

Стабилизация воздушного потока с помощью модуля «ВЕНТИМ-1003»

Владимир ШАШИН
imteh@imteh.ru

Известная немецкая фирма ebm-papst (ebm-papst Mulfingen GmbH & Co. KG — www.ebmpapst.com) — мировой лидер по производству вентиляторов на синхронных двигателях с магнитами и выпускает ряд управляемых центробежных вентиляторов постоянного тока, различных по мощности и конструкции (рис. 1).

В них управляющее напряжение (это 0–10 В постоянного напряжения или ШИМ) позволяет почти линейно переходить с одной характеристики на другую. Это, плюс внешний сигнал скорости двигателя от встроенного в него датчика Холла, превращает вентиляторы в механизмы, с помощью которых можно управлять воздушными потоками по различным алгоритмам. Основная сфера их применения — оборудование, в котором необходима стабилизация давления или потока воздуха. Специально для этих целей фирма ebm-papst серийно выпускает ряд модулей управления, состоящих из блока питания и контроллера, стабилизирующего статическое давление или поток воздуха. В распространенных моделях этих модулей (например, CNW 015-AB02-13) режим стабилизации давления или потока можно выбрать с помощью переключателя, а стабилизируемую величину установить с помощью потенциометра. Самое интересное то, что к этим модулям не подключаются никакие датчики давления, есть всего лишь провода, идущие к двигателю и в питающую сеть. Некоторое время назад фирма ЗАО «ИМТЕХ» получила ТЗ на разработку аналога такого модуля, решила эту задачу и освоила его производство. Модуль для вентиляторов фирмы

ebm-papst получил название «ВЕНТИМ-1003» (рис. 2). Летом 2006 года он был продемонстрирован в работе вице-президенту компании ebm-papst в сборочном цехе предприятия «ИМТЕХ». Немецкий коллега оценил увиденное фразой «Это новое слово!», сказанной на чистом русском языке.

Заказчиком этой разработки была фирма — производитель оборудования для очистки воздуха, в частности ламинарных боксов. Оно предназначено для чистых помещений, в том числе медицинских лабораторий, и используется для защиты оператора и продукта от загрязненного воздуха. При этом применяется метод очистки воздуха от пыли и микробных аэрозолей с помощью HEPA фильтров тонкой очистки. В боксе необходимо стабилизировать скорость воздуха в рабочей зоне после фильтра, то есть она не должна зависеть от степени его загрязненности. Устанавливаемый заказчиком модуль управления

ebm-papst с этой задачей успешно справлялся, но все же оставались нерешенными некоторые проблемы. В связи с этим и появилось ТЗ на разработку аналога модуля управления вентилятором-«улиткой» ebm-papst, адаптированного под использование в ламинарных боксах.

Заказчик искал любые возможности снижения себестоимости своих изделий и увеличения их функциональности. Поэтому первым пунктом ТЗ было условие, что стоимость нового модуля вместе с панелью управления должна быть меньше или равна стоимости немецкого модуля. Панель управления должна была выполнять такие задачи, как установка скорости потока, включение двух люминесцентных ламп бокса, а также сообщать о состоянии фильтра. И еще одно условие: наличие лампового балласта для двух люминесцентных ламп, включающихся попеременно. И еще, модуль должен был осуществлять



Рис. 1. Центробежный вентилятор с прямотоковыми лопатками типа D1G146-AA33-52

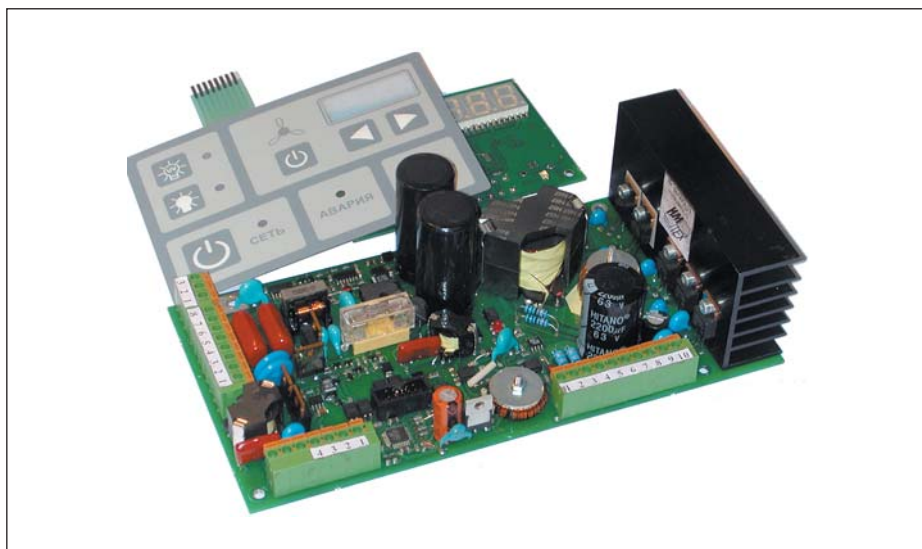


Рис. 2. Модуль «ВЕНТИМ-1003» с панелью индикации

питание и управление не одного, а двух вентиляторов одновременно, то есть мощность его источника питания должна была быть в полтора раза больше, чем у устанавливаемого заказчиком немецкого модуля. Взявшись за решение поставленной задачи, мы прекрасно осознавали то, что выигрыш в цене в этом деле можно получить только при использовании относительно дешевых и распространенных компонентов. Получалась известная ситуация, когда производимое в нашей стране небольшими сериями изделие должно было быть не только значительно дешевле производимого серийно за рубежом аналога, но и лучше его по параметрам. Заказчик, конечно, отдавал себе отчет в том, что такое возможно только в исключительных случаях, иначе этой разработки просто не было бы.

Разрабатываемое устройство структурно сразу разделили на четыре большие части: источник питания, контроллер управления двигателем, ламповый балласт и панель индикации. Для минимизации себестоимости нужно было хорошо сделать их объединение на аппаратном уровне, полностью исключив дублирование узлов. Очень важно было обеспечить надежность устройства, потому что ламинарный бокс всегда подключен к питающей сети и предназначен для непрерывной работы. Окончательная структурная схема получившегося модуля показана на рис. 3.

В первую очередь разрабатывался источник питания. Требовалось постоянное напряжение +54 В без нагрузки и +48 В при полной нагрузке 260 Вт и цепи измерения тока и напряжения для последующей обработки этих величин в микроконтроллере. Как оптимальная для такой мощности была выбрана полумостовая двухтактная схема, в которой вторая диагональ моста заменена электролитическими конденсаторами, с трансформатором на сердечнике RM14 из материала N87 фирмы EPCOS, с рабочей частотой 100 кГц. Силовые транзисторы из соображений максимальной дешевизны были взяты типа IRF840A. Следует отметить, что только их замена на более дорогие аналоги с меньшими потерями на переключение позволяет поднять выходную мощность получившегося источника до 300–350 Вт. В качестве ШИМ-контроллера была выбрана микросхема UC3843ADR. Это однофазный ШИМ с токовым режимом управления. Для того чтобы получить из его выходного сигнала двухфазный ШИМ и управлять ключами полумоста, потребовались драйвер IR2184S, один триггер микросхемы 74НС74 и несколько инверторов на транзисторах. Измерение тока первичной обмотки проводится на трансформаторе тока, сигнал с него поступает на схему токовой компенсации ШИМ-контроллера и компаратор защиты, который выключает источник на время не менее полсекунды, чтобы реализовать режим мгновенной защиты со снижением мощности от короткого замыкания. Выходных обмоток силового трансформатора две — одна главная на +54 В для питания двигателей, вторая до-

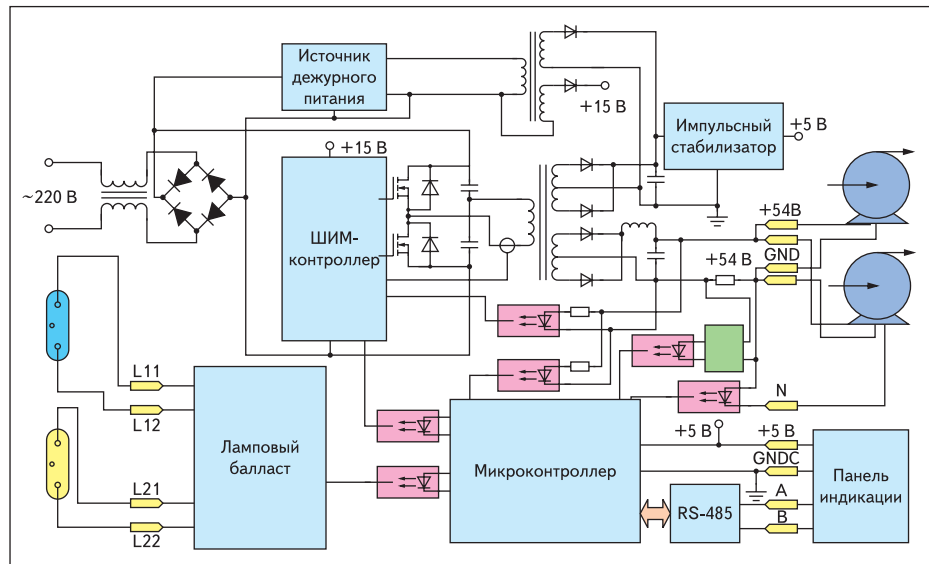


Рис. 3. Структурная схема модуля «ВЕНТИМ-1003»

полнительная на +5 В для питания панели индикации и контроллера двигателя. Мощный источник при неработающих двигателях выключается от микроконтроллера, но работает источник дежурного питания на специализированной микросхеме LNK501P. В его функции входит питание микроконтроллера и дежурное питание панели индикации, когда на ней горит один красный светодиод, и выполняется только опрос клавиш. Этот источник, хотя и занимает на плате место всего 3×1,5 см, — очень важный узел, существенно упростивший реализацию модуля.

Ламповый балласт выполнен на микросхеме IR2520DS. Для него не нужно делать диодный мост и использовать электролитические конденсаторы: это некоторая экономия места и себестоимости.

Перед тем как делать контроллер двигателя, необходимо было сначала понять физические принципы стабилизации потока в данной ситуации, построить модель происходящих процессов и получить алгоритм стабилизации. Об этом расскажем подробнее.

Конечная цель контроллера — это стабилизация потока воздуха в рабочей зоне после фильтра бокса в диапазоне 0,2–0,5 м/с с точностью ±0,05 м/с. Площадь, через которую проходит воздух, постоянна и определяется только размерами бокса. Это значит, что стабилизация потока в данном случае эквивалентна стабилизации производительности вентилятора $A = V/t$ (м³/с — объем перекачиваемого воздуха за определенное время).

Уравнение идеального газа для изотермического процесса выглядит так:

$$(p \times V)/t = E/t,$$

где E — это энергия, передаваемая воздуху вентилятором (Дж), p — статическое давление, создаваемое вентилятором (Па), V — объем перекачиваемого воздуха (м³). $E/t = W$ — это

мгновенная мощность двигателя (Вт). Итак, согласно этому уравнению, воздушный поток равен мощности двигателя, деленной на создаваемое им давление:

$$A = W/p.$$

Посчитать мгновенную мощность двигателя несложно, для этого нужно измерить потребляемый им ток и напряжение питания и их перемножить. А вот для того, чтобы без датчика вычислить величину давления, нужно вспомнить о том, что для ламинарных потоков газа справедлив закон Бернулли. Его можно выразить в виде формулы:

$$\rho v^2/2 + \rho gh + p = const,$$

где ρ — плотность газа, v — скорость потока, h — высота, на которой находится жидкость или ламинарный газ, p — давление. Для центробежного вентилятора будем считать величины h и ρ постоянными, такое упрощение можно сделать с учетом наличия у него направляющего воздух внешнего кожуха и прямых лопаток. Скорость потока v здесь, в уравнении Бернулли, — это угловая скорость вращения двигателя, равная $v = 2\pi n$, где n — частота вращения двигателя (об/с).

Заменяя давление частотой вращения в выражении воздушного потока, получаем:

$$A = \frac{W}{K_1 - 2\rho\pi^2 n^2} = \frac{I \times V}{K_1 - K_2 n^2},$$

где K_1 и K_2 — константы, зависящие только от конструкции вентилятора.

Получилась довольно простая формула, которую можно легко запрограммировать в микроконтроллер, и три измеряемые величины — это ток и напряжение двигателя и частота его вращения. Правильность этой простой формулы была подтверждена экспе-

риментально, коэффициенты в ней были найдены, а самый сложный момент оказался связан с точностью измерения частоты вращения и тока двигателя. Дело в том, что ее колебания достигают до 50% от среднего значения и возникают из-за турбулентности, нарушения закона Бернулли. Возведение значения этих колебаний в квадрат многократно увеличивает ошибку ПИД-регулятора и практически сводит поставленную задачу стабилизации к созданию эффективных алгоритмов фильтрации сигнала частоты вращения вентилятора. Все эти задачи были решены, причем постоянная времени ПИД-регулятора нашего модуля значительно меньше, чем у немецкого аналога, что оказалось востребованным в ламинарных боксах — теперь переход с одной скорости на другую там происходит практически мгновенно, без колебательного процесса. Это же свойство делает вентилятор с модулем «ВЕНТИМ-1003» очень чувствительным к изменениям внешней обстановки. Например, достаточно закрыть шторку ламинарного бокса или же, еще проще, поднести руку к работающему на стенде вентилятору, как на панели индикации зажгутся светодиоды, сигнализирующие об изменении нагрузки, а сам воздушный поток, обдувающий руку, никак не изменится. На рис. 4 приведены характеристики модуля «ВЕНТИМ-1003», стабилизиру-

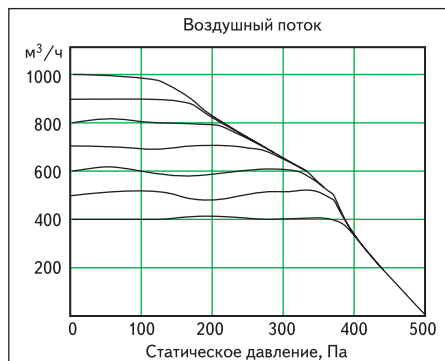


Рис. 4. Характеристики стабилизации потока воздуха модуля «ВЕНТИМ-1003» с одним двигателем D1G146-AA33-52

ющего поток одного двигателя типа D1G146-AA33-52. Скорости воздуха 0,2 м/с в рабочей зоне ламинарного бокса соответствует поток 400 м³/ч, а скорости 0,5 м/с — поток 1000 м³/ч.

Для модуля была разработана панель индикации и управления, получившая название «ВЕНТИМ-1004», обмен данными между ней и модулем «ВЕНТИМ-1003» реализован с помощью протокола RS-485.

Характеристики модуля «ВЕНТИМ-1003»:

- Выходные напряжения источника питания: +54 В $\pm 1-10\%$ и +5 В $\pm 1\%$.

- Входное напряжение: 140–250 В АС или 200–350 В DC.
- Выходная мощность источника питания: 260 Вт по +54 В и 5 Вт по +5 В.
- Частота преобразователя источника питания: 100 кГц.
- Защита от короткого замыкания: мгновенная со снижением мощности.
- Дежурный режим с полным выключением источника — +54 В и со снижением максимальной мощности источника +5 В до 1 Вт.
- Размер модуля: 210×105×50 мм.
- Уровень шумов постоянных напряжений источника питания: менее 200 мВ.
- Эффективность преобразования: 80%. ■

Литература

1. Коршунов А. Упрощенная математическая модель синхронного двигателя с возбуждением постоянными магнитами // Силовая электроника. 2008. № 2.
2. Вихарев А. Вентиляторы для радиоэлектронной аппаратуры // Современная электроника. 2006. № 5.
3. Березин О. К., Костиков В. Г., Шахнов В. А. Источники электропитания радиоэлектронной аппаратуры. М.: Три Л, 2000.
4. www.ebmpapst.ru
5. www.imteh.ru