двигатель начинает перегреваться. Поэтому при применении ПЧ необходимо использовать отдельное внешнее охлаждение электродвигателя.

Четвертая проблема – это проблема собственных частот роторной системы: ротор электродвигателя–муфта–тихоходный вал мультипликатора–выходной вал мультипликатора–муфта–ротор центробежного компрессора. В зависимости от числа корпусов число роторов компрессора может варьироваться от одного до трех. Роторы большинства современных центробежных компрессоров имеют частоты вращения, которые лежат между первой и второй критическими частотами. Когда создаются компрессорные установки с приводом от газотурбинного двигателя либо от паровой турбины, «запас по критике» всегда проверяется и обеспечивается устойчивая работа во всем диапазоне изменения частот вращения привода путем выбора числа и диаметра центробежных колес, конструкции опор, выбора материалов динамических узлов и т.п. Изменение указанных конструктивных элементов приводит, в свою очередь, к изменению газодинамических характеристик. При данном подходе путем расчета множества вариан-

тов решаются задачи динамики и газодинамики (одновременно решаются вопросы обеспечения прочности всей конструкций и ее узлов). При создании центробежного компрессора с электроприводом с постоянной частотой вращения подобные расчеты динамики, как правило, не проводятся.

Таким образом, при применении ПЧ на компрессорах, созданных для электродвигателя с неизменной частотой вращения, необходимо провести расчеты динамики роторных систем, определить критические частоты вращения, а система управления должна исключать работу на выявленных критических частотах.

Пятая проблема – создатели ПЧ, как правило, предлагают несколько вариантов работы с электродвигателем: поддержание постоянного крутящего момента, поддержание постоянной отдаваемой мощности либо изменение этих параметров по определенному закону в зависимости от частоты. Потребитель должен определиться и выбрать один из вариантов.

Шестая проблема (самое главное) – необходимо проанализировать, как изменятся газодинамические характеристики центробежного компрессора (ЦК) при изменении частоты вращения ротора электродвигателя с ПЧ. При создании ЦК с электроприводом с постоянной частотой вращения ставится задача получения максимального КПД установки и эффективного обеспечения всех режимов технологического процесса с использованием имеющихся в составе установки регулирующих органов: дроссельной заслонки на всасывании либо входного направляющего аппарата, и байпасного клапана. Вопрос: «Что происходит с газодинамическими характеристиками ЦК при изменении частоты вращения?» – перед разработчиком не ставится.

Для ответа на этот вопрос были проведены расчеты характеристик десяти эксплуатируемых ЦК при изменении частоты вращения (см. таблицу). Проведенные расчеты носят оценочный характер, и поэтому принято допущение: для расчетной точки принята частота вращения ротора ЦК после мультипликатора при частоте вращения ротора электродвигателя 3 000 об/мин (для синхронного электродвигателя). Проведен анализ границ возможного изменения частоты вращения (от расчетного значения), при этом нижняя граница определяется границей помпажа, а верхняя – максимальной мощностью, потребляемой компрессором, которая ограничивается расположенной мощностью электродвигателя. Одновременно определялись и границы изменения расхода.

Указанное допущение принято в связи с тем, что поставщики электродвигателей не разрешают повышение частоты питающей сети более 50 Гц, а в проведенных расчетах верхняя граница частоты со знаком «+», означает превышение частоты питающей



Марка ЦК	Частота вращения ротора ЦК		Расход газа	
	В расчетной точке, об/мин	Пределы изменения, %	В расчетной точке, м ³ /мин	Пределы изменения, %
КТК-12,5/35	13 600	-1,5...+4,5	188	-18,1...+17
4ГЦ2-109/18-76	11 406	-23,4...+22	124	-16,1...+11,3
43ГЦ2-100/5-110	11 318	-31,...+7,3	110	-21,8...+4,5
КТК-7/14	13 648	-2,5...+1,8	127	-25...+10
4ГЦ1-200/3,5	9 546	-5,7...+10	210	-28,6...+23,8
543 ЦК-440/35	9 600	0...+6,25	446	0...+16,1
ХТК-2,5/3,5	11 200	-10,7...+5,3	45	-48,9...+17,7
32ВЦ-100/9	25 010	0...+8	102	0...+20
43ВЦ-160/9	19 396	-1...+3	159	-5...+17
211ГЦ2-75/5,3-115	18 811	-4,3...+3,7	73	-34...+13

Для сравнения: пределы изменения частоты вращения погружного насоса -20...+40%, расхода -50...+100%

сети. В то же время поставщики ПЧ предлагают пределы изменения частот на выходе 5...50 Гц. На рынке предлагаются также ПЧ с нижней частотой до 1 Гц, а с верхней – до 100 Гц и более. При проработке возможности увеличения частоты питающей сети на выходе ПЧ, целесообразно согласовать этот вопрос с поставщиком электродвигателя.

Из таблицы видно, что для компрессоров КТК-12,5/35; КТК-7/14; 543ЦК-440/35; 32ВЦ-100/9; 43ВЦ-160/9 пределы изменения частоты вращения сопоставимы с точностью измерения частоты вращения в условиях эксплуатации, а пределы изменения расхода при этом (суммарно) незначительны, поэтому использование ПЧ для этих компрессоров нецелесообразно. Для остальных компрессоров пределы изменения расхода также невелики. Наиболее широкий диапазон регулирования расхода имеют хлорные компрессоры ХТК-2,5/3,5 и кислородные компрессоры 4ГЦ1-200/3,5.

Хотя в соответствии с теоретическими основами при изменении давления, температуры или состава компримируемого газа регулирование параметров ЦК изменением частоты вращения является самым эффективным, для рассматриваемых компрессоров, имеющих дроссельные заслонки и байпасные клапаны,

экономически выгодным является регулирование производительности без изменения частоты вращения.

Для сравнения в таблице приведены возможности регулирования погружного насоса. Видно преимущество установки ПЧ в этом случае: при изменении частоты вращения на 60% расход изменяется на 150%. Очевидно, получив хорошие результаты при внедрении ПЧ на насосах, создатели ПЧ полагают, что такие же результаты получатся и на ЦК.

В настоящей статье не рассматриваются варианты по использованию высокочастотных электродвигателей и ПЧ на частоты более 50 Гц (3 000 об/мин), вплоть до обеспечения рабочих частот вращения роторов компрессоров (более 9 000 об/мин) и позволяющих исключить мультипликатор. Это решение сразу наталкивает на мысль использования электромагнитных подшипников и газодинамических уплотнений, т.е. безмасляных «сухих» компрессоров. Материалы по этим вопросам излагались в публикациях, в том числе и в журнале «Компрессорная техника и пневматика». Но необходимо подчеркнуть еще раз, что в центробежных компрессорах использование ПЧ требует проведения специальных расчетов для определения целесообразности и эффективности их применения.