

VVC

О ШУМАХ И ВИБРАЦИЯХ ВЕНТИЛЯТОРОВ

Оренбург

Оглавление

<u>1. СОСТАВЛЯЮЩИЕ ШУМОВ И ВИБРАЦИЙ ВЕНТИЛЯТОРОВ, ИХ ОЦЕНКА, ИЗМЕРЕНИЕ</u>	4
<u>1.1. Основные понятия о составляющих шумов и вибраций вентиляторов</u>	4
<u>1.2. Простейшие доступные способы оценки и измерения шумов и вибраций вентиляторов</u>	11
<u>1.2.1. С помощью простейших измерительных средств</u>	11
<u>1.2.2. На слух</u>	12
<u>1.2.3. На ощупь</u>	14
<u>2. ИСТОЧНИКИ ШУМА И ВИБРАЦИЙ В ВЕНТИЛЯТОРАХ</u>	14
<u>2.1. Силы, возбуждающие вибрации и шум</u>	14
<u>2.2. Крыльчатка</u>	15
<u>2.2.1. Вибрации, связанные с дисбалансами крыльчатки, магнита ротора или магнитопровода статора</u>	16
<u>2.2.2. Вибрации и шумы аэродинамического происхождения</u>	18
<u>2.3. Двигатель</u>	24
<u>2.4. Подшипники</u>	29
<u>2.4.1. Подшипники качения</u>	30
<u>2.4.2. Подшипники скольжения</u>	32
<u>2.5. Вибрации с комбинационными частотами</u>	33
<u>3. УМЕНЬШЕНИЕ ШУМОВ И ВИБРАЦИЙ ВЕНТИЛЯТОРОВ</u>	36
<u>3.1. Выбор вентилятора</u>	36
<u>3.2. Управление скоростью вращения вентилятора</u>	38
<u>3.2.1. Зависимость скорости вращения от напряжения на вентиляторе</u>	39
<u>3.2.2. Отсутствие управления</u>	48
<u>3.2.3. Линейное управление</u>	67
<u>3.2.4. Импульсное управление</u>	77
<u>4. Уменьшение треска и вибраций мотора</u>	77
<u>4.1. Простейшие способы демпфирования и "смягчения" коммутации</u>	78
<u>4.2. Увеличение емкости "смягчающих" конденсаторов и применение интегрирующих RC цепей</u>	83
<u>4.2.1. Влияние увеличения емкости "смягчающих" конденсаторов и интегрирующих RC цепей на работу однообмоточных моторов</u>	84
<u>4.2.2. Влияние интегрирующих RC цепей на работу двухобмоточных моторов</u>	100

4.3. Применение интеграторов на транзисторах	106
4.4. Виброизоляция (амортизация) мотора	117
Приложение А	118
А1 Шум	118
А2 Звук	119
А2.1 Источники звука	119
А3 Вибрация	120
А4 Колебания	120
А5 Тон	121
А6 Обертон	121
А7 Гармоника	122
А8 Гармонический анализ	122
А9 Спектр	122
А9.1 Спектр звука	122
Приложение Б	126
Б1 Устройство вентилятора	127
Б2 Принцип действия	144
Б3 Разновидности схем двухмоточных моторов	158
Б3.1 Моторы на дискретных элементах	158
Б3.2 Моторы на ИМС ATS276 и ее аналогах	159
Б3.3 Моторы на ИМС ATS278	163
Б3.4 Моторы на ИМС ES211	164
Б3.5 Двухмоточные моторы на ИМС с отдельными датчиками Холла	165
Б.4 Разновидности схем одномоточных моторов	167
Б.4.1 Моторы на ИМС ATS477 и ее аналогах	172
Б.4.2 Одномоточные моторы на ИМС с отдельными датчиками Холла	173
Б.5 Схемы моторов с пониженным уровнем шумов и вибраций	175
Б.5.1 Двухмоточные моторы	175
Б.5.2 Одномоточные моторы	178

1. СОСТАВЛЯЮЩИЕ ШУМОВ И ВИБРАЦИЙ ВЕНТИЛЯТОРОВ, ИХ ОЦЕНКА, ИЗМЕРЕНИЕ

1.1. Основные понятия о составляющих шумов и вибраций вентиляторов

Начать стоит с самого главного и, пожалуй, самого запутанного понятия. С "уровня шума" вентилятора.

И если первое слово "уровень" затруднений не вызывает. Амплитуда это. А вот "шум".... Тут не все так просто. Поэтому поподробнее.

ШУМ - беспорядочные колебания различной физической природы, отличающиеся сложностью временной и спектральной структуры.

Шум, независимо от физической природы, характеризуется случайным изменением мгновенных значений величин, описывающих данный процесс, чем он и отличается от периодических колебаний.

Но в быту под шумом понимают звуки, слившиеся в нестройное, обычно громкое звучание, а также разного рода нежелательные акустические помехи и вообще любые звуки, мешающие отдыху или работе.

♦ Отсюда нередко такой шум, мешающий отдыху или работе, представляет собой смесь случайных и периодических колебаний.

Итак, шум это звуки.

ЗВУК, в широком смысле - колебательное движение частиц упругой среды, распространяющееся в виде волн в газообразной, жидкой или твёрдой средах. В узком смысле - явление, субъективно воспринимаемое специальным органом чувств человека и животных.

Источниками шума могут служить любые колебания в твёрдых, жидких и газообразных средах; в технике основные источники шума - различные двигатели и механизмы. Обычно это колебания деталей или механизмов, на границах которых с газовой средой, колебания и звук трансформируются друг в друга, а человек непосредственно воспринимает возникающие звуки.

Человек слышит звук с частотами от 16 Гц до 20 кГц.

В вентиляторах таким источником звуков с ярко выраженной тональностью может быть практически любой вибрирующий конструктивный элемент. К "особо злобным" источникам относятся крыльчатка и корпус.

Для возбуждения колебаний источников звука на них должны воздействовать какие-то динамические (изменяющиеся во времени) силы. Это воздействие может быть непрерывным, периодическим, ударным и т.д.

В паузах между периодическими или ударными воздействиями наблюдаются затухающие колебания ("звон") на собственных (резонансных) частотах источника звука или составляющих его конструктивных элементов.

В вентиляторах такое происхождение имеет звонкий цокот-треск мотора.

Источниками звука могут служить и колебания ограниченных объёмов самой воздушной среды (например, воздуха в органных трубах, свистках и т.п.).

В вентиляторах звуки аэродинамического происхождения вызываются пульсациями давления и скорости потока воздуха в проточной части вентилятора и в примыкающих объемах воздуха, возбуждаются при обтекании элементов воздушного тракта потоком воздуха за счёт образования и отрыва вихрей и т.д.

Эти звуки аэродинамического происхождения представляет собой смесь случайных и периодических колебаний.

Так как силы, возбуждающие вибрации, возникают при взаимодействии воздушного потока с лопастями крыльчатки, с внутренней поверхностью корпуса и спицами крепления мотора к рамке корпуса вентилятора, то звуковые волны возбуждаются как самостоятельно, так и за счет воздействия сил на подвижные и/или неподвижные части вентилятора.

Таким образом, в общем случае шум вентиляторов представляет собой смесь случайных и периодических колебаний.

Поэтому, во-первых, термин "шум" может объединять как звуки с неясно выраженной тональностью, так и звуки определенной высоты с четко выраженной тональностью.

Во-вторых, поскольку эти случайные и периодические колебания имеют разную природу, разные источники и разные способы борьбы с ними, то их настоятельно следует различать.

Поэтому:

1. *♦ К шумам вентилятора будем относить издаваемые им звуки именно с неясно выраженной тональностью, сливающиеся в нестройное звучание. Основа их - шелест воздуха и, в какой-то степени, шум подшипников.*

2. *♦ А вот к вибрациям в отличие от хаотического шума будем относить колебания (звуки) определенной высоты с четко выраженной тональностью. Основа их - вибрации создаваемые мотором, крыльчаткой и, в какой-то степени, вибрации подшипников.*

В-третьих, шум не только физическое явление. Это вообще-то еще и любые звуки, мешающие отдыху человека или его работе. Отсюда восприятие шума для каждого человека в значительной степени лично и субъективно. *Поэтому возможно лучшее определение его - нежелательный звук.*

Вот сколь многогранно понятие "шум".

♦♦ И тут очень важно, что шум имеет две важнейших и взаимосвязанных особенности:

- шум это *психоакустическое явление*, которое определенным образом влияет на людей;
- шум это *физическое явление*, которое может быть измерено и, таким образом, использоваться в технической спецификации.

Например, весьма раздражительное воздействие оказывают модулированные небольшой частотой или "вибрирующие" звуки. Не менее раздражительны шуршащие, шаркающие, скрипящие звуки с широким спектральным составом и большим содержанием высокочастотных составляющих.

Причем ощущение громкости, в общем-то, не соответствует утомляющему и травмирующему действию звуков и шумов. Если ощущение громкости достигает максимума где-то в районе от 1 до 3-5 кГц, то действие звука на нервную систему тем больше, чем выше его частота (вплоть до границы ультразвука).

Ни один прибор неспособен уловить такие тонкости человеческого восприятия.

Поэтому с одной стороны так и ценны анализ, сравнение и оценки шумов и вибраций вентилятора сделанные самим человеком с учетом всех психоакустических тонкостей его

восприятия. Ведь даже вентиляторы практически одинаковые “по приборам” на слух могут с-и-и-и-льно отличаться.

♦♦ И именно поэтому окончательный вердикт шумовым свойствам выносится человеком на основе его личных и, к сожалению, субъективных впечатлений.

С другой стороны, из-за особенностей восприятия звуков и вибраций органами чувств, человек не может точно определить даже интенсивность воздействий. А уж “разложить по полочкам” состав шумов и вибраций вентилятора человеку и вовсе непосильно.

♦♦ Потому для более тонкого представления о шумах вентилятора, анализа их и целенаправленной борьбы с отдельными составляющими используется более тонкое “приборное восприятие”.

Причем для непосредственного восприятия шумов и вибраций вентилятора обычно используются микрофоны, преобразующие звуки в электрический сигнал. Гораздо реже используются различного рода датчики вибраций.

♦ После преобразования шумов и вибраций в электрический сигнал, последний можно записывать, сохранять, сравнивать с другими сигналами и тщательно анализировать полученную информацию либо визуально, либо с помощью специальных приборов.

Записанный с микрофона электрический сигнал (осциллограмма) шумов и вибраций одного из вентиляторов приведен на рисунке.

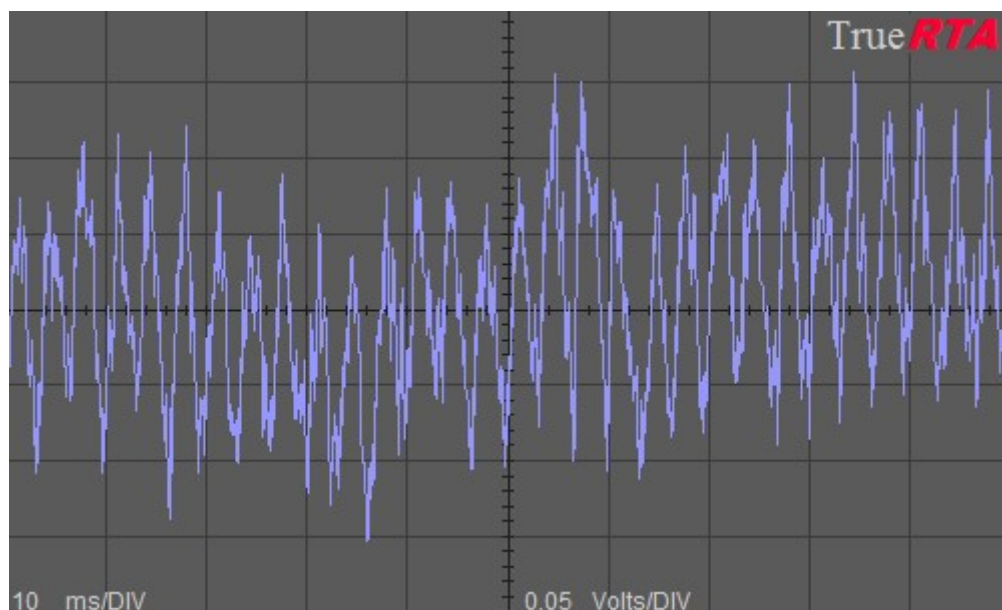


Рис. 1.1.1. Записанный с микрофона электрический сигнал шумов и вибраций вентилятора

Визуально такой сигнал анализировать весьма затруднительно, т.к. в состав его входит не только целый ряд гармонических составляющих с различными частотами и амплитудами, но еще и широкополосные шумы. Конечно, сразу на глаз довольно уверенно можно определить период колебаний (около 3,3 мс) и, следовательно, частоту (около 300 Гц) доминирующей гармоники. И, пожалуй, не более того.

Поэтому для анализа сигналов обычно используются специальные приборы.

К операциям, наиболее часто используемым при анализе шума и вибраций, относятся:

1. Определение уровней шума и вибрации, как общего, так и в отдельных полосах частот. Эти задачи обычно выполняются с помощью измерителей шума и вибраций.

2. Разделение шумов и вибраций на составляющие разной частоты, определяемые природой колебательных сил, т.е. спектральный анализ шумов и вибраций. Для получения спектров применяются анализаторы спектра частот.

Частотный анализ звука позволяет получить распределение амплитуд составляющих шума по частотам - так называемые амплитудно-частотные спектры. В них частотные составляющие сигнала отделены друг от друга и явно выражены в спектре, а их уровни легко идентифицировать.

Звуковой спектр работающего вентилятора, электрический сигнал шумов и вибраций которого приведен на предыдущем рисунке, имеет вид.

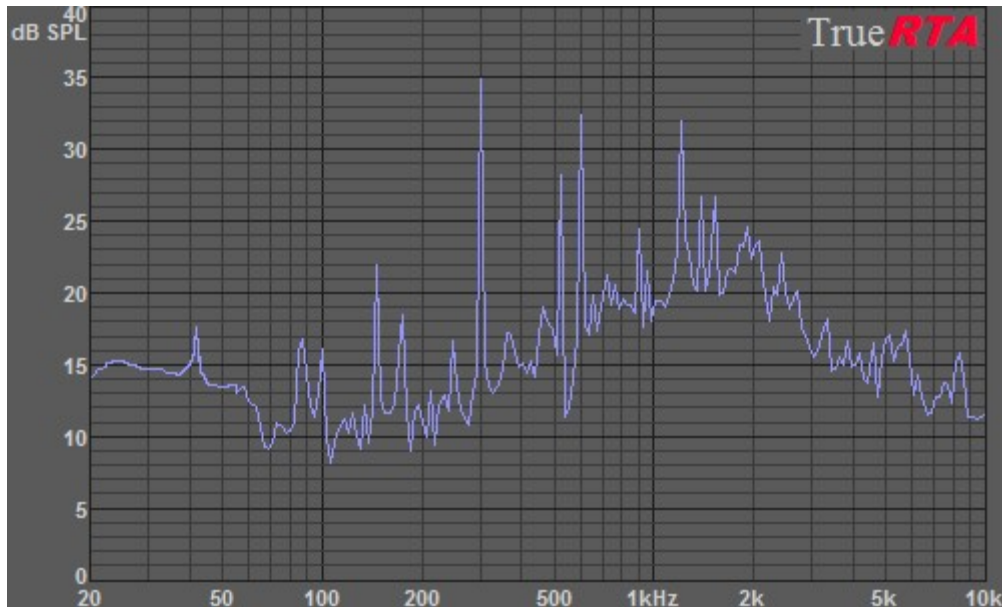


Рис. 1.1.2. Звуковой спектр работающего вентилятора

Тут же в отличие от предыдущего рисунка "все по полочкам и по своим местам". Четко видно распределение по частотам амплитуд широкополосного шума с непрерывным спектром, а так же частоты и амплитуды как доминирующей, так и остальных гармонических составляющих.

Таким образом, по звуковому спектру работающего вентилятора визуально можно легко вычленить большое количество информации о его состоянии. Это и является исходной предпосылкой анализа вентилятора как источника шума и вибраций по его звуковому спектру.

Достоинство таких спектров том, что на одном графике отображаются амплитуды колебаний, сильно различающихся по значению. А использование логарифмической шкалы амплитуд позволяет в современных анализаторах спектра наблюдать составляющие, которые отличаются по уровню до 1000...10000 раз или 60...80 дБ.

Спектр удобен еще и тем, что он отдельно отображает не только компоненты шумов и вибраций с разными амплитудами, но и в достаточно широком частотном диапазоне. Он обычно простирается от 2...10 Гц до 5...20 кГц, что составляет от 9 до 14 октав.

ОКТАВА В АКУСТИКЕ - единица частотного интервала, равна интервалу между двумя частотами, значения которых относятся как 1 к 2.

Для четкого различения отдельных составляющих числа полос в спектре сигнала обычно от 12 до 48 в октаве. Некоторые приборы имеют значительно лучшую разрешающую способность.

На рисунке ниже приведен примерный звуковой спектр шумов и вибраций вентилятора.

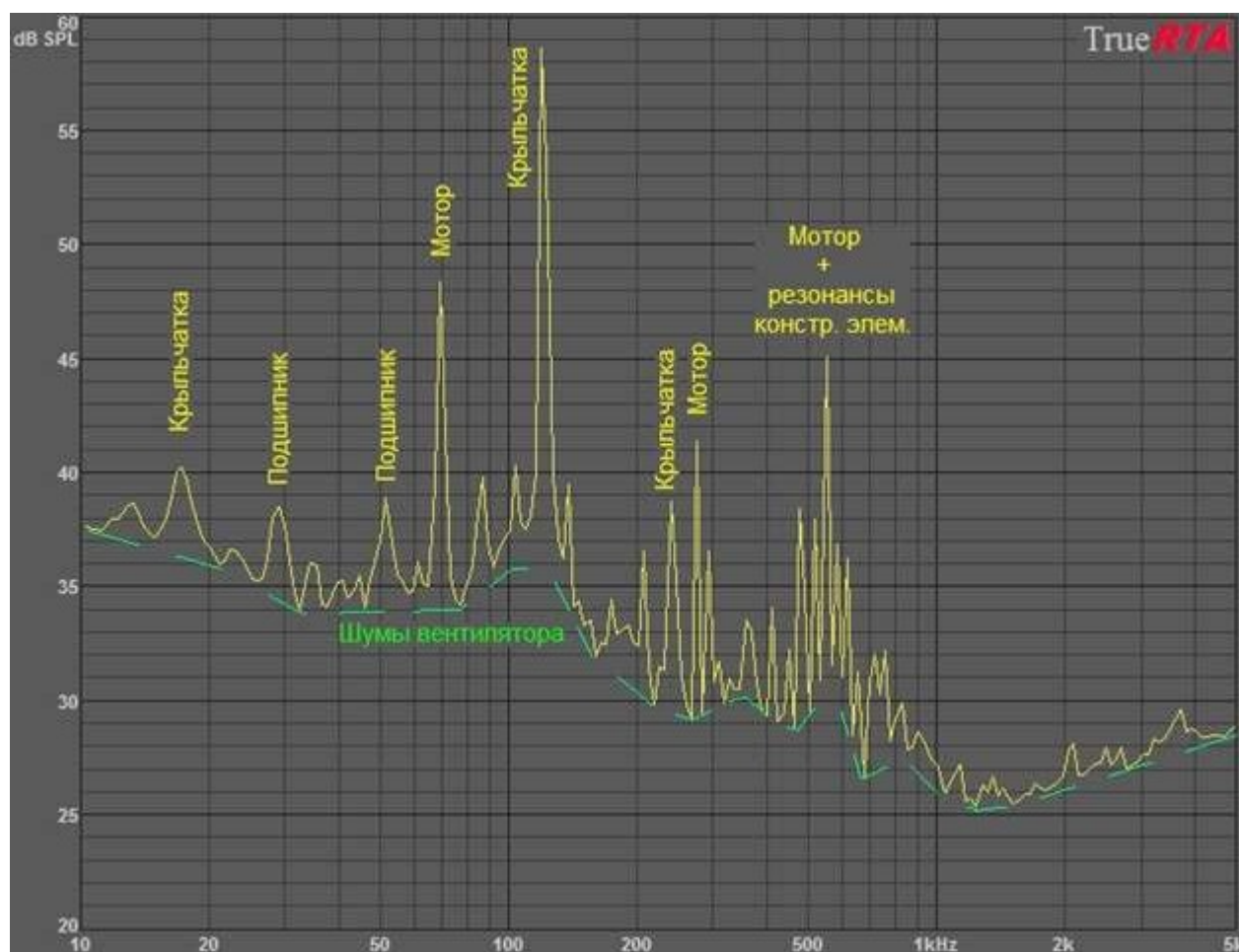


Рис. 1.1.3. Звуковой спектр шумов и вибраций вентилятора

Зеленым пунктиром приблизительно отмечен уровень широкополосных шумов со сплошным спектром. Основные гармонические составляющие, производимые различными узлами вентилятора, подписаны желтым цветом.

◇ Обычно при анализе звукового спектра вентилятора различают:

- гармоники;
- несинхронные составляющие вибрации;
- шумы со сплошным спектром.

Гармоники представляют собой пики на частотах, кратных частоте вращения $F_{вр}$ крыльчатки вентилятора. По ним, например, можно делать выводы о величине вибраций связанных с дисбалансом крыльчатки, импульсным режимом работы мотора и т.д.

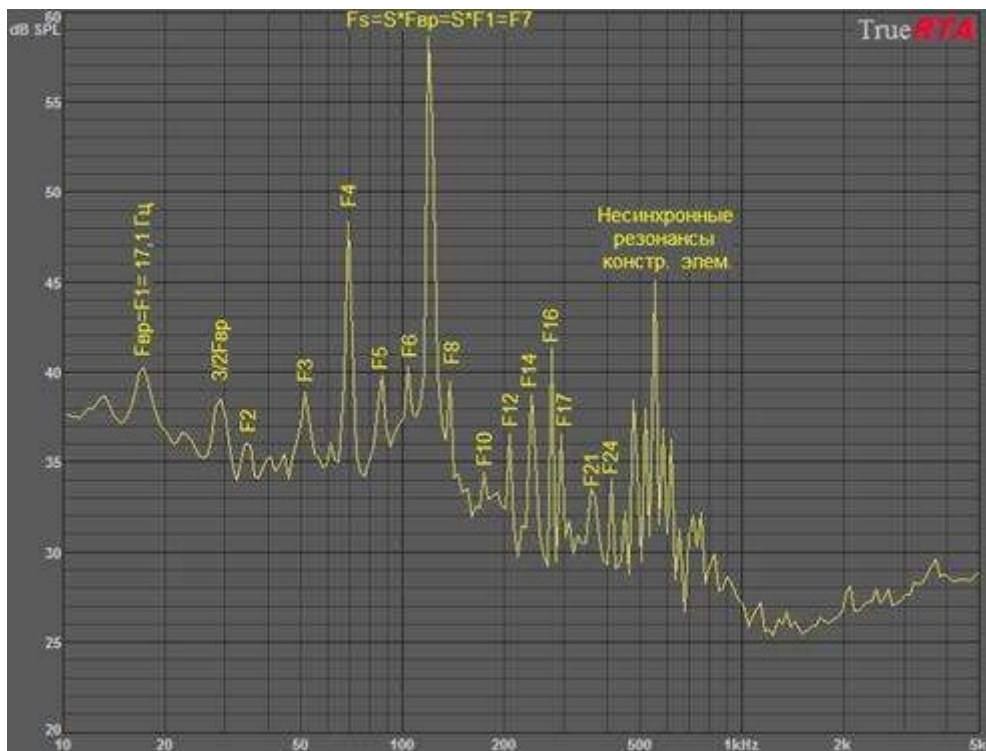


Рис. 1.1.4. Гармонические и несинхронные составляющие вибраций вентилятора

Несинхронные составляющие вибраций наблюдаются на частотах, не кратных частоте вращения. Несинхронные колебания могут быть связаны с характерными частотами подшипников качения или скольжения, они очень редко совпадают с гармониками частоты вращения. Анализ этих составляющих позволяет, например, обнаруживать дефекты, например, подшипников качения или скольжения, отделять вибрации в воздушном потоке ребер радиаторов от вибраций самого вентилятора и т.д.

Несинхронные колебания могут быть связаны так же с вибрациями (звоном) некоторых конструктивных элементов вентилятора на своих весьма высоких резонансных частотах вовсе не кратных частотам возбуждающих их динамических сил.

Шумы со сплошным спектром, как правило, имеют "воздушное" происхождение. Анализ их позволяет оценивать шумы воздушного потока, разрезаемого крыльчаткой и обтекающего различного рода препятствия и неровности воздушного тракта, оценивать качество воздушного тракта.

Более подробно и конкретно о том, какие шумы и вибрации вносятся отдельными узлами и деталями вентиляторов будет рассмотрено в п. 2. ИСТОЧНИКИ ШУМА И ВИБРАЦИЙ В ВЕНТИЛЯТОРАХ.

Особенность вибраций **на низких частотах** состоит в том, что на этих частотах (в диапазоне частот до 3-4 гармоники частоты вращения) вентилятор колеблется как единое целое, поэтому нужны большие силы или большие дефекты, чтобы раскачать вентилятор целиком.

Обычно они связаны с дисбалансом крыльчатки и импульсным режимом работы мотора, а так же переменной составляющей жесткости опор вращения, узлов крепления и подвеса самого вентилятора, погрешностями намагничивания магнита ротора, перекосами или

отсутствием центровки относительно оси вращения, как самого магнита ротора, так и магнитопровода статора.

На средних частотах вибрации вызываются в основном силами аэродинамического происхождения, действующими на вращающиеся лопасти крыльчатки, обтекаемые воздушным потоком спицы крепления мотора, а так же силами, возникающими из-за пульсаций давления в воздушном потоке. И в первую очередь это вибрации с так называемой лопаточной частотой F_s , значение которой определяется скоростью вращения крыльчатки $F_{вр}$ и числом лопастей (лопаток) S .

Однако из-за многочисленных нелинейностей конструктивных элементов вентилятора, износа подшипников, различных резонансов и других факторов в спектре возникают колебания не только с частотами действия вынуждающих сил. В результате, так называемых "биений" двух или нескольких основных гармоник, вызванных действием вынуждающих сил, возникают колебания и на других частотах. И не только на частотах кратных частотам основных гармоник, но и на комбинационных частотах равных суммам и разностям частот всех относительно близких друг к другу гармоник.

◇ При чем чем выше уровень действующих сил, тем больше количество новых составляющих, больше их амплитуда. А соотношения амплитуд их может сильно отличаться от соотношений величин возбуждающих их колебательных сил.

◇ Как следствие - искажения информации об источниках этих колебательных сил и отсутствие полной повторяемости результатов не только от одного экземпляра вентилятора к другому, но и при незначительных изменениях частоты вращения, условий измерений и т.д.

На высоких частотах, превышающих в два-три раза и более значения лопаточной частоты F_s , в спектре становится мало линий и амплитуда их относительно невелика. Но это наиболее раздражающие составляющие спектра и не стоит обходить их вниманием.

В этом же частотном диапазоне обычно действуют несинхронные вибрации резонирующих элементов, колебания которых вызываются резкими ударными силами в моменты коммутации обмоток двигателя.

Повышенная шумность машин и механизмов часто является признаком наличия в них неисправностей или нерациональности конструкций.

Точность изготовления деталей, их подгонка и динамическое уравнивание всех движущихся частей приводят к ослаблению шума и, как правило, ведут к уменьшению износа деталей, к увеличению срока их службы и точности работы.

◇ Естественно, что вибрации и шумы могут распространяться как по конструкционным элементам вентилятора, так и по воздуху трансформируясь друг в друга на границах газовой и твердых сред. Соответственно различают две составляющих шума – воздушную и структурную.

Процесс возникновения и распространения воздушного шума выглядит приблизительно так. Работающий вентилятор приводит в колебательные движения частицы воздуха. Эти колебания частиц воздуха и воспринимаются органами слуха как шум.

ВОЗДУШНЫЙ ШУМ (airborne acoustics) — это звук, создаваемый вентилятором и передаваемый по воздуху.

Производители измеряют только воздушные шумы вентиляторов. И именно их значение приводится в спецификациях.

Вторая часть шума — вибрации, передаваемые от работающего вентилятора через непосредственный контакт и крепеж на стенки корпуса и другие конструктивные элементы корпуса, на блок питания, материнскую плату и т.д., и т.п.

Эти элементы начинают вибрировать и сами создавать воздушный шум, т.е. превращаются во вторичные источники шума. А колебания элементов, по которым распространяются вибрации от вентилятора, вызывают колебательные движения частиц воздуха, воспринимаются органами слуха как шум.

СТРУКТУРНЫЙ ШУМ (structure-borne sound) - это шум, возникающий при непосредственном контакте вибрирующего вентилятора с конструктивными элементами корпуса, радиатора, блока питания и т.д. Он порождается всей конструкцией изделия, его структурой, распространяется непосредственно по конструктивным элементам изделия и излучается на всем пути своего распространения.

◇ Т.о. при наличии структурного шума практически все конструктивные элементы системного блока превращаются во вторичные источники звука. А весь системный блок как бы в рупор или громкоговоритель!!!

◇ Исследования, показали, что, **если вентилятор жестко закреплен на каком либо шасси, то особенно на низких и средних скоростях вращения доминирующими, как правило, являются именно структурные шумы, а собственно воздушные шумы значительно меньше влияют на общий уровень шумов системы.**

Поскольку стенки корпуса имеют значительную площадь, они "более удачно" излучают низкочастотные шумы.

◇ Поэтому **уровень низкочастотных шумов вентилятора, смонтированного в корпусе, как правило, будет выше, чем приводится в спецификациях на него.** Иногда значительно выше.

◇ **Да и более высокочастотные шумы, передаваемые на корпус, могут многократно усиливаться всевозможными резонирующими элементами** конструкции.

1.2. Простейшие доступные способы оценки и измерения шумов и вибраций вентиляторов

Как рассмотрено выше, вентиляторам присущ целый ряд характерных шумов и вибраций, а человек непосредственно может воспринимать только звук, и лишь в ограниченном низкочастотном диапазоне - вибрацию.

Как же их оценивать и измерять при отсутствии специальных измерительных приборов и специальной звукопоглощающей (так называемой заглушенной или полузаглушенной) камеры?

1.2.1. С помощью простейших измерительных средств

Неплохо иметь шумомер, анализатор спектра но.... Не каждому они доступны.

Наиболее доступны измерительные приборы на основе программного обеспечения, использующие ПК для оценки в реальном времени параметров звуковых сигналов.

Так, например, при наличии микрофона, звуковой карты (даже плохенькой встроенной) и такой софтины, как анализатор спектра звуковых сигналов TrueAudio TrueRTA.v3.1.1 (или подобной) из РС может получиться целая коллекция приборов для проверки и оценки звука в реальном времени. В составе приборов TrueRTA имеются:

генератор сигналов с малыми искажениями;

цифровой измеритель уровня;

пиковый измеритель уровня;

двухлучевой осциллограф;

анализатор спектра аудиосигналов, работающий в режиме реального времени с высокой разрешающей способностью.

Это обеспечивает такой уровень работы со звуковыми сигналами, который может быть достигнут с помощью традиционных испытательных приборов стоимостью во многие тысячи долларов. Т.е. дает возможности, обычно имеющиеся только в лучших исследовательских и проектных лабораториях.

А поскольку частоты большинства гармоник в общем составе вибраций вентилятора кратны частоте первой гармоники, которая определяются скоростью вращения крыльчатки, то частоты практически всех гармоник оказываются заранее известными. Тогда, например, при использовании упомянутого выше анализатора спектра звуковых сигналов TrueAudio TrueRTA.v3.1.1 или подобного ему, гармоники этих вибраций становятся прекрасно заметны, как только амплитуда их гармоник превысит на несколько дБ общий уровень широкополосных шумов. Ни рукой и на слух этого не почувствовать.

♦ С помощью анализатора спектра наиболее удобно оценивать любые составляющие шумов и вибраций вентиляторов, амплитуда которых хотя бы на несколько дБ превышает общий уровень широкополосных помех, складывающихся из шумов в помещении, где проводятся измерения и шумов усилительного тракта.

♦ При малых шумах в помещении, где проводятся измерения, небольших шумах усилительного тракта и, особенно, при возможности программной компенсации их легко оцениваются суммарные широкополосные шумы вентиляторов.

♦ Однако такие специфические шумы, как, например, высокочастотный треск мотора или слабое шуршание подшипников, обычно оказываются плохо заметными на фоне других составляющих.

Примечание. Анализатор спектра лучше использовать в условиях ночной тишины. А так же в условиях малых или на край умеренных помех и наводок в звукоусилительном тракте. Но можно использовать и в дневное время при наличии умеренных мешающих шумов от разговоров в соседней комнате, работающего холодильника, шума с улицы и т.д.

Для уменьшения влияния наводок и шумов звукоусилительного тракта желательно использовать хорошо экранированный, высокочувствительный микрофон.

Еще лучше, если микрофон имеет встроенный усилитель. В этом случае его лучше подключать к линейному входу звуковой карты. Обычно это резко уменьшает помехи и наводки в звукоусилительном тракте. Так работать намного приятнее. Можно увидеть гармоники с малой амплитудой, которые неразличимы в шуме усилительного тракта при плохом микрофоне.

Конечно из-за малой амплитуды, какого-либо заметного влияния на шумовые свойства вентилятора они не имеют, но иногда помогают в анализе.

1.2.2. На слух

Особенностью человеческого слухового восприятия является весьма низкая точность оценки абсолютной величины громкости звука.

Гораздо лучше мы воспринимаем не абсолютные величины сигналов, а их относительные изменения друг относительно друга. Да и то, в среднем человек может различить два сигнала по громкости, если они отличаются друг от друга не менее чем на 3 децибела (в 1,4 раза).

Еще одной особенностью человеческого слухового восприятия является маскирование одного звука другим, обладающим таким же или близким спектральным составом. В таких случаях четкое восприятие звука возможно только, когда его интенсивность заметно превышает уровень помех в том же диапазоне спектра, причем это превышение может достигать (10...15) дБ или (3...5) раз.

Эта же особенность позволяет достаточно отчетливо воспринимать звуки имеющие, например, специфический спектральный состав, но с амплитудой меньшей, чем амплитуда помех. Или звуки, приходящие с других направлений, чем маскирующие их. А вот у шумомеров такое достоинство практически отсутствует.

♦ В результате, хотя эти особенности слуха и не позволяют с достаточной точностью определять абсолютную величину уровня шума и вибраций вентилятора, но позволяют просто и практически мгновенно сравнивать между собой шум и вибрации разных вентиляторов. А, следовательно, оценивать как общий шум вентилятора, так и некоторые его составляющие.

При изменении ракурса прослушивания четко заметно изменение соотношения амплитуд как преобладающих, так и остальных гармоник. Поэтому нелишне, например, взять вентилятор в руки, покрутить его так и эдак и прослушать с разных ракурсов.

Например, при перемещении направления прослушивания с оси вентилятора набок или приближении уха к корпусу резко растут составляющие вибраций, вносимых работой двигателя, установленного именно на корпусной части вентилятора. А поскольку мотор установлен на корпусе вентилятора, то прижав рамку вплотную к уху можно более четко отделить треск и рокот, вносимые мотором от других составляющих шума.

Несколько повысить точность сравнения между собой шумов и вибраций разных вентиляторов не только в целом, но и по некоторым отдельным составляющим можно с использованием пространственного слуха (стереоэффекта).

Для этого, например, по углам равностороннего или равнобедренного треугольника со стороной порядка (0,5...1)м располагаются два вентилятора (как стерео колонки) и голова слушателя. Один из вентиляторов эталонный.

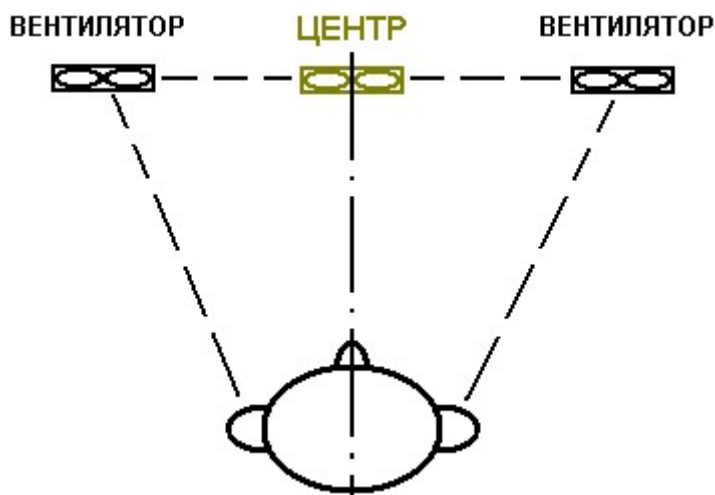


Рисунок 1.2.2.1. Использование пространственного слуха

Если вентиляторы шумят одинаково, то шум слышен как бы из середины (центра) стереобазы. Чем левый тише правого, тем больше шум смещается вправо. И наоборот.

А если положить линейку между вентиляторами, то по сдвигу звука в пределах стереобазы можно будет определять насколько больше или меньше отдельные составляющие шума. Особенно при небольшом отличии их амплитуд.

Первые впечатления от использования пространственного кажутся несколько необычными и непривычными. Но однозначно в "стереоварианте" сравнивать шумы и вибрации намного проще.

За счет распределения в пределах стереобазы различия в шуме вентиляторов выделяются на слух гораздо ярче, сочнее, чем при последовательном прослушивании вентиляторов по одному. Замечаются даже такие мелкие нюансы, которые при последовательном прослушивании вентиляторов по одному вовсе уходят от внимания.

Например, различия в звучании подшипников скольжения и качения прямо бьет по ушам. Так же резко отличается звук некачественного мотора от звука мотора с пониженным уровнем шумов и вибраций. Четко выделяются различия не только громкости, но и тембра звучания различных крыльчаток.

♦ Но, даже при использовании пространственного слуха точно и конкретно разделить вибрации мотора и крыльчатки, установить точные соотношения их величин или выяснить спектральный состав вибраций не удается.

♦ На слух наиболее удобно оценивать широкополосные и высокочастотные шумы, такие как треск мотора, шумы воздушного потока и подшипников. Но, к сожалению, весьма приблизительно, зато практически мгновенно.

♦ Зато ни один шумомер не способен так оценить раздражающее действие звуков различного спектрального состава и громкости как это делает человеческое ухо.

1.2.3. На ощупь

Способ позволяет оценивать вибрации вентилятора. К сожалению, способ еще менее точный, чем предыдущий. Как правило, позволяет оценить лишь общие вибрации вентилятора или сравнить вибрации различных вентиляторов, весьма приблизительно, зато практически мгновенно.

Существуют и другие способы оценки шумов и вибраций вентиляторов.

Например, весьма приблизительно оценить суммарные вибрации можно по "ерзанию" включенного вентилятора по столу или по скольжению его по наклонной плоскости. Фиксируя угол наклонной плоскости, при котором вентилятор начинает скользить, в какой-то мере можно определить уровень вибраций. Однако точность этих способов так же оставляет желать лучшего.

Выводы.

1. Как видно каждый из способов имеет свои "за" и свои "против". Поэтому их стоит применять совместно.

2. **♦ Наиболее удачное сочетание - анализатор спектра и слух.**

3. С помощью анализатора спектра и на слух чрезвычайно просто и быстро можно, например, проанализировать поведение всех составляющих шума при изменении оборотов крыльчатки, выбрать крыльчатку с наименьшими вибрациями, оценить по отдельности вибрации и треск мотора и т.д. и т.п. Исследования эти просты и доступны практически каждому желающему.

2. ИСТОЧНИКИ ШУМА И ВИБРАЦИЙ В ВЕНТИЛЯТОРАХ

Для возбуждения колебаний источников вибраций на них должны воздействовать какие-то динамические силы, действующих на определенных частотах и вызывающих колебания конструктивных элементов вентиляторов и воздушных масс вблизи вентилятора.

Эти динамические силы не только источник шума и вибрации, но и дефектов, которые изменяют свойства сил и, соответственно, характеристики шума и вибрации.

Поэтому анализ шумов и вибраций вентиляторов, тесно связан с анализом динамических сил различной природы, собственно и приводящих к возникновению шумов и вибраций.

2.1. Силы, возбуждающие вибрации и шум

Из сил **механической природы** следует выделить:

- центробежные силы, определяемые дисбалансом крыльчатки (отсутствием центровки относительно оси вращения, как самой крыльчатки, так и магнита ротора);
- параметрические силы, прежде всего определяемые переменной составляющей жесткости опор вращения, узлов крепления и подвеса самого вентилятора;
- кинематические силы, определяемые неровностью взаимодействующих поверхностей трения в подшипниках;
- силы трения, которые далеко не всегда можно считать механическими, но почти всегда они являются результатом суммарного действия множества микроударов с деформацией (упругой) контактирующих микронеровностей на поверхностях трения;
- силы ударного и флуктуирующего вида, возникающие при взаимодействии отдельных дефектных поверхностей трения, сопровождающемся их упругой деформацией или, например, из-за люфтов, шарканый различного рода шайб, уплотнителей, пружин и т.д.

Из сил **электромагнитного происхождения** в электрических машинах следует выделить:

- магнитные силы, определяемые изменениями магнитной энергии в воздушном зазоре между ротором и статором, и связанные, прежде всего, погрешностями намагничивания магнита ротора, перекосами или отсутствием центровки относительно оси вращения магнита ротора или магнитопровода статора;
- электродинамические силы, определяемые взаимодействием магнитного поля с электрическим током и обусловленные в первую очередь импульсным режимом работы мотора;
- магнитострикционные силы, определяемые эффектом магнитострикции, т.е. изменением линейных размеров магнитного материала под действием магнитного поля.

Из сил **аэродинамического происхождения** следует выделить:

- подъемные силы или силы давления, например, подъемные силы, действующие на вращающиеся лопасти крыльчатки, либо силы давления, действующие как на крыльчатку, так и на обтекаемые воздушным потоком спицы крепления мотора к рамке корпуса вентилятора или на сам корпус;
- силы трения на границе потока и подвижных (крыльчатка) или неподвижных частей вентилятора (внутренней стенки корпуса вентилятора, спицы крепления мотора и т.п.);

- пульсации давления в воздушном потоке, определяемые его турбулентностью, срывом вихрей и т.п. возбуждающие звуковые волны как самостоятельно, так и за счет воздействия на подвижные и/или неподвижные части вентилятора.

Динамические силы в машинах возбуждают вибрацию либо непосредственно, либо силы возбуждают шум (звук), а шум - вибрацию корпуса.

Под источниками шума в вентиляторах можно конечно подразумевать конструктивные элементы, на границах которых с газовой средой, вибрация и шум трансформируются друг в друга, а человек непосредственно воспринимает возникающие звуки.

♦♦ Но мы под источниками шума будем подразумевать непосредственно те узлы и конструктивные элементы, на которые воздействуют перечисленные силы. В недрах которых или из-за движения которых собственно и возникают вибрации и шум.

2.2. Крыльчатка

Частота вибраций крыльчатки, как правило, лежит в диапазоне (10...1000) Гц.

Они передаются через подшипники или пульсации сил давления на корпус вентилятора. Далее через жесткие сочленения (крепёж вентилятора и/или кулера и крепёж материнской платы) они попадают на корпус системного блока и являются причиной дополнительного шума с частотами вплоть до (2...4) кГц и выше, в зависимости от конструкции корпуса (вследствие, так сказать, гармонического размножения колебаний с комбинационными частотами).

Эти вибрации можно разделить на две основные группы:

- вибрации, связанные с дисбалансом крыльчатки, погрешностями намагничивания магнита ротора, перекосами или отсутствием центровки относительно оси вращения, как самой крыльчатки, так и магнита ротора или магнитопровода статора.
- вибрации и шумы аэродинамического происхождения.

2.2.1. Вибрации, связанные с дисбалансами крыльчатки, магнита ротора или магнитопровода статора

Наиболее часто встречаются вибрации, связанные с чисто механическим или аэродинамическим дисбалансом крыльчатки или, например, перекосом и/или несоосностью запрессовки вала крыльчатки.

Реже попадаетея заметный механический дисбаланс магнита ротора, отсутствие центровки статора и/или их перекося.

Эти дефекты возбуждают самые низкочастотные вибрации. Основная частота их (частота наинишнего или, так называемого, основного тона, или частота вращения F_{BP} , или частота первой гармоники вибраций вентилятора в целом $F1$) определяется скоростью вращения крыльчатки

$$F_{BP} = F1 = RPM/60,$$

где: $F_{BP} = F1$ - частота вращения или частота первой гармоники в Гц;

RPM - скорость вращения крыльчатки в об/мин.

При условии исправности подшипников можно считать, что крыльчатка с указанными выше дефектами других частот не возбуждает.

Например, при 1800 об/мин крыльчатки частота вращения составляет всего

1800 об/мин / 60 = 30 Гц.

На звуковом спектре вибраций с этой частотой вращения $F_{вр} = F1 = 30$ Гц выглядят следующим образом.

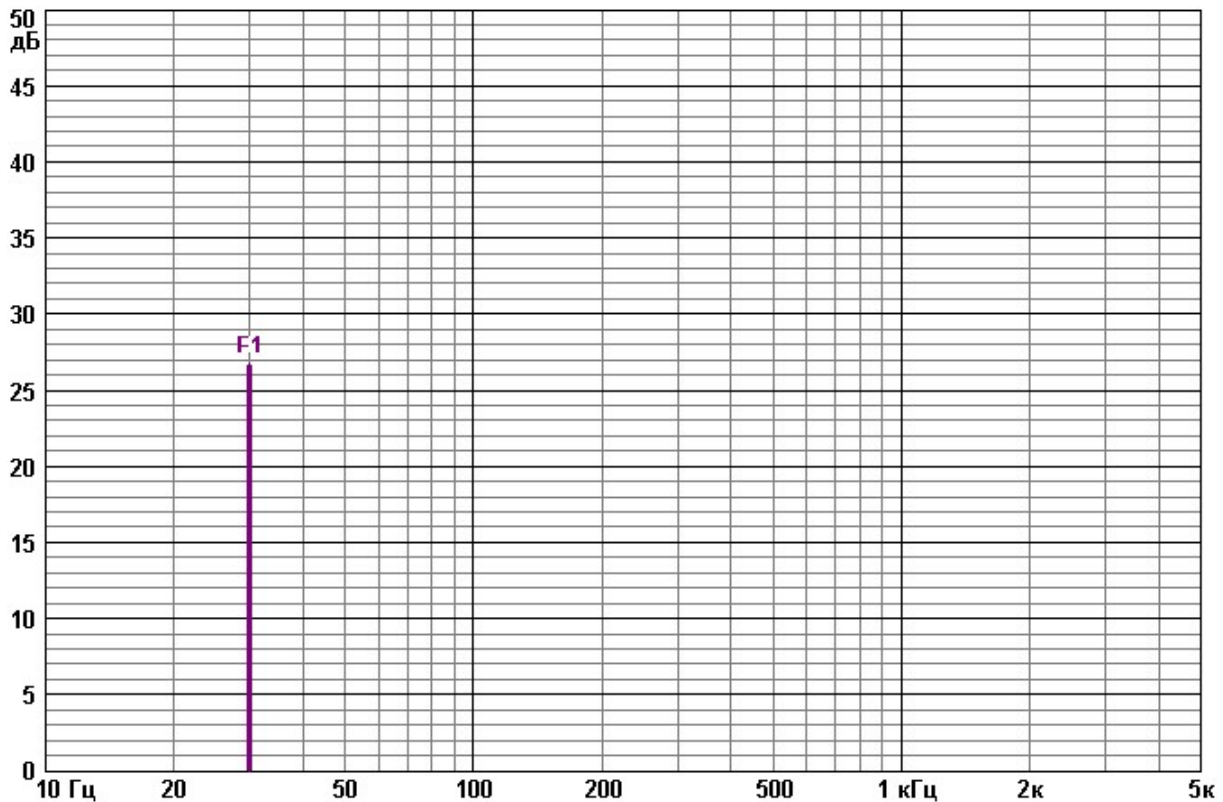


Рис. 2.2.1.1. Вибрации на частоте F1, вносимые дисбалансом

Так как амплитуды вибраций величина сугубо индивидуальная для каждого вентилятора, то амплитуда $F1$ около 27 дБ здесь, так же как и амплитуды вибраций на аналогичных рисунках далее показана условно-отвлеченно.

◇ Естественно сам вентилятор из-за малой площади элементов конструкции эффективно излучать звуковые волны с частотой этих вибраций не может. Поэтому практически они влияют, только на комбинационные гармоники (см. ниже) и создают структурный шум, имеющий характер мягкого низкочастотного гула.

◇ Заметность вибраций с частотой первой гармоники $F1$ резко уменьшается с понижением скорости вращения крыльчатки, а при скорости крыльчатки менее 1200 об/мин частота первой гармоники становится менее 20 Гц и уходит за пределы слышимости, вроде избавляя нас от борьбы с ней. Но не стоит забывать о комбинационных составляющих, которые могут придавать звучанию вентилятора неприятную, жесткую окраску.

◇ При хорошо сбалансированной крыльчатке амплитуда гармоники $F1$ не превышает уровня широкополосного шума и полностью маскируется им. И практически не улавливаются ни на ощупь, ни на слух, ни с помощью анализатора спектра.

◇ Со структурным шумом весьма успешно борются с помощью виброизоляторов и подвесов.

Однако по мере износа подшипников увеличиваются зазоры в них, форма отверстия во втулке начинает отличаться от цилиндрической, появляется разболтанность. Следовательно, отклик на воздействующие силы будет все больше отклоняться от линейного закона, и в результате характер возникающих вибраций все больше будет отличаться от характера

возбуждающих сил. В спектре вибрации возрастает количество гармоник, и увеличиваются их амплитуда.

Появлению гармоник способствуют так же перекосы магнита ротора, магнитопровода статора и погрешности намагничивания магнита ротора имеющего 4 полюса (N-S-N-S). Они приводят в первую очередь к возникновению с частотой первой **F1**, второй **F2** и кратных им гармоник вибраций вентилятора в целом.

Могут появляться и другие частоты кратные первой гармонике **F1** ($3 \cdot F1 = F3$, $5 \cdot F1 = F5$ и т.д.).

На звуковом спектре вибраций это выглядит так (напомню, что соотношение амплитуд гармоник здесь и далее на аналогичных рисунках показано условно-отвлеченно).

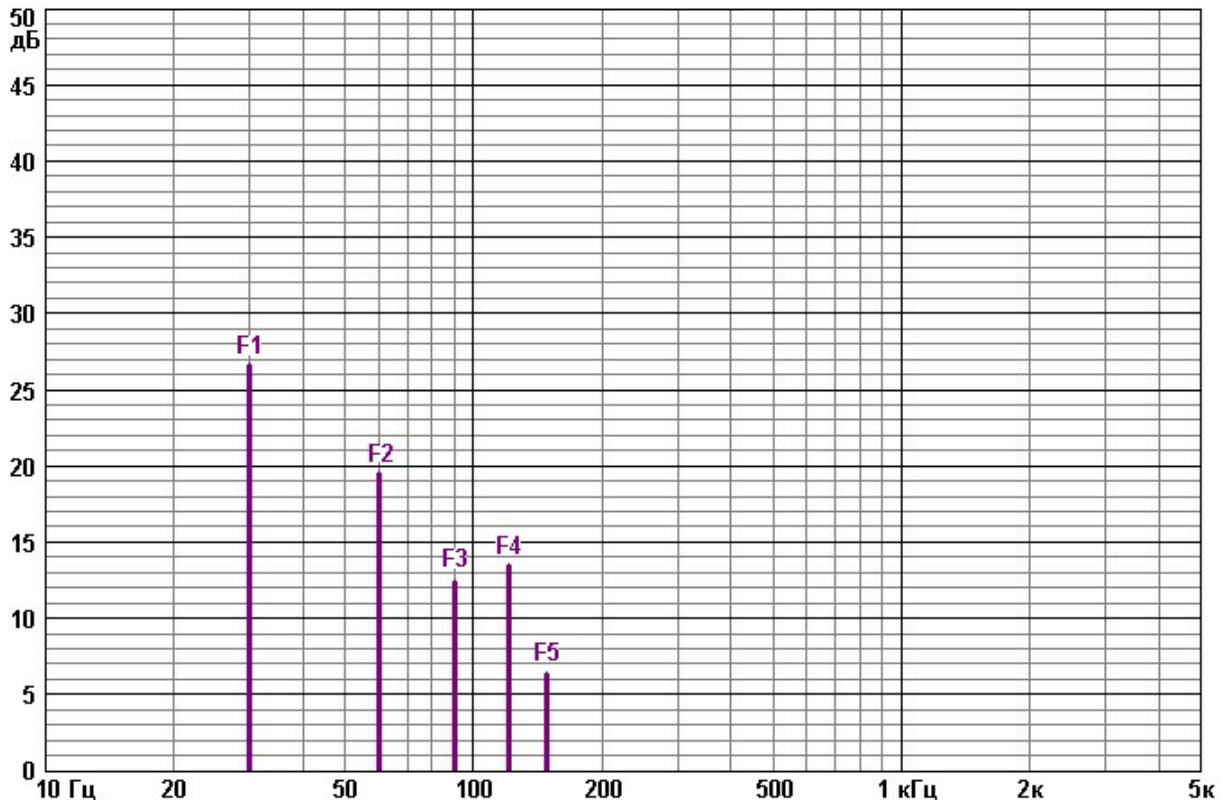


Рис. 2.2.1.2. Вибрации, вносимые по мере износа и при конструктивных дефектах вентилятора

◇ Частота этих гармоник может достигать сотен герц. Такие частоты довольно успешно излучаются самим вентилятором. Поэтому они могут распространяться не только как структурный шум, но и как воздушный. Причем чем больше размеры вентилятора и чем выше номер гармоники, тем интенсивнее воздушная составляющая шума.

Кроме того, на слух с ростом числа гармоник и увеличением их амплитуды в звучании появляются низкочастотные хрипловатые тона.

Примечание. Рассмотренные вибрации наиболее удобно оценивать с помощью анализатора спектра.

2.2.2. Вибрации и шумы аэродинамического происхождения

◇ Как правило, вибрации и шумы аэродинамического происхождения являются доминирующими при работе вентилятора на высоких и средних скоростях.

Вибрации аэродинамического происхождения *вызываются пульсациями давления и скорости потока воздуха в проточной части вентилятора и в примыкающих объемах воздуха.*

Силы, возбуждающие вибрации, возникают при взаимодействии воздушного потока с лопастями крыльчатки, с внутренней поверхностью корпуса и спицами крепления мотора к рамке корпуса вентилятора.

Основная сила, действующая на каждую лопасть крыльчатки - подъемная сила взаимодействия потока с лопастью, расположенной под углом к потоку. Сумма подъемных сил, действующих в однородном потоке на крыльчатку без дефектов, направлена вдоль оси ее вращения и не имеет переменной составляющей.

При перекосе как всей крыльчатки из-за неточной запрессовки вала, так и/или отклонении от среднего значения величины или направления подъемной силы хотя бы одной из лопастей, сумма подъемных сил, действующих на крыльчатку, отклоняется от оси ее вращения. Появляется радиальная составляющая направленная перпендикулярно к оси вращения сила с частотой вращения крыльчатки $F_{ВР} = F1$.

Эта сила передается через подшипники от крыльчатки на корпус вентилятора. Возбуждаются вибрации соответственно с частотой $F_{ВР} = F1$.

♦ Итак, вибрации с частотой первой гармоники $F1$ могут быть связаны не только с чисто механическим, но и с аэродинамическим дисбалансом крыльчатки.

На рисунках ниже, на механическое происхождение гармонических составляющих условно указывает бордовый цвет. А на аэродинамическое - светло-зеленый.

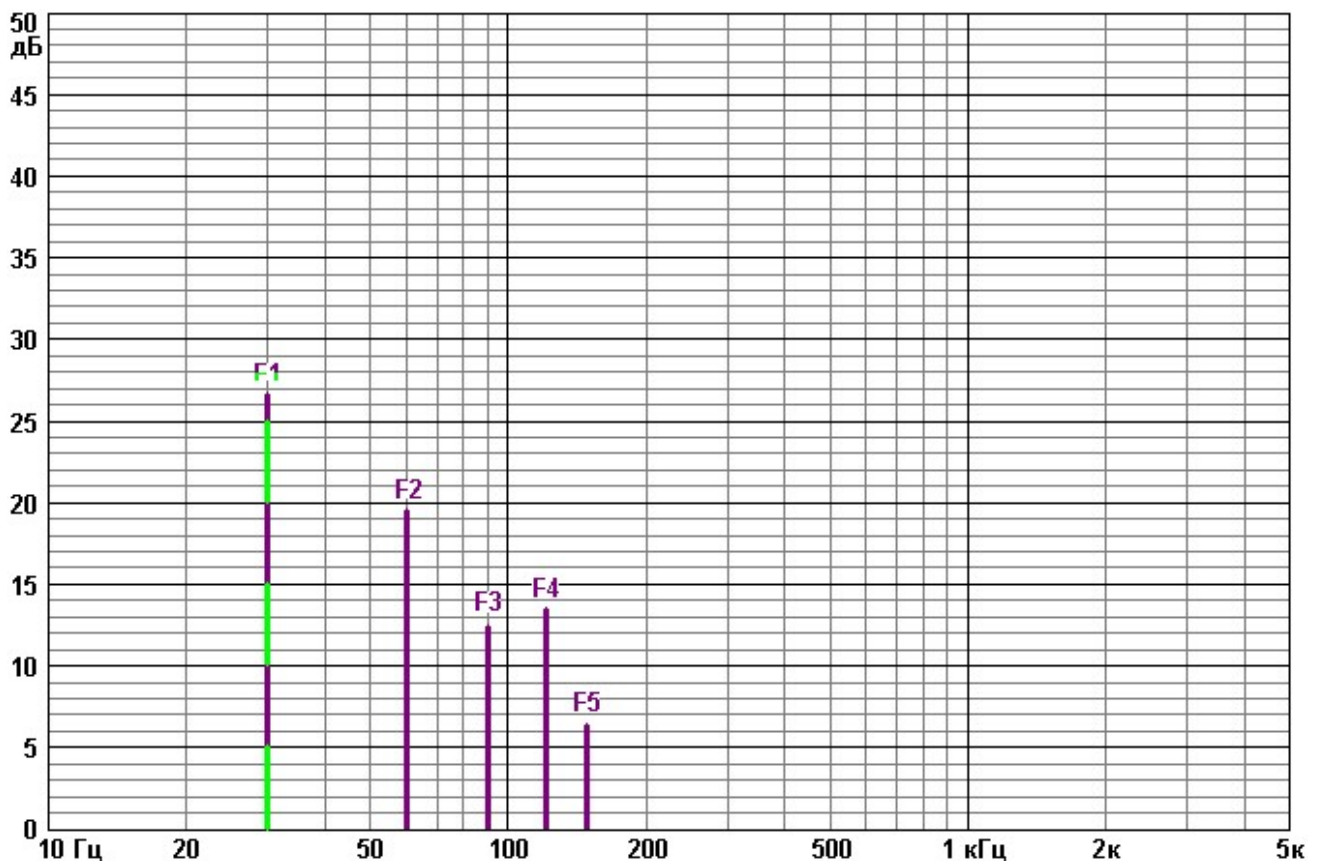


Рис. 2.2.2.1. Вибрации, вносимые аэродинамическим дисбалансом крыльчатки

♦ По мере износа подшипников увеличиваются зазоры, в спектре вибрации появляются гармоники. Амплитуда их обычно невелика, причем, как правило, чем выше гармоника, тем меньше ее амплитуда.

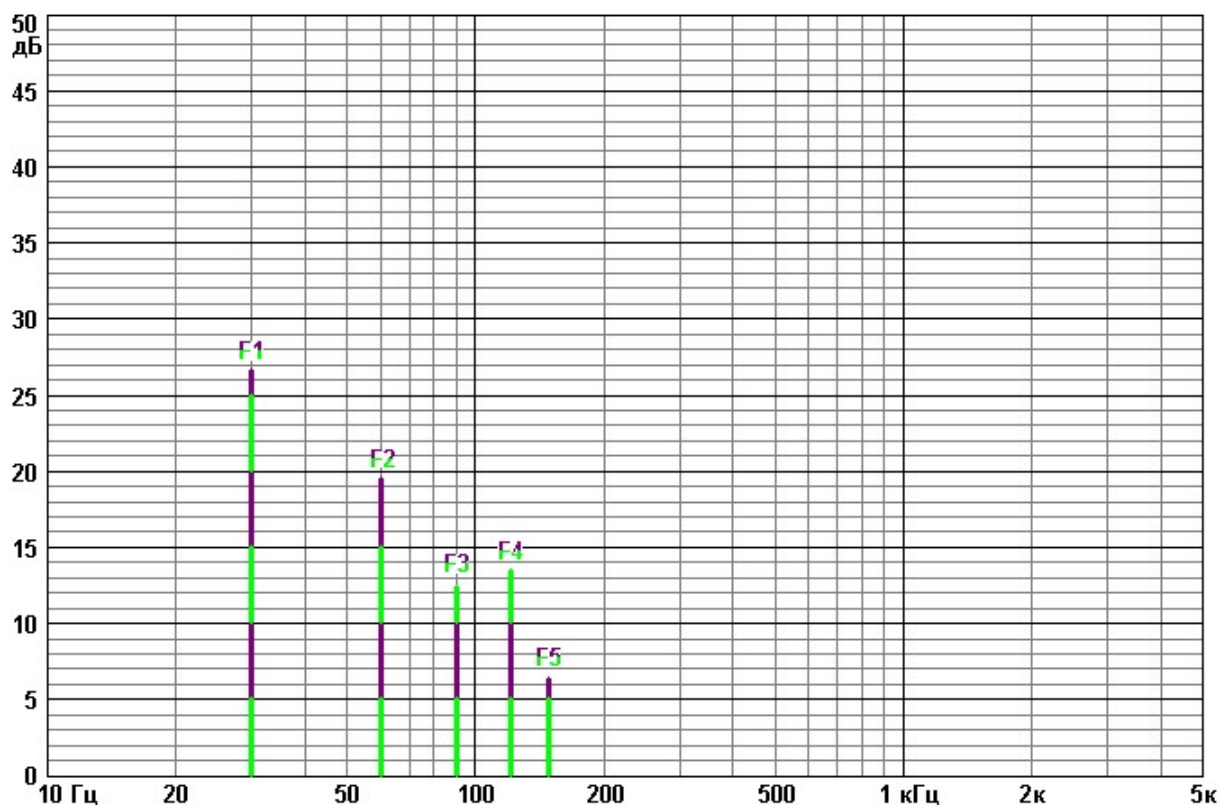


Рис. 2.2.2.2. Вибрации, вносимые по мере износа подшипников

На слух вибрации связанные как с чисто механическим, так и с аэродинамическим дисбалансом крыльчатки проявляются одинаково.

При неоднородности воздушного потока в зоне крыльчатки возникают еще и радиальные силы, основная частота которых определяется числом лопастей (лопаток) в крыльчатке и называется лопаточной частотой F_s . Она равна произведению частоты вращения крыльчатки $F_{вр} = F1$ на число лопастей S

$$F_s = S \cdot F_{вр} = S \cdot \text{RPM} / 60 = S \cdot F1.$$

Эти силы, с одной стороны, передаются через подшипники от крыльчатки на корпус вентилятора, а, с другой стороны, пульсации давления потока воздействуют на тот же корпус через воздушную среду.

Возбуждаются вибрации соответственно с частотой F_s .

Причем в общем составе частот вибраций вентилятора в целом лопаточная частота F_s соответствует гармонике с номером равным числу лопастей у используемой крыльчатки. Соответственно **F7** при семилопастной крыльчатке или, например, **F9** при девятилопастной и т.д.

Например, при 1800 об/мин семилопастной крыльчатки лопаточная частота составляет
 $7 \cdot 1800 \text{ об/мин} / 60 = 210 \text{ Гц}$.

На звуковом спектре вибрации с этой лопаточной частотой $F_s = F7 = 210 \text{ Гц}$ выглядят следующим образом.

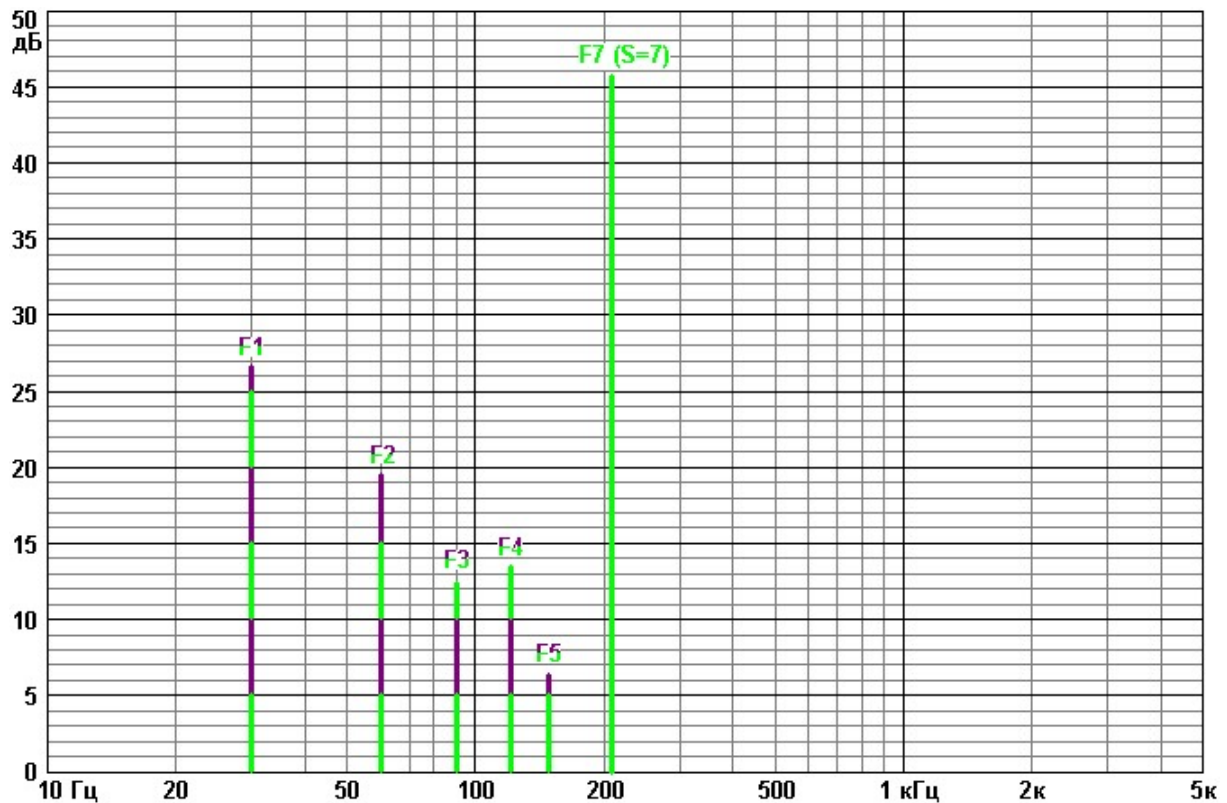


Рис. 2.2.2.3. Лопаточная частота F_s ($S=7$)

Присутствуют и более высокие гармоники кратные лопаточной частоте с частотами $n \cdot F_s$ (например, $2 \cdot F_7 = F_{14}$, $3 \cdot F_7 = F_{21}$ и т.д. или $2 \cdot F_9 = F_{18}$, $3 \cdot F_9 = F_{27}$ и т.д.). Амплитуда их обычно невелика, причем, чем выше гармоника, тем меньше ее амплитуда.

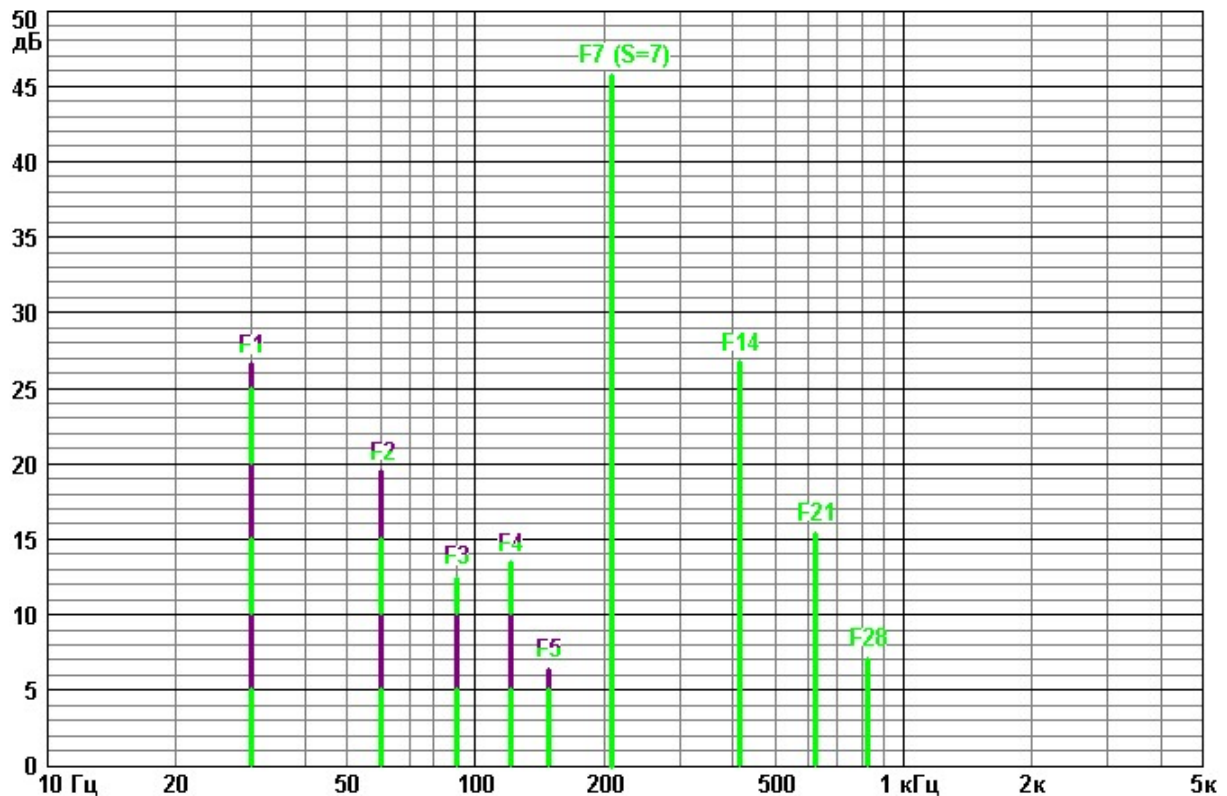


Рис. 2.2.2.4. Гармоники кратные лопаточной частоте

◇ Вибрации аэродинамического происхождения с лопаточной частотой F_s распространяются не только как структурный шум, но и хорошо излучаются вентилятором в виде воздушного шума.

◇ Как правило, на больших и средних оборотах это превалирующая и наиболее раздражающая гармоника в спектре вибраций вентилятора.

Поэтому тембр гудения, воя или рокота вентилятора на больших и, как правило, на средних оборотах обычно определяется именно гармоникой с лопаточной частотой. При наличии большой разницы амплитуд между этой и всеми другими гармониками вентилятор глухо гудит. С уменьшением разницы амплитуд гудение может перерасти в вой, рокот или даже жужжание.

◇ Поэтому, когда стоит задача обеспечения минимального раздражающего действия шума, следует выбирать вентилятор не только с минимальными вибрациями и шумами. Необходимо помнить и то, что крыльчатка с меньшим числом лопастей имеет меньшую частоту вибраций и меньше раздражает.

◇ Тенденция (хотя и не без исключений) – чем больше диаметр ступицы и чем толще, жестче и прочнее лопасти крыльчатки, тем меньше амплитуда вибраций, вносимых крыльчаткой на лопаточной частоте F_s .

◇ При стяжке лопастей или, например, толстой ниткой, лучше достаточно жестким проволочным кольцом или еще лучше кожухом амплитуда вибраций, вносимых крыльчаткой на лопаточной частоте, уменьшается. Чем жестче стяжка, тем меньше амплитуда вибраций.

Примечание. Наиболее удобно эти вибрации оценивать с помощью анализатора спектра.

Кроме вибраций имеют место так же и широкополосные аэродинамические или вихревые шумы воздушного потока, разрезаемого крыльчаткой и обтекающего различного рода препятствия и неровности воздушного тракта в проточной части вентилятора.

Колебания, возбуждаемые этими пульсациями давления в потоке, имеют случайный характер, а, следовательно, не имеют строго фиксированной частоты.

Они имеют сплошной спектр колебаний и излучаются в широкой полосе частот.

На рисунке широкополосные шумы указаны серым цветом.

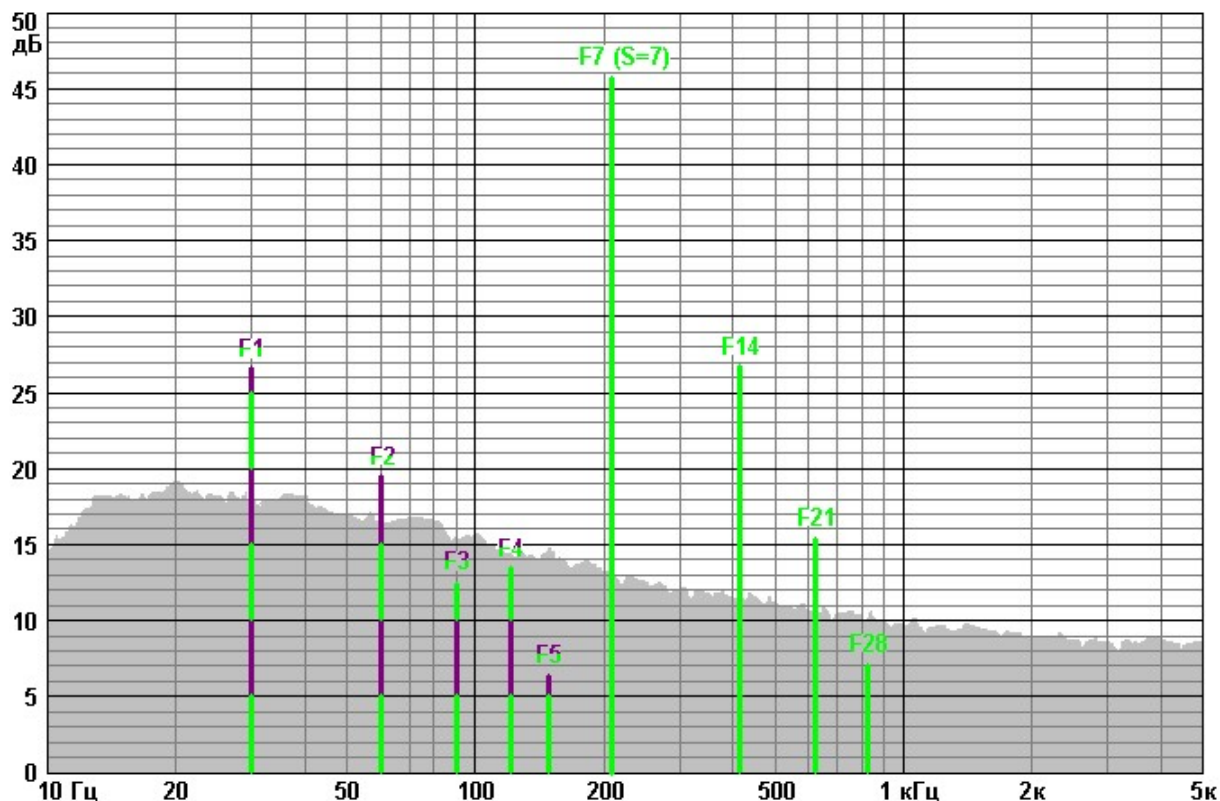


Рис. 2.2.2.5. Широкополосные аэродинамические или вихревые шумы

Широкополосные аэродинамические шумы обуславливается, в основном следующими причинами.

Во-первых, пульсациями давления на границе сред в результате аэродинамического трения.

♦ Любая острая грань в конструкции вентилятора, не удаленный облой, спицы, удерживающие мотор и любые иные препятствие на пути потока воздуха создают турбулентность потока и шум. При больших скоростях воздушного потока наличие острых граней может приводить к возникновению характерных свистящих звуков.

Во-вторых, пульсациями давления, вызванными турбулентностью непосредственно воздушного потока и срывами потока от поверхности лопастей и их задних кромок.

♦ Интенсивность их зависит от конфигурации лопастей, угла наклона их, наличия насечки или зубцов на задних кромках лопастей.

На слух воспринимается как шелест, шипение, шуршание.

♦♦ Если амплитуда отдельных гармоник не превышает уровня широкополосных шумов, то выделить их в общем спектральном составе становятся невозможными.

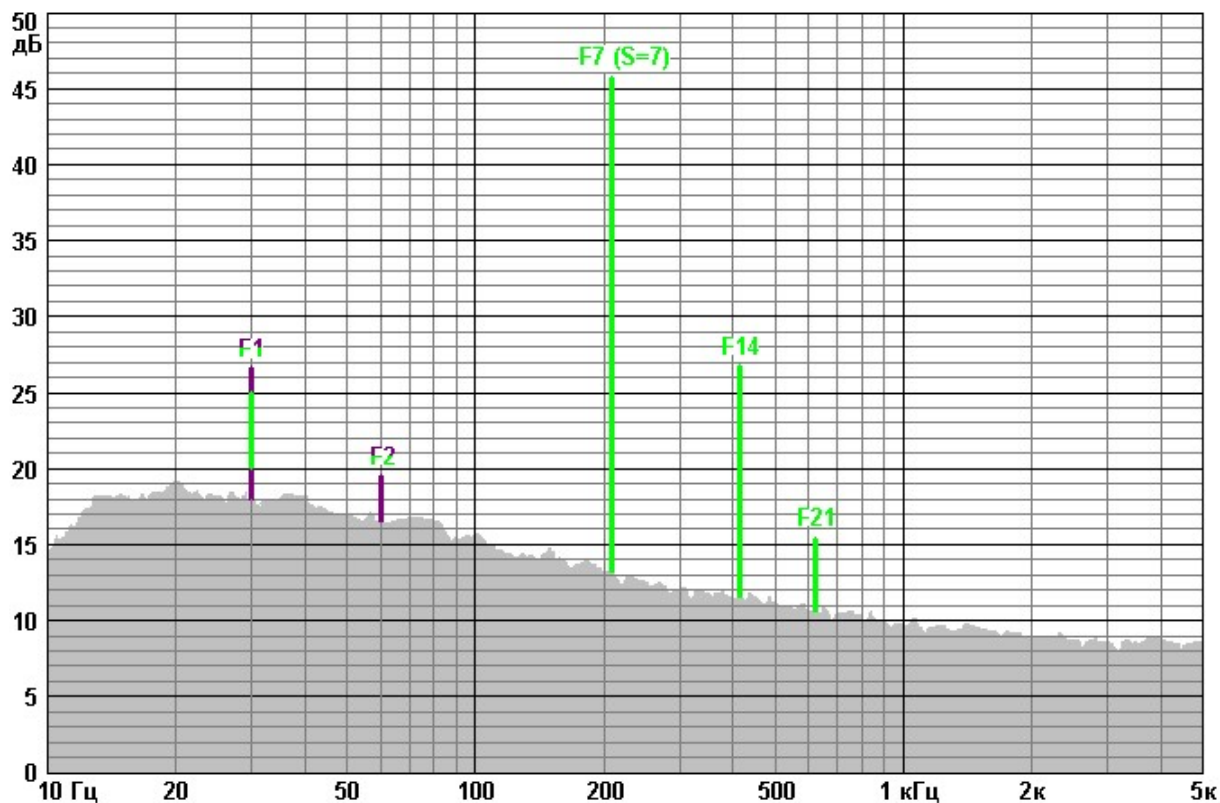


Рис. 2.2.2.6. Маскирование гармонических составляющих широкополосными шумами

Примечания.

- Широкополосные шумы легко вычлняются из общего шума на слух или с помощью анализатора спектра.
- Так же легко оцениваются и сравниваются с аналогичными шумами, скажем так, эталонного вентилятора.

2.3. Двигатель

♦ Шумы и вибрации, вносимые работой мотора, стоят на втором месте после шумов и вибраций аэродинамического происхождения при работе вентилятора на высоких и средних скоростях. И по заметности выходят на первое место при низких скоростях вращения крыльчатки.

Частота вибраций вносимых мотором, как правило, лежит в диапазоне (40...2000) Гц. Кроме того, некоторые конструктивные элементы вентилятора, возбуждаемые рывками (щелчками) сил электромагнитного происхождения, вибрируют (звенят) на своих весьма высоких (от 1-2 кГц и выше) резонансных частотах вовсе не кратных частоте коммутации.

Высокочастотные составляющие от (200...500) Гц и выше (в зависимости от размеров вентилятора) неплохо излучаются непосредственно самим вентилятором.

Вибрации более низких частот передаются от мотора на корпус вентилятора. Далее через жесткие сочленения (крепёж вентилятора и/или кулера и крепёж материнской платы) они попадают на корпус системного блока и являются причиной дополнительного шума с частотами вплоть до (2...4) кГц и выше, в зависимости от конструкции корпуса (вследствие, так сказать, гармонического размножения колебаний с комбинационными частотами).

В традиционных конструкциях компьютерных вентиляторов с бесконтактной коммутацией основные действующие силы имеют электромагнитное и электродинамическое происхождение. Магнитное поле создается при протекании электрического тока через обмотки (обмотку) статора мотора и вращает ротор, представляющего собой кольцевой постоянный магнит с четырьмя полюсами **N-S-N-S**. Коммутация же обмоток (обмотки) происходит с частотой коммутации F_k вдвое большей частоты вращения крыльчатки $F_{вр}$. В результате в индукторе четырежды за оборот возникает магнитное поле, проворачивающее магнит ротора.

Обмотки статора возбуждаются прямоугольными импульсами, которые подаются за 45° перед положением максимума момента вращения одной из обмоток, и заканчиваются на 45° позже положения максимума момента вращения этой же обмотки. Далее аналогично прямоугольный импульс подается на другую обмотку, а в однообмоточных моторах изменяется полярность напряжения на одной единственной обмотке. И так в четырехполюсном индукторе происходит четыре раза за один оборот крыльчатки. Соответственно при этом четыре раза за один оборот крыльчатки плавно изменяется значение вращающего момента (сил взаимодействия между статором и ротором).

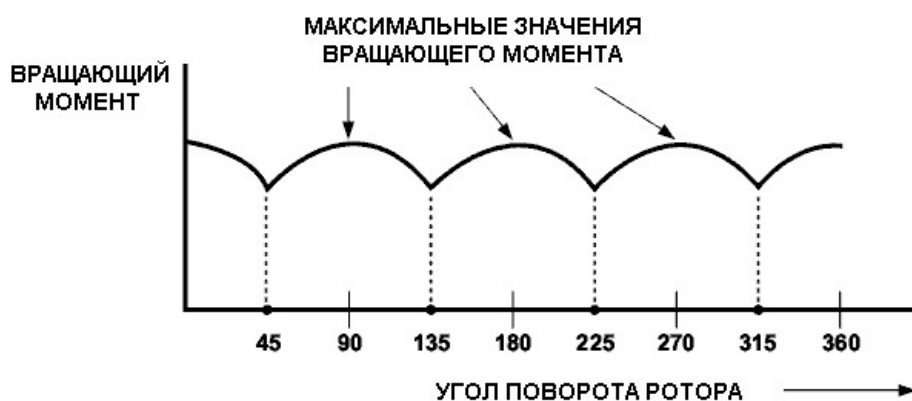


Рис. 2.3.1. Изменение вращающего момента в идеальном моторе

Изменение значения вращающего момента (сил взаимодействия между статором и ротором) приводят к возникновению шумов и вибраций, которые часто называют "коммутационными шумами".

♦ Даже в идеальном варианте такого возбуждения индуктора:

- *основная частота (основной тон) шумов и вибраций, вносимых работой мотора вдвое выше частоты коммутации F_k и вчетверо выше частоты вращения $F_{вр}$ крыльчатки, что соответствует четвертой гармонике F_4 в общем составе вибраций вентилятора;*
- *импульсный характер работы мотора обуславливает наличие высших гармоник с частотами кратными основной частоте вибраций, вносимых двигателем $2 \cdot F_4 = F_8$, $3 \cdot F_4 = F_{12}$, $4 \cdot F_4 = F_{16}$, $5 \cdot F_4 = F_{20}$... (соответственно с частотами в два, три, четыре, пять и т.д. раз больше основной частоты вибраций, вносимых двигателем);*
- *на высоких и средних скоростях амплитуда этих шумов и вибраций, как правило, меньше амплитуды вибраций и шумов аэродинамического происхождения.*

На рисунках ниже отношение к вибрациям, вносимым двигателем, условно указано красным цветом.

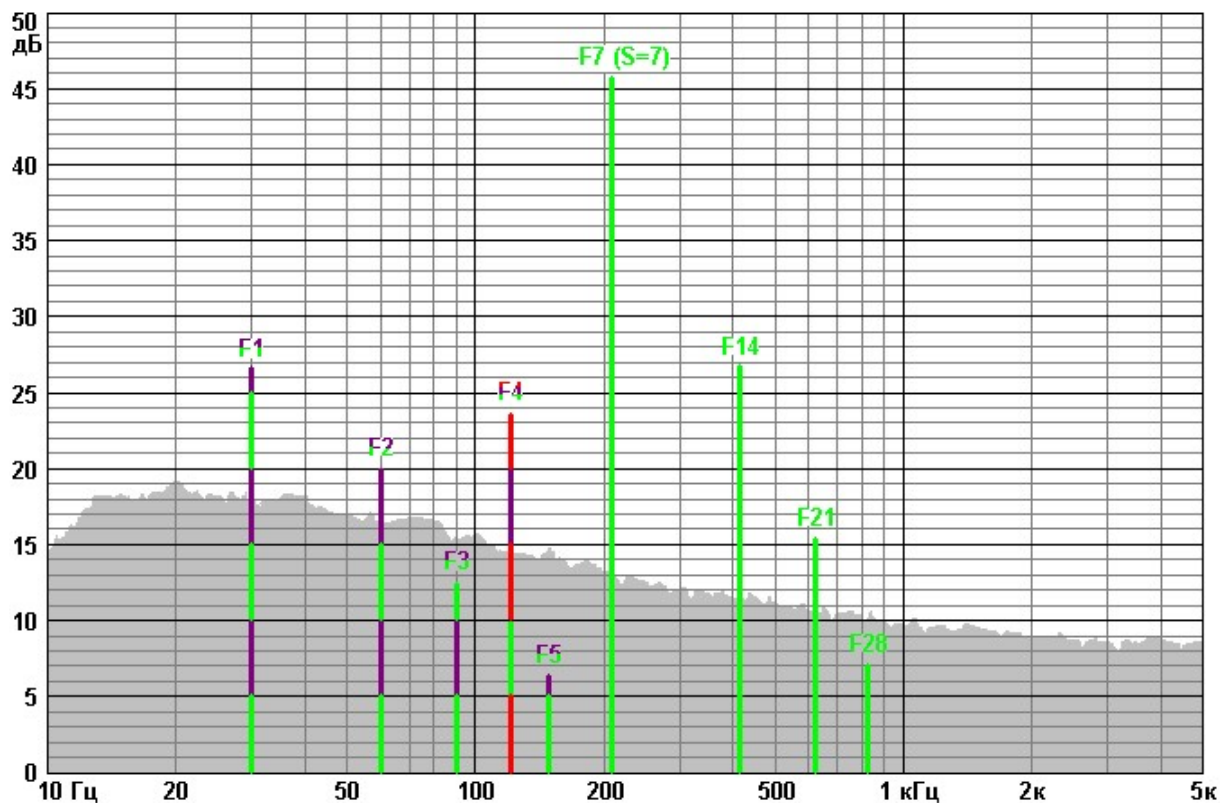


Рис. 2.3.2. Частоты шумов и вибраций, вносимых работой мотора

При такой "идеальной" коммутации "голос" мотора напоминает мягкий гул.

Однако в реальных моторах при коммутации обмоток наблюдаются резкие провалы величины вращающего момента вплоть до нулевого значения.



Рис. 2.3.3. Изменение вращающего момента в реальном моторе

В однообмоточных моторах все очевидно. При смене полярности напряжения на обмотке меняется и направление тока через нее, проходя в некоторый момент через нулевое значение.

В двухобмоточных моторах обмотки намотаны противофазно, поэтому, когда при уменьшении тока через одну обмотку и увеличении через другую токи в обмотках сравниваются, суммарное ускоряющее магнитное поле тоже будет равно нулю.

♦ Таким образом, при каждом переключении обмоток (обмотки) скачком изменяется вращающий момент, и крыльчатка испытывает ощутимый рывок, приводящий к возникновению вибраций в конструктивных элементах вентилятора.

♦ Чем быстрее происходит переключение обмоток, тем круче фронт и срез управляющих сигналов, подаваемых на обмотки мотора, тем резче происходит изменение магнитного поля, тем резче воздействие его на конструктивные элементы мотора, сильнее рывки крыльчатки, богаче спектральный состав вибраций, больше амплитуда высокочастотных составляющих и, следовательно, жестче, резче и звонче "голос" мотора. *Он воспринимаются слухом уже не как мягкий низкочастотного гул, а как "воркующий рокот" мотора.*

♦ А, уж если скорость переключения настоль высока, что при запирации ключевых элементов появляется выбросы (переколебания) обратного напряжения на катушках мотора, то на слух в составе вибраций появляется звонкий "цокот, стрекот или треск", шум становится похож на жужжание или быстро-быстро повторяющееся "тиканье" часов, щелканье или стрекот спортивного велосипеда, движущегося накатом.

Это поясняется тем, что некоторые конструктивные элементы вентилятора, возбуждаемые рывками (щелчками) сил электромагнитного происхождения, начинают вибрировать (звенеть) на своих весьма высоких (от 1-2 кГц и выше) резонансных частотах вовсе не кратных частоте коммутации.

Рывки (щелчки) сил являются как бы "молоточком, возбуждающим колебания", и на звуковом спектре возникает поднятие, похожее на "зазубренный холм".

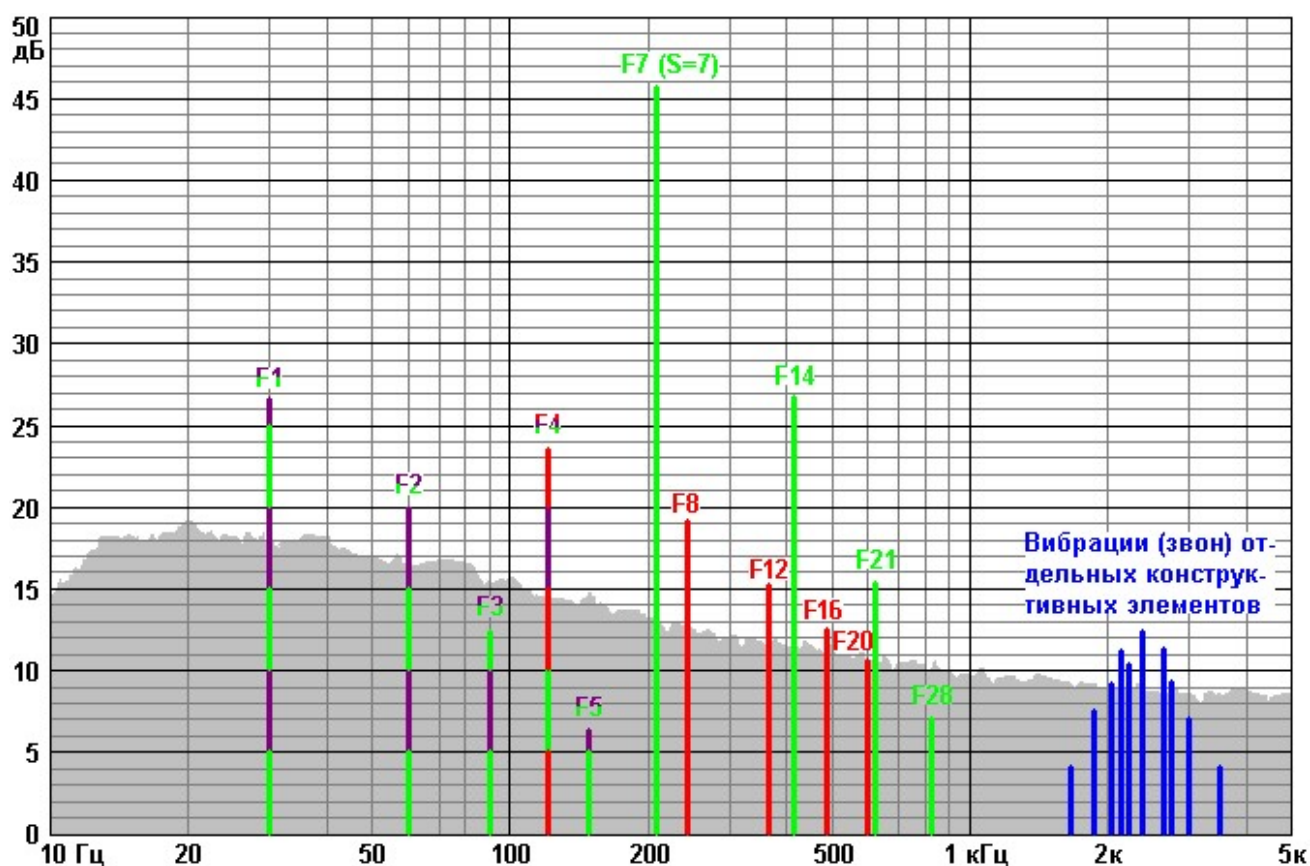


Рис. 2.3.4. Вибрации (звон) отдельных конструктивных элементов

В связи с тем, что разные элементы конструкции имеют различные резонансные частоты, на звуковом спектре могут возникать как одно резонансное поднятие, так и несколько, причем степень поднятия будет различной.

При наличии перекосов магнита ротора, магнитопровода статора и/или погрешности намагничивания магнита ротора имеющего 4 полюса (N-S-N-S) меняется характер кривой

вращающего момента, и могут возникать вибрации с частотой первой **F1**, второй **F2** и кратных им гармоник вибраций вентилятора в целом.

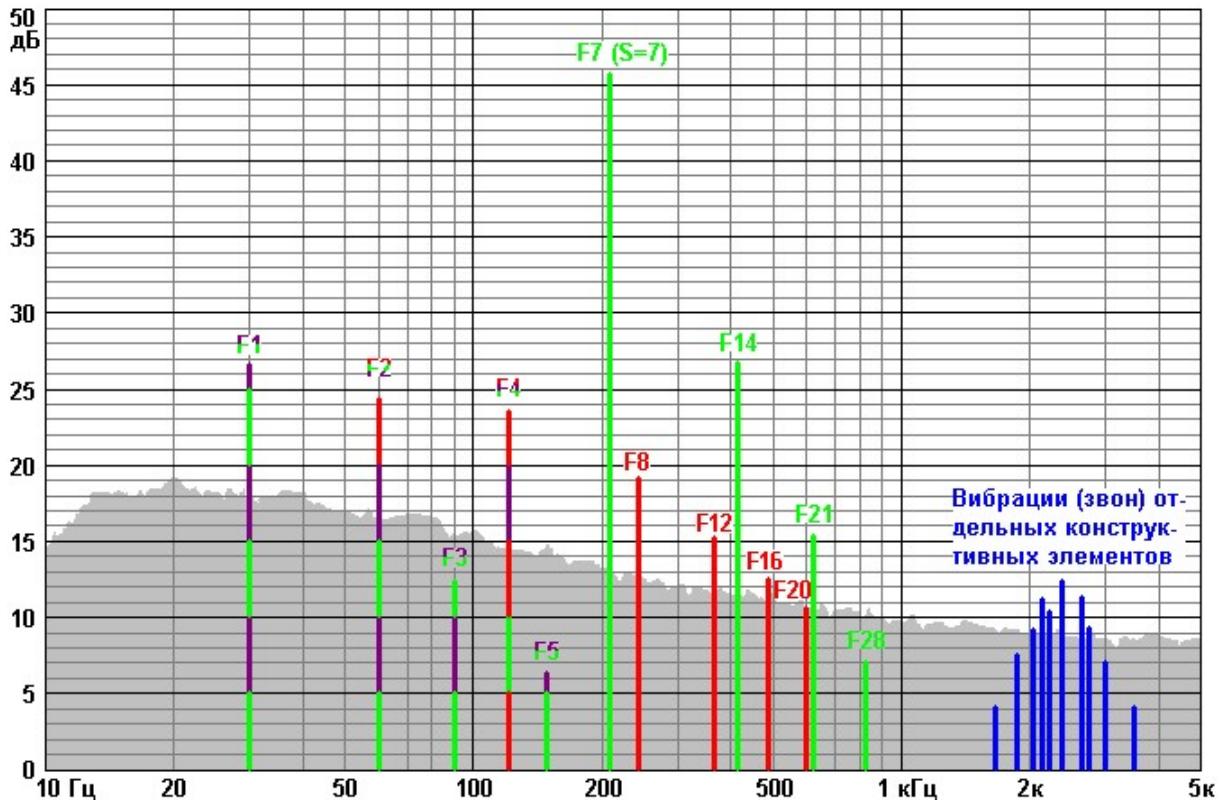


Рис. 2.3.5. Частоты шумов и вибраций при наличии перекосов и погрешностей намагничивания

Обычно наибольшая амплитуда бывает у **F4**, реже у **F2**. Зависит это от особенностей дефектов мотора (перекосов магнита ротора, магнитопровода статора и/или погрешности намагничивания магнита ротора).

♦ На слух гул, рокот, жужжание, стрекот все эти проявления по сути одного и того же процесса воспринимаются как-то несвязанно и отдельно друг от друга.

Исходя из этого двойного ощущения, шумы и вибрации, вносимые мотором, условно можно разделить как бы на две составляющие:

- низкочастотные вибрации, воспринимающиеся как низкочастотный гул или "воркующий рокот";
- высокочастотные вибрации, воспринимающиеся как жужжание, звонкий треск, стрекот или щелканье.

Примечания.

- ♦♦ Характерная особенность шумов и вибраций, вносимые мотором - мгновенное пропадание стрекота, щелканья или жужжания при отключении питания двигателя.
- Вибрации, вносимые работой мотора, наиболее удобно оценивать с помощью анализатора спектра.

♦ Если есть возможность, то лучше выбирать вентилятор или сочетание мотор-крыльчатка с минимальными амплитудами **F8, F12, F16** ... даже при несколько большей амплитуде **F4**. Дело в том, что при невысоких оборотах (**RPM** приблизительно до 1500 об/мин - зависит от

типоразмера вентилятора) **F4** практически не излучается вентилятором в виде воздушного шума.

Например, при 1500 об/мин крыльчатки частота первой гармоники **F1** составляет всего 1500 об/мин / 60 = 25 Гц.

Тогда частота основного тона вибраций мотора

$$\mathbf{F4} = 4 * \mathbf{F1} = 100 \text{ Гц.}$$

♦ *Размеры вентилятора не позволяют эффективно излучать звуковые волны с частотой основного тона вибраций мотора. Поэтому практически они создают только структурный шум, от которого несложно избавиться с помощью виброизоляторов и подвесов.*

А вот высшие гармоники в этом случае

$$\mathbf{F8} = 2 * \mathbf{F4} = 200 \text{ Гц,}$$

$$\mathbf{F12} = 3 * \mathbf{F4} = 300 \text{ Гц,}$$

$$\mathbf{F16} = 4 * \mathbf{F4} = 400 \text{ Гц и т.д.}$$

уже довольно заметны в виде воздушного шума, борьба с которым куда сложнее.

Высокочастотные составляющие треска прекрасно излучается самим вентилятором в виде воздушного шума. Также весьма неплохо распространяется они и в виде структурного шума.

♦ *Тенденция (хотя и не без исключений) - чем больше зазор между магнитом ротора и магнитопроводом статора, тем мягче работает двигатель, меньше амплитуда высших гармоник.*

♦ *Тенденция (практически без исключений) – в сильно трещащих моторах отсутствуют элементы смягчающие коммутацию. Хотя на многих платах, особенно в китайских моторах, предусмотрена установка таких элементов, но они, вероятно из экономии, не впаиваются.*

♦ *Тенденция (практически без исключений) – чем вязче и "глуше" материал крыльчатки и корпуса, тем глуше-тише треск.*

♦ *Тенденция (без исключений) – чем больше длительность переключения обмоток, там мягче и тише работа мотора.*

♦♦ *Заметность треска на фоне остальных шумов, как правило, возрастает с понижением частоты вращения крыльчатки и уменьшением шумов воздушного происхождения, маскирующих эту составляющую.*

Примечания.

- Высокочастотный треск обладает сильным раздражающим воздействием.
- Легко вычлняются из общего шума на слух (особенно на низких оборотах с уменьшением аэродинамических и др. шумов).
- На слух же легко оценивается и сравниваются с аналогичным треском, скажем так, эталонного вентилятора.

2.4. Подшипники

Шуршание, хруст, скрип, свист (особенно у шариковых подшипников) *вылезающие на передний план по мере успехов борьбы с другими составляющими шумов* знакомо всем, кто дорожит тишиной.

Весьма часто в системном блоке, где аэродинамический шум вентиляторов низок, преобладающим шумом вентиляторов является шум их подшипников.

Такой механический шум возникает не только вследствие износа или конструктивных дефектов подшипников. Даже у исправных вентиляторов подшипники шумят.

В подшипниках скольжения и на поверхности вала, и на внутренней поверхности втулки обязательно присутствуют микроскопические трещины, раковины и т.п. Очевидно, что при этом в паре вал-втулка возникает трение, и без шума тут уже не обойтись.

Определенный шумовой вклад вносят и различного рода сальники и шайбы, которые вращаются (точнее говоря, проворачиваются) вместе с валом.

♦ Часто в низкоскоростных и малошумящих вентиляторах вносимые ими пощелкивающие, поскрипывающие и шуршащие звуки оказываются наиболее раздражающими.

Что же касается конструктивных дефектов, то они могут серьезно усугублять ситуацию и значительно увеличивать интенсивность шума.

Наиболее существенным из них для подшипника скольжения является дисбаланс ротора (крыльчатки), который, в конце концов, приводит к так называемой эллипсности втулки. Такой дефект является причиной появления четко выраженных низкочастотных вибраций с гармониками вплоть до среднечастотной области спектра шума подшипника. Интенсивность шума при этом увеличивается, и в субъективном ощущении он становится весьма жестким и раздражающим.

Также очень неблагоприятно влияют на акустические свойства вентилятора с подшипником скольжения некачественная смазка (или ее недостаточность) и большой зазор между валом и втулкой.

В подшипниках качения масса трущихся деталей: внутреннее и внешнее кольцо, шарики, сепаратор. Это само по себе предрасполагает к шуму.

Более того, подшипники качения, в отличие от подшипников скольжения, очень восприимчивы к внешним механическим воздействиям (удары, падения и т.п.). И, как следствие, имеют богатый "букет" дефектов, что обычно приводит к более высокой интенсивности шума. Часто в некачественных или поврежденных подшипниках шум резко возрастает уже через несколько недель работы.

♦ Поэтому нет ничего удивительного в том, что вентиляторы на подшипниках качения даже в нормальном (исправном) состоянии обычно на 2-5 дБА шумнее своих "близнецов" на подшипниках скольжения. Особенно при малых скоростях вращения крыльчатки, где шумы аэродинамического происхождения не столь велики.

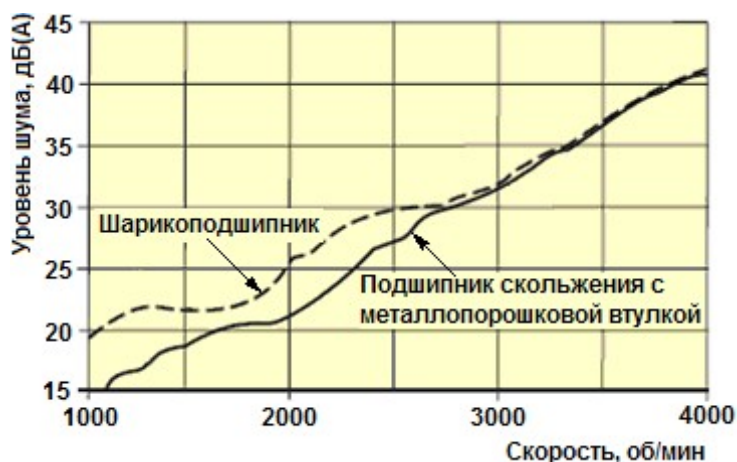


Рис. 2.4.1. Шум подшипников

♦ Шумы подшипников на слух легко вычлняются из общего шума.

♦ На слух же легко оцениваются и сравниваются с аналогичными шумами, скажем так, эталонного вентилятора.

В подшипниках и качения, и скольжения действуют две главные силы - кинематические и силы трения. В дефектных подшипниках качения иногда появляется и третий вид сил - ударного типа.

2.4.1. Подшипники качения

Вибрации, создаваемые в подшипниках качения силами кинематического происхождения, характеризуется следующими основными частотами.

Частотой перекачивания тел качения по наружному кольцу F_H (наличие этой составляющей вибрации определяется тем, что тела качения - это не лучшая дорога, по которой катится вал ротора, т.е. вал "подпрыгивает" на каждом теле качения):

$$F_H \approx 0,4 * F_{BP} * Z$$

где Z - число тел качения (шариков).

Частотой перекачивания тел качения по внутреннему кольцу F_B (эта составляющая вибрации появляется, если вал (внутреннее кольцо подшипника) не идеально круглый, а, например, имеет локальный износ. Тогда вал "проваливается" на каждом теле качения, когда последнее попадает в зону износа:

$$F_B \approx 0,6 * F_{BP} * Z.$$

Причем всегда $F_H + F_B = Z * F_{BP}$.

Частотой вращения сепаратора F_C (эта составляющая вибрации появляется, если одно из тел качения имеет меньший (большой) диаметр. Тогда вал "проваливается" или "подпрыгивает", когда это тело оказывается под ним)

$$F_C \approx 0,4 * F_{BP}.$$

И последнее. Если тело качения (шарик) не круглое, а имеет гранность, то с частотой его вращения F_{TK} вал либо "подпрыгивает", либо "проваливается".

$$F_{TK} \approx 1,62 * F_{BP}.$$

В вибрации проявляются обычно четные гармоники этой частоты.

Примечание. Значения указанных выше частот рассчитаны для наиболее часто используемых в вентиляторах типовых подшипников качения типоразмера 8 x 3 x 4 с шестью шариками. Практически эти значения могут быть несколько иными.

На рисунках ниже отношение к вибрациям, вносимым подшипниками, условно указано черным цветом.

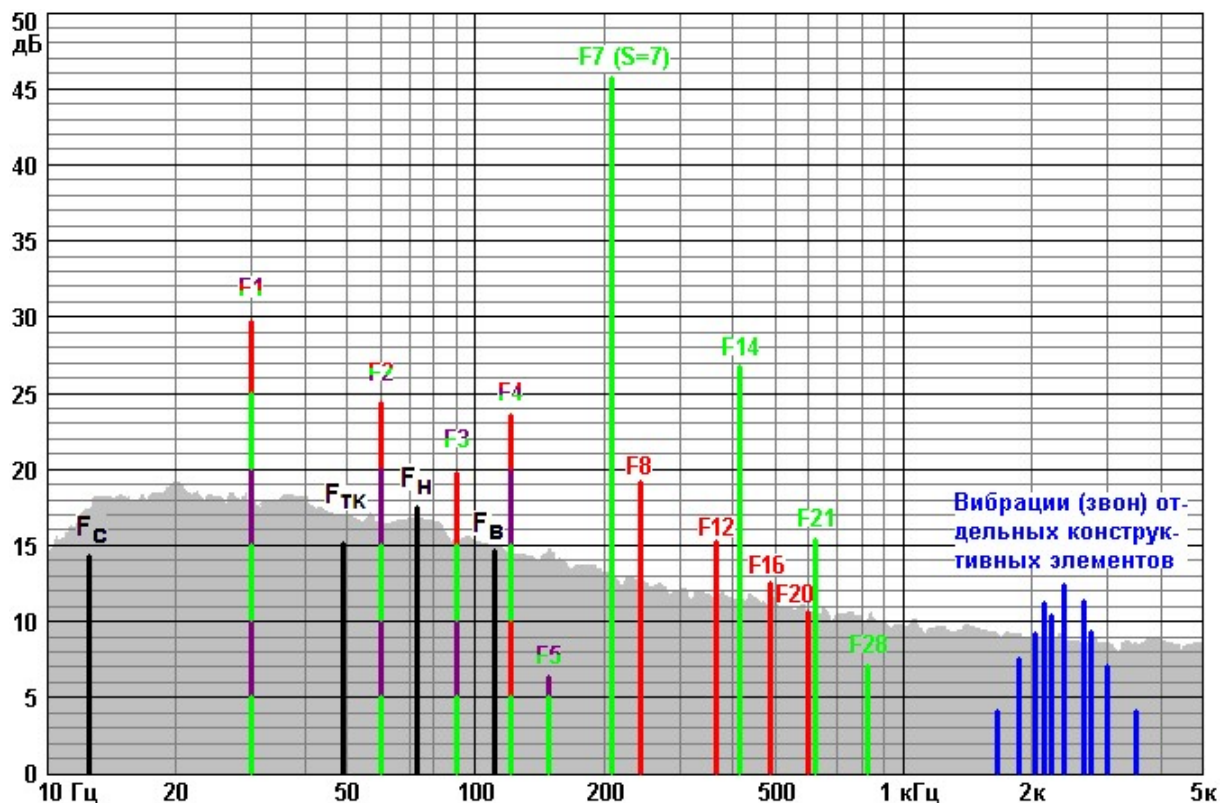


Рис. 2.4.1.1. Вибрации, создаваемые в подшипниках качения силами кинематического происхождения

Примечание. На рисунке для упрощения представлены только основные частоты вибраций подшипников качения, хотя могут присутствовать и их гармоники.

♦ Если подшипник новый, и все поверхности качения "круглые", то амплитуда вибраций обычно невелика и маскируется широкополосным шумом. Разве только можно ожидать вибрацию на F_N и кратных частотах (неровная "дорога").

♦ Если есть дефекты шариков или поверхностей качения, и достаточно большие, то вал будет "подпрыгивать" с частотами, связанными со всеми имеющимися дефектами.

♦ Если это "подпрыгивание" сильное, то он может продавить смазку, и возникнут "сухие" удары, которые возбуждают высокочастотную вибрацию. Подшипник начинает "визжать". Так же удары могут появиться, если смазка не очень хорошая и ее слой легко "рвется".

♦ В подшипнике действуют еще и силы трения. Они так же возбуждают высокочастотную вибрацию, и при дефектах, сопровождающих даже частичное "продавливание" смазки, величина сил трения и амплитуда вибрации будет меняться. Появится специфическое "повизгивание" шарикоподшипника.

2.4.2. Подшипники скольжения

Кроме сил кинематического происхождения и сил трения в подшипниках скольжения действуют силы, являющиеся результатом нелинейного взаимодействия статической нагрузки с силами трения, т.е. силы, сопровождающие автоколебания ротора в подшипниках.

Автоколебания ротора в подшипниках скольжения очень похожи на маятниковые колебания вала относительно положения равновесия в нижней точке подшипника. Вал выводят из положения равновесия силы трения, а возвращает сила тяжести. Причина

неустойчивого равновесия - в нелинейной зависимости сил трения от толщины масляного слоя, которая растет по мере смещения вала от положения равновесия. Частота автоколебаний тем меньше, чем больше зазор в подшипнике, т.е., чем больше его износ.

♦ Как правило, частота автоколебаний изменяется скачками с частоты F_{BP} на $1/2 F_{BP}$, а в некоторых случаях, по мере износа, на $1/3 F_{BP}$.

На слух такие автоколебания воспринимаются как довольно громкое тархтение-рычание, которое трудно спутать с чем-то еще.

♦ Но причиной автоколебаний может быть не только износ подшипника скольжения, но и снижение качества его смазки или нарушение ее подачи в подшипник.

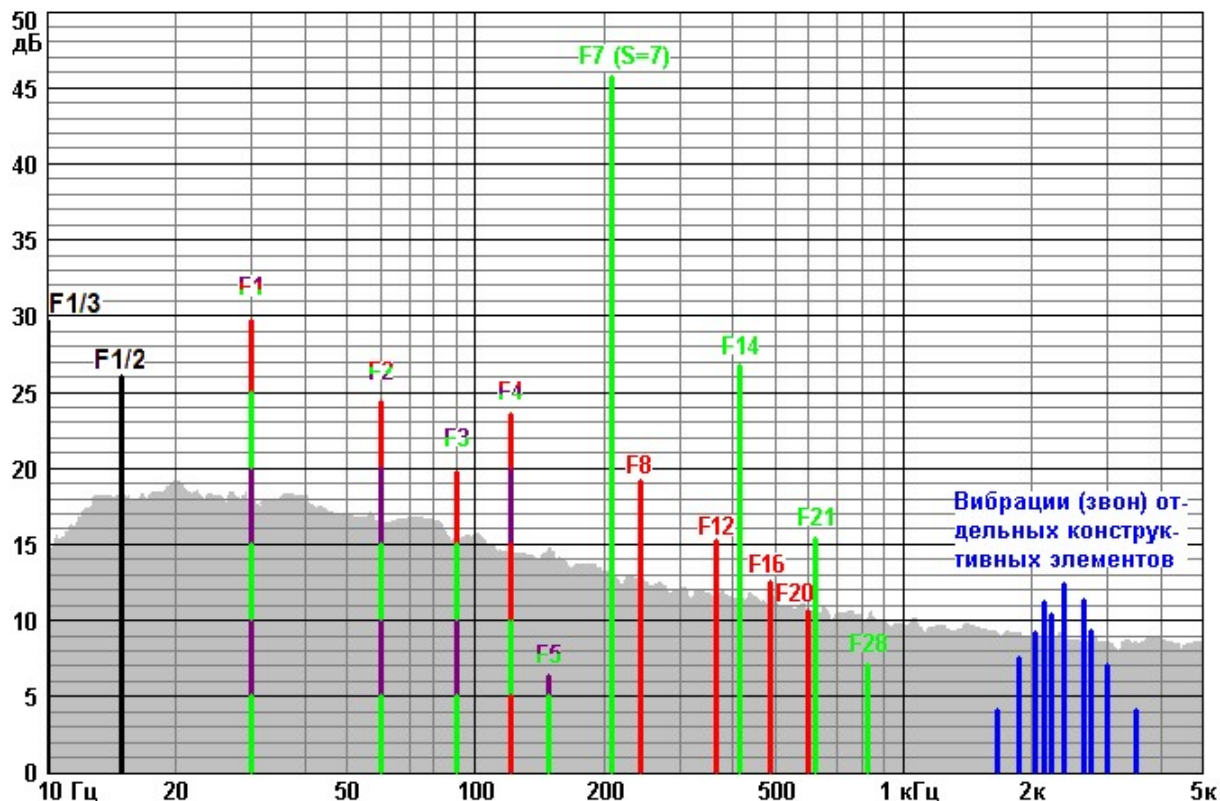


Рис. 2.4.2.1. Спектр вибраций вносимых подшипником скольжения с автоколебаниями вала

Примечание. На рисунке представлены только основные частоты вибраций вносимых подшипником скольжения с автоколебаниями вала.

Автоколебания могут возникать и в подшипниках качения, но крайне редко и при большом его износе. Частота автоколебаний ротора в подшипниках качения, как правило, совпадает с двойной частотой вращения сепаратора.

2.5. Вибрации с комбинационными частотами

Как уже ранее упомянуто, для возбуждения колебаний источников вибраций на них должны действовать какие-то динамические силы, действующих на определенных частотах и вызывающих колебания конструктивных элементов вентиляторов и воздушных масс вблизи вентилятора.

Вентиляторам же, как и любой механической системе, обычно присущ целый ряд нелинейностей. Из-за чего как сами воздействующие силы, так и отклик на них отклоняется от линейного закона, и, следовательно, характер ("форма") возникающих вибраций так же

будет отличаться от характера ("формы") возбуждающих сил. В составе вибраций появляются гармоники, которых нет в составе исходно воздействующих сил. Причем чем больше скорость вращения, тем больше величина воздействующих сил и сильнее проявление нелинейностей. При слабых же возбуждающих силах на низких оборотах многие вентиляторам ведут себя почти линейно.

Нелинейности своим появлением обычно обязаны:

- недостаточной жесткости деталей и узлов вентилятора вкпе с переменной составляющей их жесткости и жесткости элементов крепления и подвеса самого вентилятора;
- нелинейным силам сопротивления, таким как силы трения в подшипниках и силы сопротивления, возникающие при движении крыльчатки в воздухе;
- зазорам, люфтам и износу подшипников.

♦ Таким образом, нелинейности сами по себе колебаний не возбуждают, но являются непосредственной причиной появления вибраций – вибраций, как с кратными, так и с комбинационными частотами.

Например, пусть несбалансированная крыльчатка вращается в исправном подшипнике вентилятора с линейной механической структурой. Тогда крыльчатка вентилятора воздействует на подшипник с синусоидальной силой на частоте вращения $F_{вр} = F1$, и других частот в этом возбуждении нет.

Если механическая структура вентилятора нелинейная, то возбуждающая синусоидальная сила будет искажена, и в результирующем спектре вибрации помимо частоты $F_{вр} = F1$ появятся кратные ей гармоники с частотами $F2, F3, F4, F5$ и т.д.

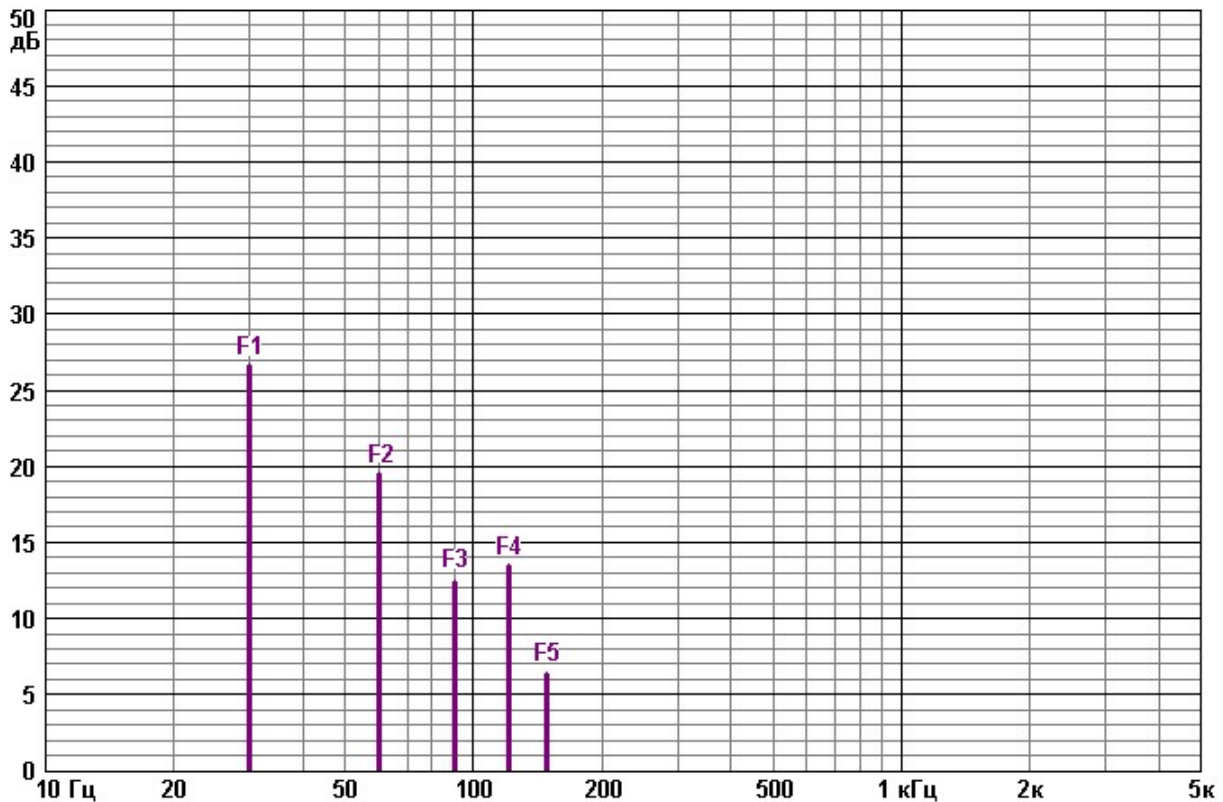


Рис. 2.5.1. Кратные гармоники

Обычно с ростом номера гармоник амплитуда их уменьшается, а некоторые гармоники в результирующем спектре вибраций могут и отсутствовать, но не всегда. Это зависит от нелинейных свойств вентилятора.

Количество гармоник в спектре и их амплитуда являются мерой нелинейности машины. Чем больше нелинейность и чем меньше жесткость конструкции вентилятора, тем больше количество гармоник и больше их амплитуда.

Однако кратными гармониками дело не ограничивается.

Гармоники возникают и в результате, так называемых "биений" двух или нескольких основных гармоник. Появляются не только гармоники с частотами кратными частотам основных гармоник, но и гармоники с комбинационными частотами равными суммам и разностям частот всех близких друг к другу гармоник.

Например, любому из рассматриваемых вентиляторов в той или иной степени присущи вибрации с основными частотами $F_{вр} = F_1$ связанные с дисбалансом крыльчатки, F_4 создаваемые импульсным мотором и вибрации с лопаточной частотой F_5 .

Например, пусть крыльчатка сбалансирована, тогда исходно в общем составе вибраций вентилятора с $N = 3000$ об/мин присутствуют, только основная частота мотора $F_4 = 200$ Гц и колебания с лопаточной частотой семилопатной крыльчатки $F_7 = 350$ Гц. Однако из-за нелинейностей вентилятора дополнительно могут обнаружиться:

Высшие гармоники кратных частот F_4 и F_7 :

$$2 * F_4 = F_8 = 400 \text{ Гц}, 3 * F_4 = F_{12} = 600 \text{ Гц и т.д.};$$

$$2 * F_7 = F_{14} = 700 \text{ Гц}, 3 * F_7 = F_{21} = 1050 \text{ Гц}, 4 * F_7 = F_{28} = 1400 \text{ Гц и т.д.}$$

Простые комбинационные частоты:

$$F_7 + F_4 = F_{11} = 550 \text{ Гц и } F_7 - F_4 = F_3 = 150 \text{ Гц.}$$

Сложные комбинационные частоты, возникшие в результате биения гармоник с основными частотами и друг с другом:

$$2 * F_4 + F_7 = 400 + 350 = F_{15} = 750 \text{ Гц};$$

$$2 * F_4 - F_7 = 400 - 350 = F_1 = 50 \text{ Гц и т.д. и т.п.}$$

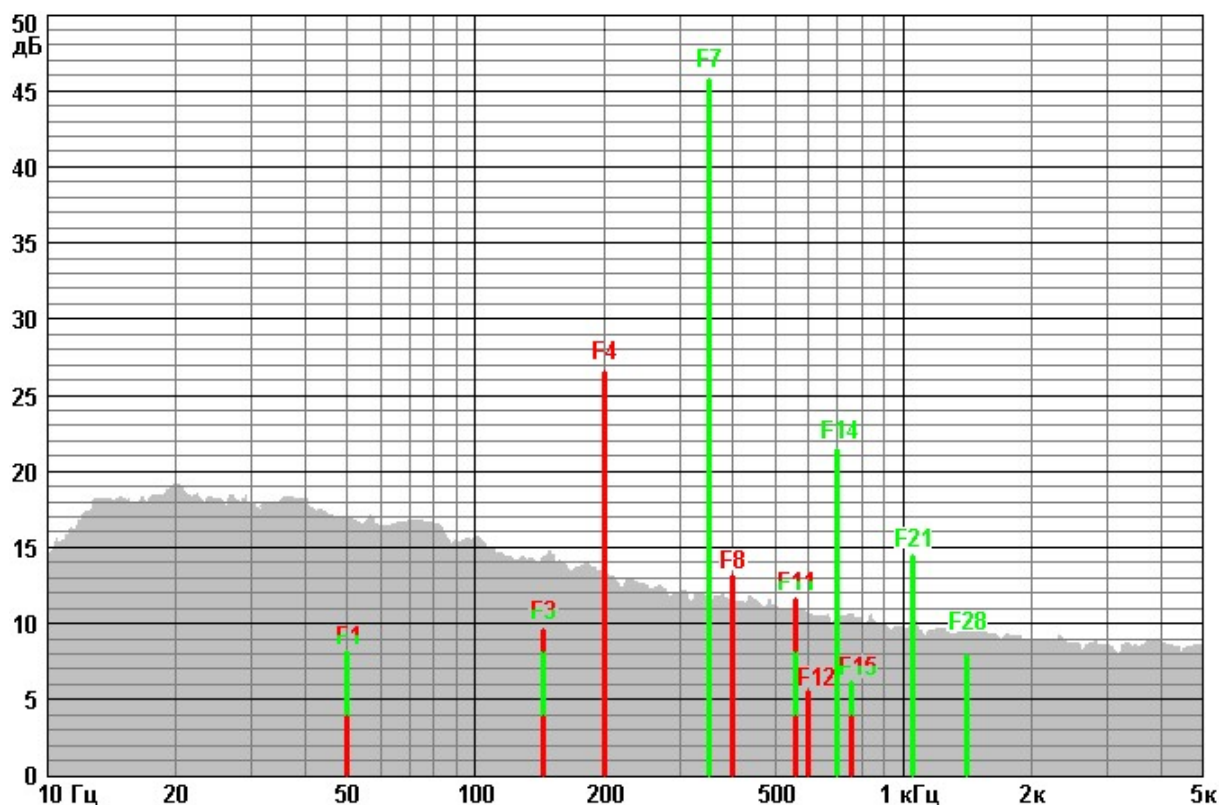


Рис. 2.5.2. Гармоники с кратными и комбинационными частотами

У хороших вентиляторов да на малых оборотах амплитуды гармоник с комбинационными частотами, как правило, не велики. Большинство их маскируется широкополосным шумом. Но не всегда. Все зависит от жесткости конструкции и степени ее нелинейности.

Выводы.

- Нелинейности сами по себе колебаний не возбуждают, но являются непосредственной причиной появления вибраций – вибраций, как с кратными, так и с комбинационными частотами.
- *♦ Количество гармоник в спектре и их амплитуда являются мерой нелинейности машины. Чем больше нелинейность и чем меньше жесткость конструкции вентилятора, тем больше количество гармоник и больше их амплитуда.*
- *♦ Гармонические искажения практически всегда сильнее на высоких оборотах при больших уровнях действующих сил.*
- *♦ Увеличение числа гармоник и рост их амплитуды - первый признак ухудшения состояния вентилятора и роста его шумов.*

3. УМЕНЬШЕНИЕ ШУМОВ И ВИБРАЦИЙ ВЕНТИЛЯТОРОВ

Вообще на акустику вентиляторов воздействуют практически все конструктивные, механические, структурные и схмотехнические особенности. Форма крыльчатки и корпуса, в котором размещен вентилятор, качество обработки их поверхностей, высокая точность изготовления, хорошая динамическая балансировка ротора и отсутствие заусенцев (обля), высокая жесткость и прочность механических конструкций, хорошее демпфирование всех внутренних резонансов, особенности построения схемы управления мотором - важные аспекты хорошей акустики вентилятора.

Попробуем собрать все это в кучу и распределить по полочкам.

◆◆◆ И начнем с ГЛАВНОГО МЕТОДА УМЕНЬШЕНИЯ ШУМОВ И ВИБРАЦИЙ ВЕНТИЛЯТОРОВ.

С выбора подходящего для создания малошумящей системы вентилятора с минимальными исходно создаваемыми шумами и вибрациями.

3.1. Выбор вентилятора

Сложнейший это выбор. Здесь в одном узле переплетены цена, типоразмер, производительность, давление, шумы и вибрации вентилятора, **возможные способы уменьшения создаваемого им шума.**

Например, чем выше производительность вентилятора, тем выше шумы и вибрации создаваемые им. Да и эффективные малошумящие вентиляторы не самые дешевые. И не все вентиляторы просто и удобно разбираются и поддаются модернизации.

◆ Поэтому, чем лучше пользователь представляет свои финансовые возможности, назначение, место установки и требования, как к вентилятору, так и к компьютеру и чем лучше прогнозирует его эволюцию, тем удачнее можно сделать этот выбор.

◆ Перед покупкой следует четко определиться с:

- местом установки конкретного вентилятора;
- наличием и типом виброизоляторов в креплении;
- наличием в системном блоке и качеством шумовибропоглощающих материалов;
- общим подходом, наконец, к проблеме подавления шума системного блока.

Все это меняет заметность между воздушными и структурными составляющими шума, низкочастотными и высокочастотными шумами. И, следовательно, критерии к выбору вентиляторов.

Например:

- Шумы (точнее воздушный шум) вентилятора, установленного на передней стенке корпуса гораздо заметнее, чем шумы вентилятора на задней стенке.
- Вибрации (точнее структурный шум), как правило, наиболее заметны при установке вентилятора на широкую боковую стенку корпуса.
- Наличие вблизи вентилятора решеток и других преград на пути движения воздушного потока как резко увеличивает широкополосные воздушные шумы, так и может приводить к увеличению вибраций крыльчатки и мотора. Кроме того снижается расход.
- Неравномерное перекрытие преградой только части открытой площади вентилятора создает неравномерное воздушное давление на лопасти крыльчатки в течение каждого оборота. Соответственно, могут появиться дополнительные вибрации (воспринимаются как низкочастотный гул), сокращается срок службы подшипников.
- Наличие мягкого подвеса, виброизоляторов позволяет при выборе вентилятора меньше внимание обращать на дисбаланс крыльчатки и вибрации мотора с частотой их основного тона. В этом случае следует отдать предпочтения меньшим значениям вибраций лопастей крыльчатки, шумов подшипников и шелеста воздуха.
- Напротив, правильно организованная звукоизоляция и наличие внутри корпуса шумоизолирующих материалов, поглощающих в первую очередь высокочастотные шумы, позволяет в некоторой степени ослабить требования к шумам подшипников и шелесту воздуха вентиляторов, устанавливаемых в глубине корпуса.

- Высокое сопротивление воздушному потоку - снижает расход и, в определенной степени, способствует увеличению практически всех составляющих шума, за исключением разве шума подшипников.

◇ Особое значение имеет скорость вращения. От нее коренным образом зависит соотношение амплитуд, частот, заметности всех составляющих:

- В случаях, когда на первом плане, например, максимальная производительность вентилятора, его используют на максимальных оборотах при штатном напряжении питания. Здесь главное выбрать вентилятор с минимальными шумами воздушного происхождения. Все равно их вой и шелест задавят все остальные составляющие.
- А при главенствующем требовании минимального шума, когда заранее известно, что будут снижаться обороты, пожалуй, лучше выбирать вентилятор с минимальными шумами подшипников, без "треска" мотора. Они звучат крайне раздражающе.

Главное тут расставить приоритеты важнейших качеств: цена, производительность, шумы и вибрации, возможность модернизации вентилятора и т.д. Проанализировать возможные варианты и выбрать для себя наиболее подходящий. А вот подходит каждому свое.

Для примера несколько различных подходов к выбору.

Подход первый. Деньги не вопрос. Хочу все самое навороченное. Да и симпатичный вид обязателен, чтобы людям показывать и самому радоваться. Хочу, что б пошел и взял, ну, или подождал от силы неделю. И чтобы все было готовое, без мучительных доработок.

Подход второй. Денег нет. Главное сэкономить и ничего не дорабатывать, не модернизировать, на вид наплевать, шум - на что денег хватит. Конечно здесь главный фактор цена.

Подход третий. Подход оверклокеров, моддеров или же фанатов тишины. Таких пользователей становится все больше. Их желание иметь мощные машины не унять. Но шум совершенно неприемлем при ночном веб-серфинге, прослушивании музыки, просмотре качественного DVD и т.д. Для "прямых рук" нет проблем с доработками и модернизациями. Тут свой подход к выбору компонентов, их качеству и стоимости - что не сможем сделать, то купим на последние гроши.

◇ Но в любом случае не стоит упускать возможность приобрести за одну и ту же стоимость лучший по совокупности необходимых свойств вентилятор.

Конечно, со временем появятся другие модели компонентов, сдвигая выбор в ту или иную сторону, но общие принципы подходов к их выбору останутся.

Главное, конечно - это правильный выбор. Но, к сожалению, нет простого правила типа вентиляторы от одного производителя хорошие, а от другого плохие. Даже в одной партии встречаются весьма разные экземпляры.

◇ Так что совет один - советуйтесь с продавцами, со знакомыми, используйте изложенный здесь материал и обзоры в Интернете.

◇ А прежде чем купить вентилятор не постесняйтесь попросить подключить к нему питающее напряжение. **Прислушайтесь к нему и оцените шум. Возьмите вентилятор в руку и почувствуйте его вибрации**.

◇ Подумайте и сделайте вывод о необходимости его покупки. **Менять потом будет куда сложнее. А покупать другие - вовсе дороже**.

Именно с этого ГЛАВНОГО МЕТОДА УМЕНЬШЕНИЯ ШУМОВ И ВИБРАЦИЙ ВЕНТИЛЯТОРОВ начинается путь к тишине.

3.2. Управление скоростью вращения вентилятора

Это наиболее распространенный и весьма эффективный метод, применяемый для уменьшения шумов и вибраций практически любого происхождения.

Сущность этого метода заключается в уменьшении динамических сил вызывающих колебания конструктивных элементов вентиляторов и воздушных масс вблизи вентилятора путем уменьшения скорости вращения крыльчатки.

Кроме того, ухо человека имеет максимальную чувствительность к звукам с частотой 1...5 кГц и менее чувствительно к звукам других частот. Поэтому слуховое ощущение громкости звука зависит не только от звукового давления (или интенсивности звука), но и от частоты колебаний. Частотная зависимость чувствительности уха человека к колебаниям различных частот относительно чувствительности к колебаниям с частотой 1000 Гц имеет вид.

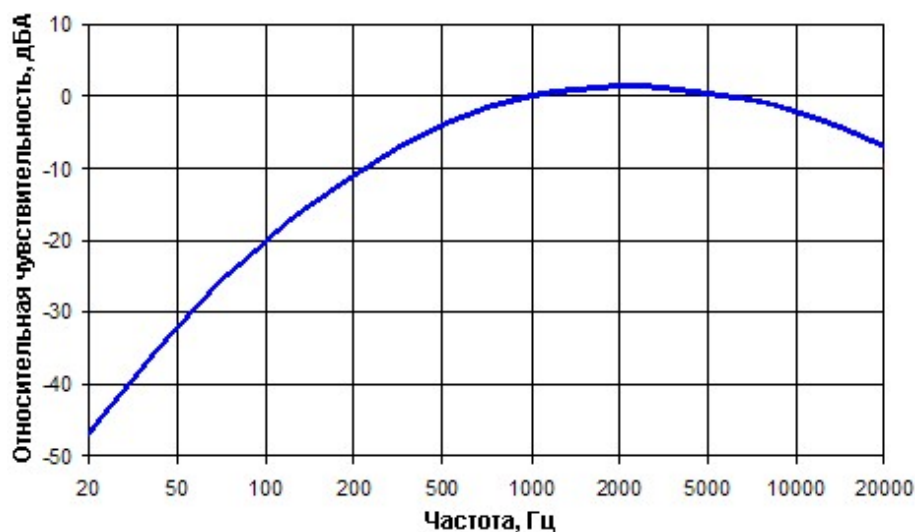


Рисунок 23 Частотная зависимость чувствительности уха человека

Благодаря этой особенности человеческого слухового восприятия со снижением скорости вращения вентилятора и, следовательно, снижением частоты гармонических составляющих вибраций слуховое ощущение громкости их уменьшается.

Например, при одинаковой амплитуде вибрации с частотой 100 Гц ощущаются практически на 10 дБА тише, чем вибрации с частотой 200 Гц!

Однако надо помнить, что согласно основным законам вентилятора уменьшение скорости вращения крыльчатки влияет не только на шум, но и на другие параметры вентилятора.

1. ♦♦ Пропорционально снижению скорости вращения крыльчатки снижается величина воздушного потока.
1. ♦♦ Пропорционально квадрату скорости вращения крыльчатки снижается развиваемое давление, которое пропорционально.
1. ♦ Пропорционально кубу скорости вращения крыльчатки снижается мощность, потребляемая вентилятором.
1. ♦ Снижение скорости вращения увеличивает надёжность вентилятора и время его наработки на отказ.

Управление скоростью вращения вентилятора основано на практически линейной зависимости скорости вращения крыльчатки **RPM** от напряжения на обмотках мотора **V_L**.

$$RPM2 = RPM1 * (V2_L / V1_L),$$

где $RPM1$ и $V1_L$ исходные обороты и напряжение на обмотках мотора, а $RPM2$ и $V2_L$ соответственно конечные.

Обычно используются следующие методы управления скоростью вращения вентилятора:

1. Отсутствие управления скоростью вращения.
2. Линейное управление.
3. Низкочастотная широтно-импульсная модуляция (ШИМ).
4. Высокочастотная ШИМ.

3.2.1. Зависимость скорости вращения от напряжения на вентиляторе

Скорость вращения вентилятора практически линейно зависит именно от напряжения на обмотках мотора, а не от напряжения питания вентилятора и это осложняет определение поведения вентилятора при регулировании напряжения на нем.

Почему?

А дело тут в том, что не все напряжение питания вентилятора прикладывается к обмоткам мотора.

Например, в типовой схеме мотора распределяется между тремя последовательно включенными элементами.

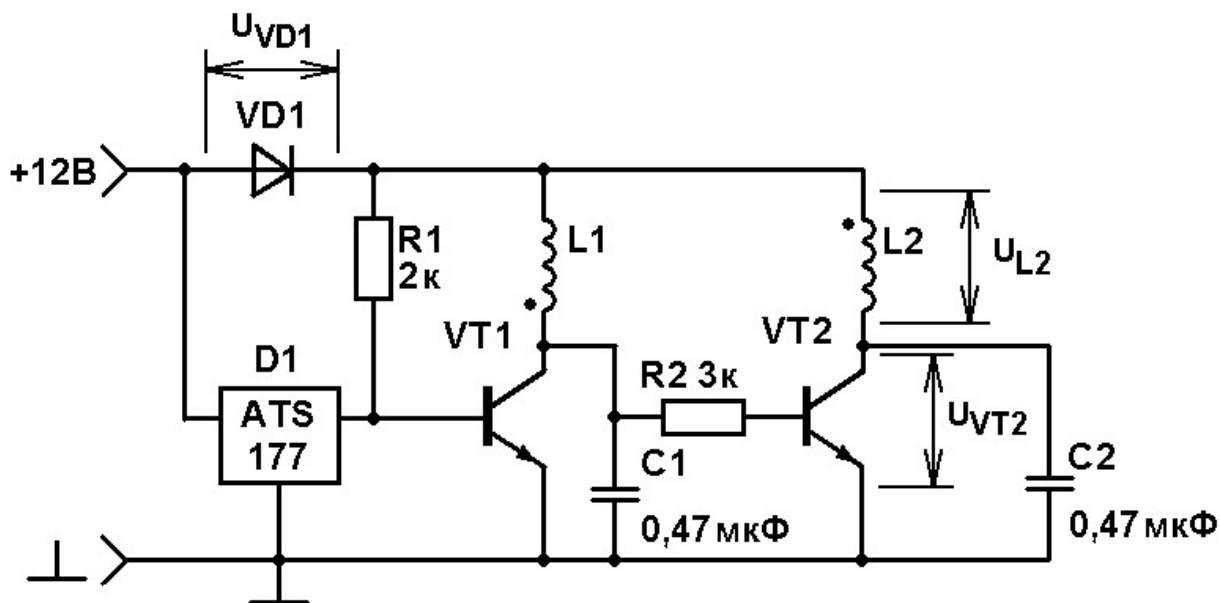


Рисунок 24. Распределение напряжений в типовой схеме

Как видно из схемы потребляемый вентилятором ток протекает по цепи

+12В → VD1 → L1 (L2) → коллектор-эмиттер VT1 (VT2) → корпус → -12 В.

И напряжение питания вентилятора распределяется между защитным диодом **VD1**, обмоткой, например, **L2** и коммутирующим транзистором **VT2**.

Т.е. $U_{VD1} + U_{L2} + U_{VT2} = 12 \text{ В}$, а отсюда $U_{L2} = 12 \text{ В} - U_{VD1} - U_{VT2} = 12 \text{ В} - (U_{VD1} + U_{VT2})$.

В зависимости от применяемых элементов и сопротивления обмоток (тока в цепи), падение напряжения на диоде U_{VD1} может составлять (0,6...0,9) В, а на открытом транзисторе **VT1** (**VT2**) порядка (0,1...0,3) В.

Тогда потери напряжения на элементах схемы управления $U_{пот} = U_{VD1} + U_{VT2}$ могут составлять (0,7...1,2) В.

Например, пусть $U_{пот} = 1$ В. Тогда при снижении напряжения питания вентилятора вдвое с 12 В до 6 В обычно ожидается так же двукратное уменьшение оборотов. А вот реально получается

$$RPM2 = RPM1 * (6 - U_{пот}) / (12 - U_{пот}) = RPM1 * (6 - 1) / (12 - 1) \sim 0,45 * RPM1.$$

Это расхождение просто и наглядно можно определить графически.

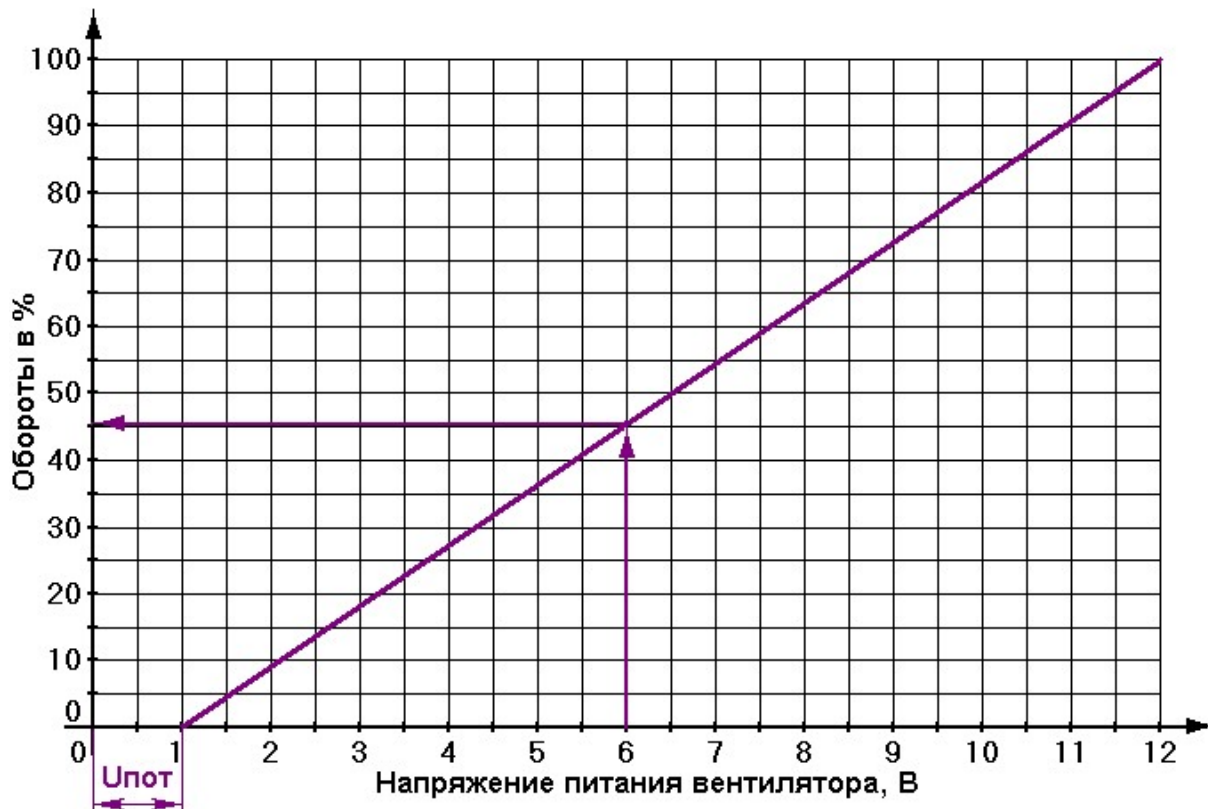


Рисунок 25 Графическое определение оборотов при пониженном напряжении питания вентилятора

Для этого строятся оси координат как на рисунке. Затем по оси напряжения питания откладывается напряжение потерь на элементах схемы управления $U_{пот}$ (на рисунке построения выполнены фиолетовым цветом). Из полученной точки проводится линия к точке с координатами 12 В напряжения и 100% оборотов.

Из точки 6 В поднимаем перпендикуляр до полученной линии и из точки пересечения проводим перпендикуляр на ось оборотов. Получается около 45% оборотов от тех, что были при напряжении питания 12 В.

Вроде невелико расхождение. Всего-то 5%. Но очевидно, что чем больше потери напряжения на элементах схемы управления $U_{пот}$ и больше снижение напряжения питающего вентилятор, тем больше это расхождение.

Очевидно и следующее, что при напряжении на вентиляторе меньшем или равном напряжению потерь на обмотках вентилятора напряжение отсутствует, и вентилятор в принципе вращаться не может.

В схемах двухобмоточных моторов на ИМС напряжение питания вентилятора так же распределяется между тремя последовательно включенными элементами. А именно между

защитным диодом **VD1**, обмоткой, например, **L2** и коммутирующим транзистором в выходной цепи ИМС.

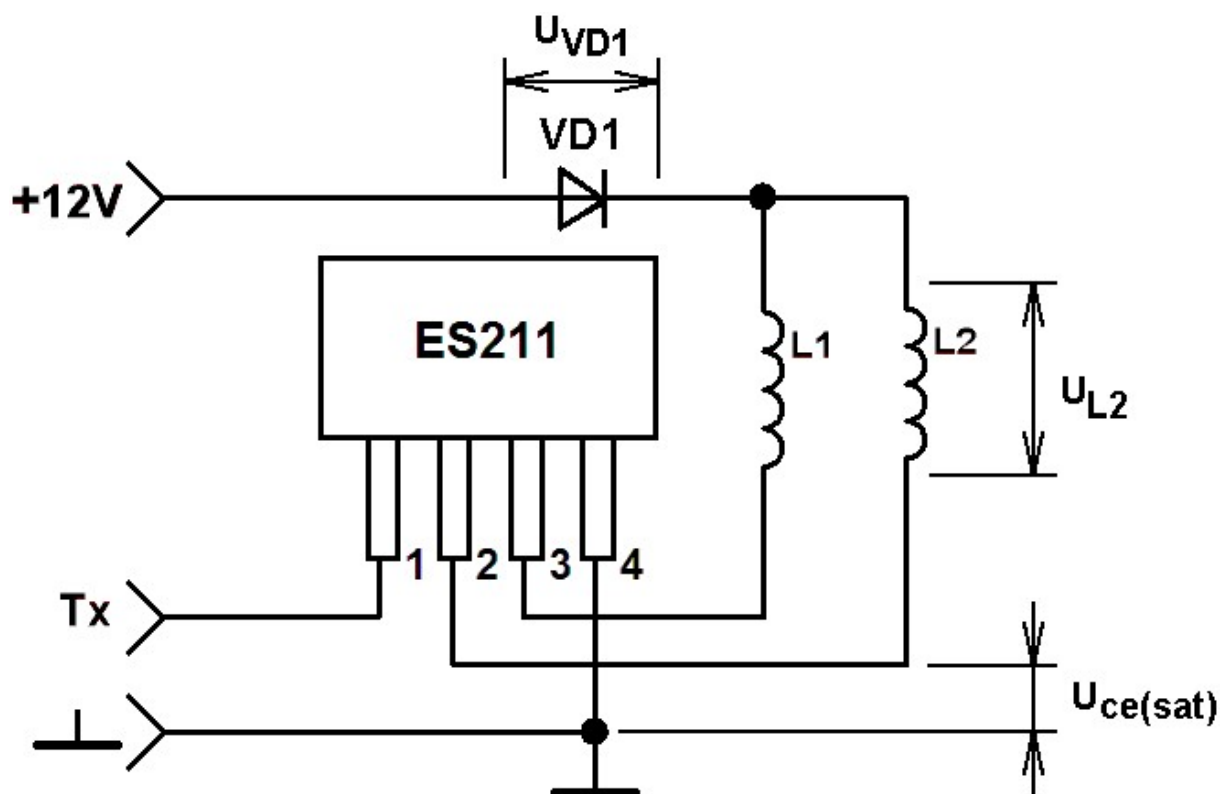


Рисунок 26 Распределение напряжений в схеме двухобмоточного мотора на ИМС

Для двухобмоточных схем управления на ИМС остаточные напряжения насыщения на выходе ИМС при низком уровне напряжения на выходе и разных токах через обмотки мотора можно найти в даташитах (спецификациях) на них.

В зависимости от особенностей построения схемы ИМС напряжение насыщения **Uce(sat)** на выходе ее (*Output Saturation Voltage*) или напряжение низкого уровня на выходе ИМС (*Output low level voltage*) для различных ИМС может составлять от 0,25 В до 2,0 В.

Тогда, если падение напряжения на диоде $U_{VD1} = (0,6...0,9)$ В, то общие потери напряжения на элементах схемы управления с ИМС $U_{пот} = U_{VD1} + U_{ce(sat)}$ могут составлять (0,85...2,9) В.

Если в схеме защитный диод отсутствует, то напряжение питания вентилятора распределяется только между двумя последовательно включенными элементами. А именно между обмоткой, например, **L2** и коммутирующим транзистором в выходной цепи ИМС.

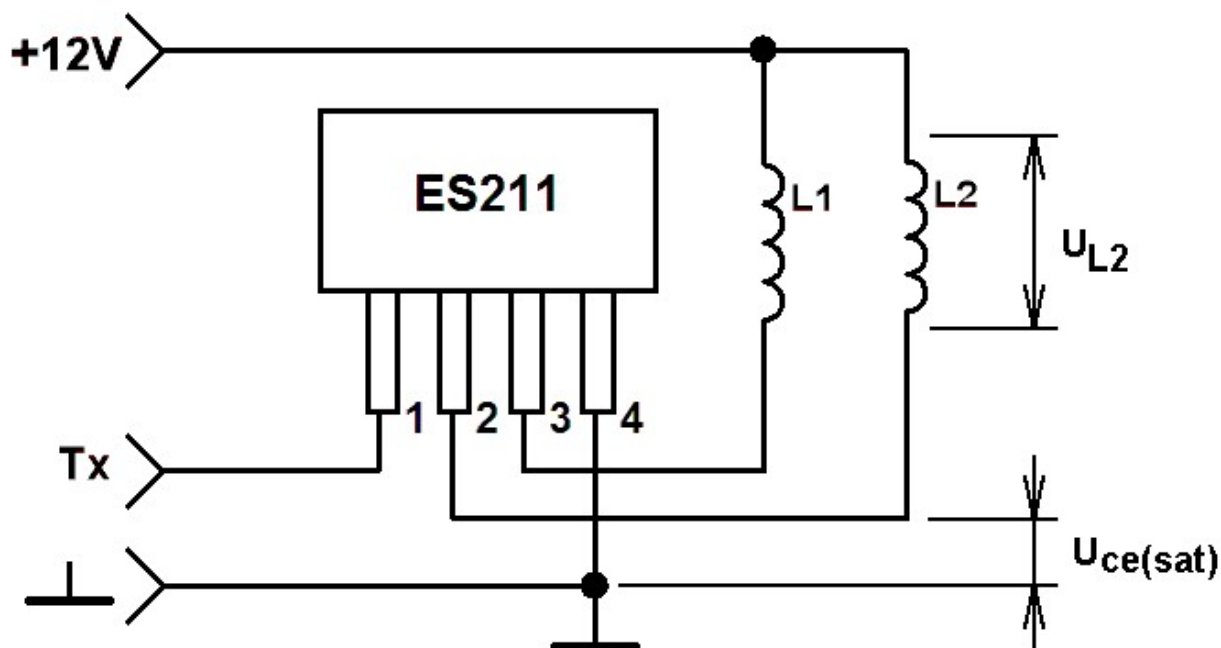


Рисунок 27 Распределение напряжений в схеме двухобмоточного мотора на ИМС без защитного диода

Тогда общие потери напряжения на элементах схемы управления с ИМС $U_{\text{пот}} = U_{\text{Ce(sat)}}$ будут составлять (0,25...2,0) В.

В схемах однообмоточных моторов на ИМС напряжение питания вентилятора распределяется между защитным диодом **VD1**, двумя ключами-переключателями в выходных цепях ИМС и обмоткой **L**. На рисунке ниже приведен случай, когда на выводе 2 высокое напряжение, а на выводе 3 низкое напряжение.

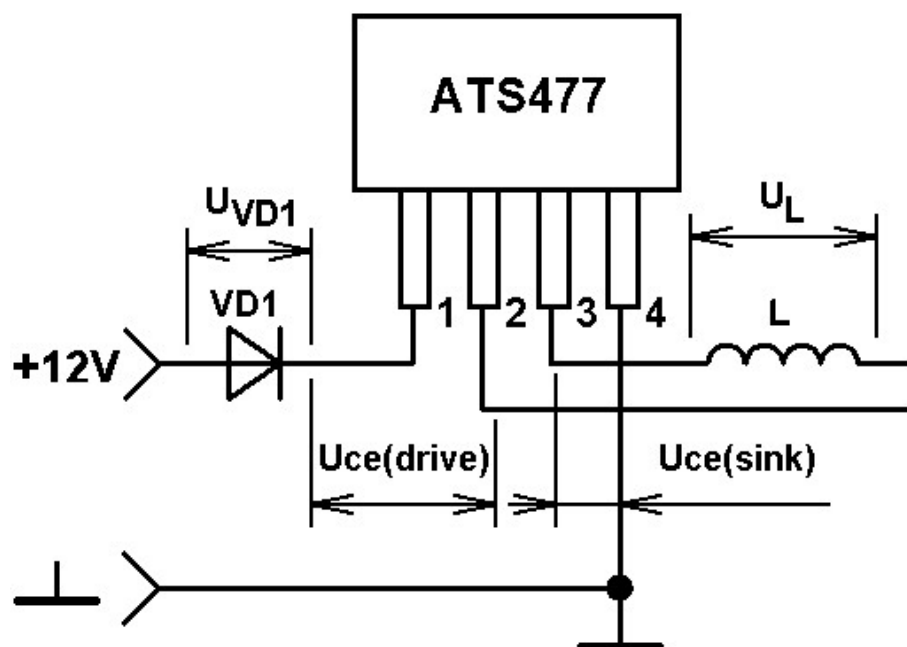


Рисунок 28 Распределение напряжений в схеме однообмоточного мотора на ИМС

Напряжение насыщения на выходе таких ИМС (*Output Saturation Voltage*) имеет два значения.

Во-первых, так же как и для двухобмоточных схем выходное напряжение низкого уровня (*Output low level voltage* или *output L saturation voltage*) или напряжение между корпусом и обмоткой **Uce(sink)**. Для различных ИМС может составлять от 0,5 В до 0,8 В

Во-вторых, остаточное напряжение на ИМС для высокого уровня или напряжение между плюсом напряжения питания и обмоткой **Uce(drive)** или напряжение насыщения при высоком уровне напряжения на выходе ИМС (*output H saturation voltage*). Для различных ИМС может составлять от 0,9 В до 1,2 В.

Тогда, если падение напряжения на диоде $U_{VD1} = (0,6...0,9)$ В, то общие потери напряжения на элементах схемы управления однообмоточными мотором $U_{пот} = U_{VD1} + U_{ce(drive)} + U_{ce(sink)}$ могут составлять (2...2,9) В.

Если в схеме защитный диод отсутствует, то напряжение питания вентилятора распределяется только между двумя ключами-переключателями в выходных цепях ИМС и обмоткой **L**. На рисунке ниже приведен случай, когда на выводе 2 высокое напряжение, а на выводе 3 низкое напряжение.

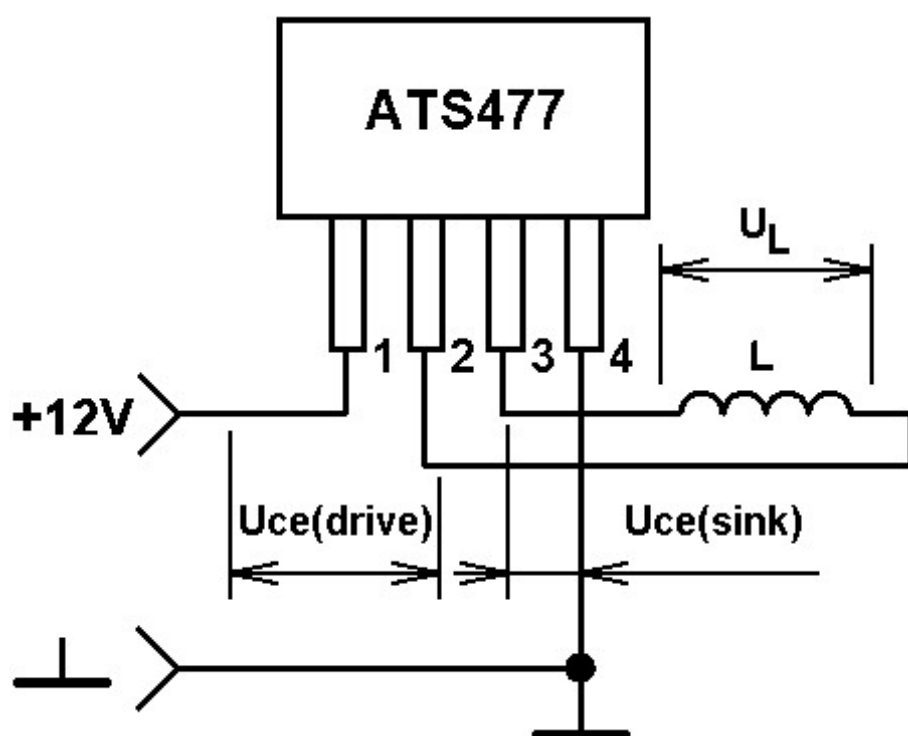


Рисунок 29 Распределение напряжений в схеме однообмоточного мотора на ИМС без защитного диода

В этом случае общие потери напряжения на элементах схемы управления однообмоточными мотором $U_{пот} = U_{ce(drive)} + U_{ce(sink)}$ могут составлять (1,4...2) В.

Остаточные напряжения насыщения на выходе ИМС для однообмоточных моторов при низком и высоком уровнях напряжения на выходе можно найти в даташитах (спецификациях) на них.

Обороты мотора при снижении напряжения питания вентилятора для схем с ИМС определяются так же, как было рассмотрено выше.

Для примера согласно спецификации на ИМС **LB1668M** ее максимальное напряжение насыщения $U_{ce(sat)} = 2$ В. Возьмем так же максимальное падение напряжения на диоде $U_{VD1} = 0,9$ В. При этом общие потери напряжения на элементах схемы управления с

ИМС **LB1668M** могут составлять $U_{\text{пот}} = U_{\text{VD1}} + U_{\text{ce(sat)}} = 2,9 \text{ В}$. Тогда при снижении напряжения питания вентилятора вдвое с 12 В до 6 В обороты получатся

$$\text{RPM2} = \text{RPM1} * (6 - U_{\text{пот}}) / (12 - U_{\text{пот}}) = \text{RPM1} * (6 - 2,9) / (12 - 2,9) \sim 0,34 * \text{RPM1}.$$

При таких данных расхождение составляет 16%. Т.е обороты на треть меньше, чем ожидаемые при двукратном снижении напряжения питания.

То же самое определяется и графически.

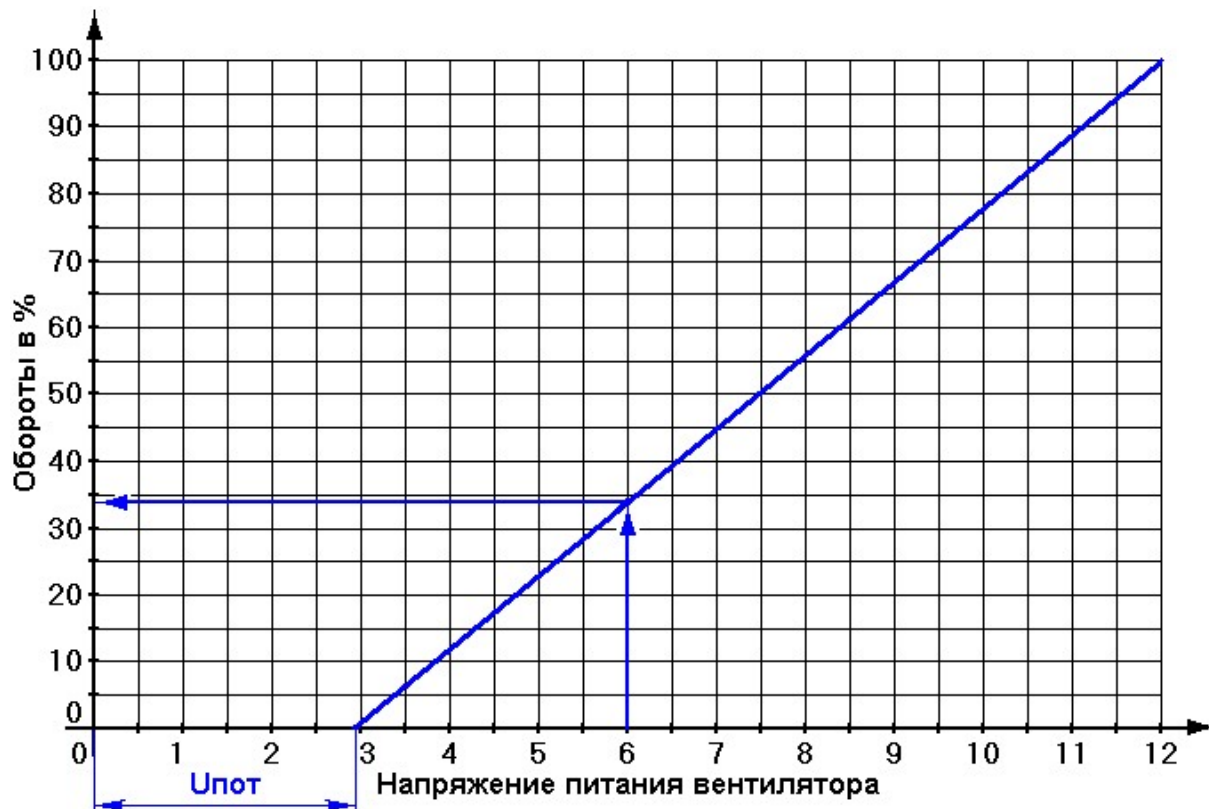


Рисунок 30 Графическое определение оборотов при пониженном напряжении питания вентилятора

Для этого строятся оси координат. Затем по оси напряжения питания откладывается напряжение потерь на элементах схемы управления $U_{\text{пот}}$ (на рисунке построения выполнены синим цветом). Из полученной точки проводится линия к точке с координатами 12 В напряжения и 100% оборотов.

Из точки 6 В поднимаем перпендикуляр до полученной линии и из точки пересечения проводим перпендикуляр на ось оборотов. Получается около 34% оборотов от тех, что были при напряжении питания 12 В.

Это уже вполне приличное расхождение.

Однако определение поведения вентилятора при регулировании напряжения на нем осложняет не только наличие потерь напряжения на элементах схемы управления.

Есть и другие тонкости.

Например, для старта вентилятора требуется напряжение, как правило, значительно превышающее напряжение потерь на элементах схемы управления.

Почему?

Да потому, что для начала вращения механизм вентилятора должен преодолеть, например, инерцию ротора-крыльчатки и трение покоя подшипников.

Вентилятор обычно начинает вращаться при напряжении на нем где-то между (3...5) вольтами. Иногда это напряжение может достигать (7...7,5) вольт. Предсказание точного пускового напряжения задача не из легких. Точное значение зависит от конструкции и конкретного экземпляра вентилятора, срока его службы, температуры окружающей среды и т.д.

А поскольку, например, в подшипниках скольжения трение покоя больше трения скольжения, то напряжение, которое требуется для запуска вентилятора, превышает то напряжение, которое требуется для поддержания вращения.

Минимальное напряжение, при котором вентилятор может стартовать, может быть как в разы больше минимального напряжения, при котором вентилятор может крутиться, так и практически не отличаться от него.

Причем минимальное напряжение, при котором вентилятор может стартовать при резкой подаче его и минимальное напряжение, при котором вентилятор может стартовать при плавном увеличении его могут значительно отличаться друг от друга.

Эти напряжения различны у вентиляторов разных производителей, разных моделей и даже у различных экземпляров вентиляторов одного типа, срока их службы, температуры окружающей среды и т.д.

Таблица 1 Минимальные напряжения старта и вращения нескольких экземпляров вентиляторов

Вентилятор	Минимальное напряжение, при котором вентилятор может крутиться, В	Минимальное напряжение, при резкой подаче которого вентилятор может стартовать, В	Минимальное напряжение, при плавном увеличении которого вентилятор может стартовать, В
AKASA DFS802512M	2,7	3,3	3,4
COOLER MASTER AF9-25IM-74	3,27	3,85	3,9
ZALMAN ZF1225ASN	3,4	3,5	3,55
Glacial Tech GT 12025-SDLA1	2,9	5,7	9,6
Glacial Tech GT 12025-EDLA1	3,6	6,3...6,48	9,4...9,75

У некоторых экземпляров вентиляторов стартовые напряжения зависят от того, в каком из четырех устойчивых положений в исходном состоянии находится крыльчатка.

Это объясняется неточностью изготовления. Обычно погрешностями намагничивания магнита ротора.

Вентиляторы с погрешностями намагничивания, как правило, имеют повышенные вибрации.

У автора таким экземпляром оказался один из вентиляторов Glacial Tech GT 12025-EDLA1. Его параметры приведены в последней строке таблицы. Два других таких же вентилятора этого дефекта не имели. У дефектного вентилятора повышенные вибрации запросто ощущаются на ощупь.

Экспериментально снятая зависимость скорости вращения вентилятора Glacial Tech GT 12025-SDLA1 от напряжения питания на рисунке ниже изображена красным цветом.

Как видно она имеет незначительные отклонения от прямой линии (зеленый цвет).

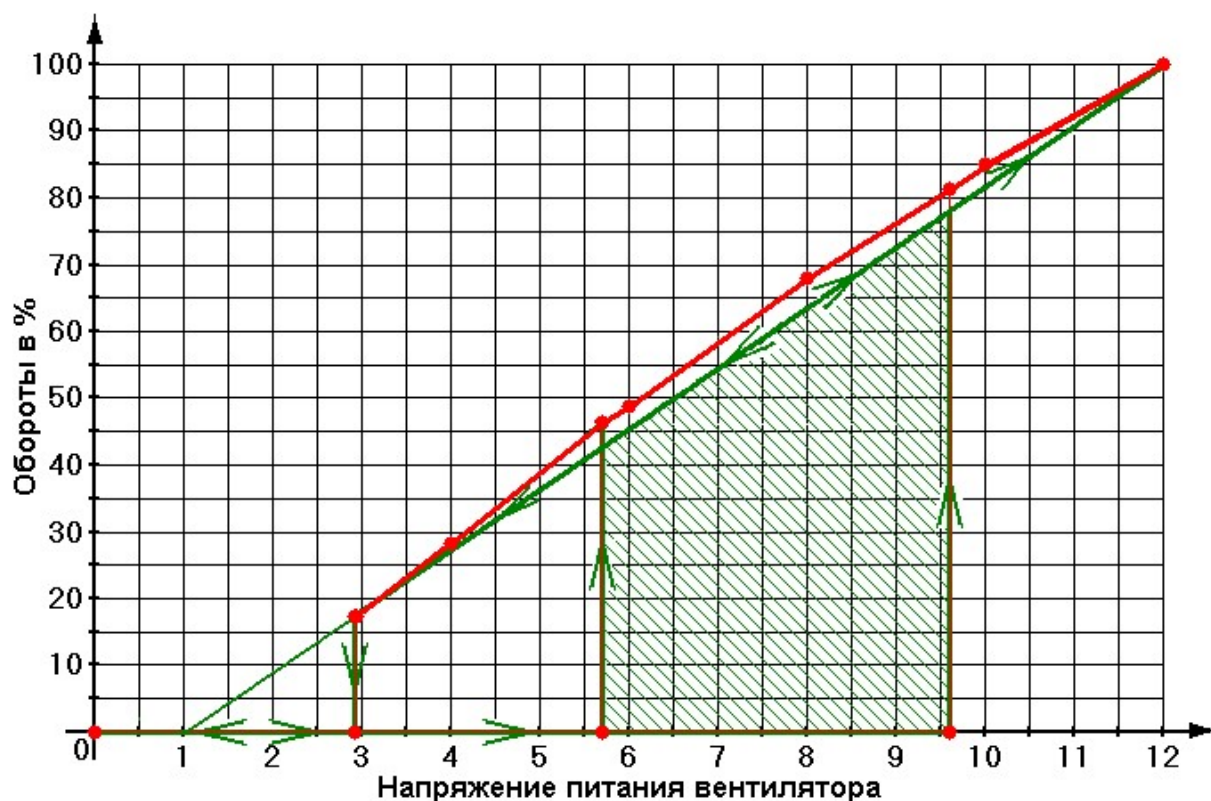


Рисунок 31 Зависимость скорости вращения вентилятора Glacial Tech GT 12025-SDLA1 от напряжения питания

При увеличении напряжения на вентиляторе, крыльчатка вообще не вращаются, пока напряжение не достигнет напряжения старта (от 5,7 В до 9,6 В), зависящего от многих факторов и, в том числе, от скорости нарастания напряжения на вентиляторе. Заштрихованная область соответствует разбросу напряжения старта.

В зависимости от того, при каком напряжении произошел старт, вентилятор раскручивается до соответствующей этому напряжению скорости (приблизительно от 46% до 79% от номинального значения).

Далее скорость приблизительно линейно нарастает с ростом напряжения до номинального значения.

При уменьшении напряжения питания вентилятора скорость приблизительно линейно уменьшается с уменьшением напряжения до минимального напряжения, при котором вентилятор еще может крутиться (2,9 В) и останавливается. При меньших напряжениях вентилятор не вращается.

Довольно редкой особенностью представленной зависимости являются большие напряжения, при которых вентилятор может стартовать. Кроме того, они сильно отличаются как друг от друга, так и от минимального напряжения, при котором вентилятор еще может крутиться.

Это, несмотря на довольно малое минимальное напряжение, при котором вентилятор может крутиться, *значительно сужает диапазон регулирования напряжения на таком вентиляторе. Объясняется же тем, что установка на нем постоянного напряжения меньшего, чем минимальное напряжение, при котором вентилятор может стартовать, попросту приведет к тому, что при включении компьютера вентилятор вращаться не будет.*

Итого диапазон регулировки напряжения (скорости) вентилятора не превышает в данном случае (15...17)% от номинального значения. И это очень мало!

Аналогичные зависимости для вентилятора ZALMAN ZF1225ASN имеют вид несколько отличный от предыдущих.



Рисунок 32 Зависимость скорости вращения вентилятора ZALMAN ZF1225ASN от напряжения питания

Наиболее существенные отличия заключаются в том, что напряжения, при которых вентилятор может стартовать, и минимальное напряжение, при котором вентилятор еще может крутиться, почти не отличаются друг от друга.

Как правило, зависимости такого вида предпочтительней при наличии управления скоростью вращения вентилятора.

К примеру, диапазон регулировки напряжения (скорости) вентилятора в данном случае достигает практически 70% от номинального значения. И это уже вполне достойная величина!

Выводы.

- Уменьшение скорости вращения крыльчатки наиболее распространенный и весьма эффективный метод, применяемый для уменьшения шумов и вибраций практически любого происхождения.

- Сущность этого метода заключается в уменьшении динамических сил вызывающих колебания конструктивных элементов вентиляторов и воздушных масс вблизи вентилятора путем уменьшения скорости вращения крыльчатки.
- Кроме того, из-за особенностей человеческого слухового восприятия со снижением скорости вращения вентилятора и, следовательно, снижением частоты гармонических составляющих вибраций слуховое ощущение громкости их уменьшается.
- Основан метод на практически линейной зависимости скорости вращения крыльчатки от напряжения на обмотках мотора.
- Не все напряжение питания вентилятора прикладывается к обмоткам мотора. Потери напряжения на элементах схемы управления приводят к уменьшению напряжения на обмотках мотора.
- Чем больше потери напряжения на элементах схемы управления, тем больше степень снижения оборотов при снижении напряжения питания вентилятора.
- ♦ Для старта вентилятора требуется напряжение, как правило, значительно превышающее напряжение потерь на элементах схемы управления.
- ♦ Минимальное напряжение, при котором вентилятор может стартовать разное у вентиляторов разных производителей, разных моделей и даже у различных экземпляров вентиляторов одного типа. Кроме того оно зависит от срока службы вентилятора, температуры окружающей среды, скорости нарастания напряжения на вентиляторе и т.д.
- Минимальное напряжение, при котором вентилятор может крутиться обычно меньше напряжения, при котором вентилятор может стартовать.
- Экспериментальная зависимость скорости вращения вентилятора от напряжения питания имеет некоторые отклонения от прямой линии.
- ♦ Не каждый вентилятор позволяет регулировку напряжения (скорости) на нем в широких пределах.

3.2.2. Отсутствие управления

При отсутствии управления скоростью вентилятора он может подключаться не только к номинальному напряжению питания, но и к пониженному для уменьшения шумов и вибраций.

Большинство вентиляторов при отсутствии управление работает при номинальном напряжении питания в 12 вольт. Такое подключение вентилятора обеспечивает максимальное охлаждение. Предельно упрощается схема подключения. Вентилятор работает в штатном режиме.

Однако шумовые свойства в этом случае оставляют желать лучшего. Поэтому для снижения шума на вентилятор подается напряжение меньше номинального значения в 12 вольт.

Как же это сделать?

3.2.2.1. Использование напряжений вырабатываемых блоком питания

Блок питания вырабатывает целый ряд напряжений. Наиболее доступны и применимы два из них: +12 В и +5 В. К ним можно подключиться в 4-х контактном разъеме **Molex** от блока питания.

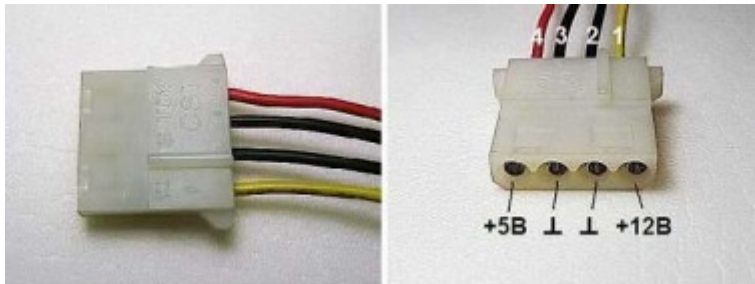


Рис. 3.2.2.1.1. 4-х контактный разъем Molex от блока питания

На рисунке справа указаны номера контактов и напряжения на них.

Разъемами **Molex** оснащаются обычно двухпроводные вентиляторы без тахогенератора. Два разъема (вилка и розетка) соединяются между собой. Их можно как непосредственно подключить к разъему блока питания, так и использовать как переходник.

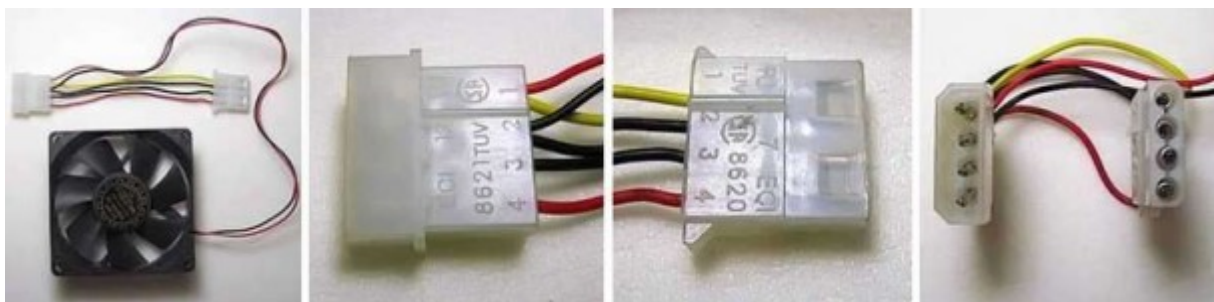


Рис. 3.2.2.1.2. Двухпроводный вентилятор без тахогенератора

Для питания от 12 вольт такой вентилятор подключается непосредственно к источнику напряжения в 12 вольт. Плюсом к выводу 1 разъема **Molex**, а минусом к выводу 2 или 3.

От блока питания

К вентилятору

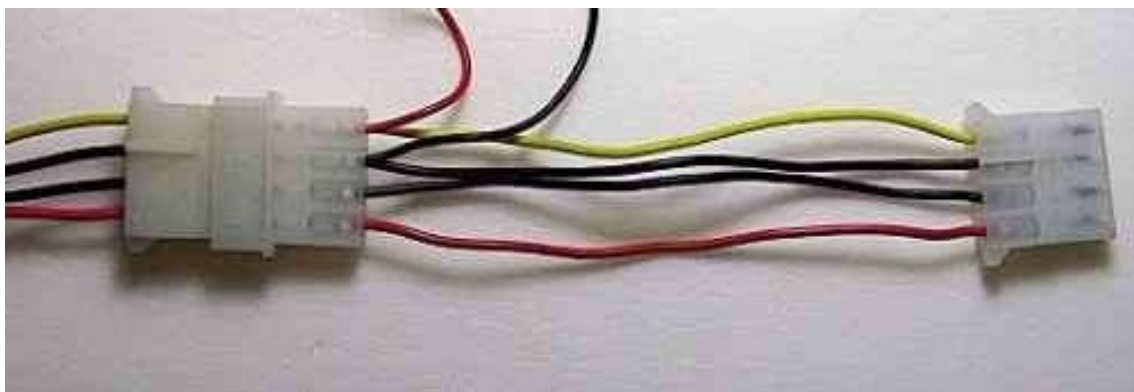
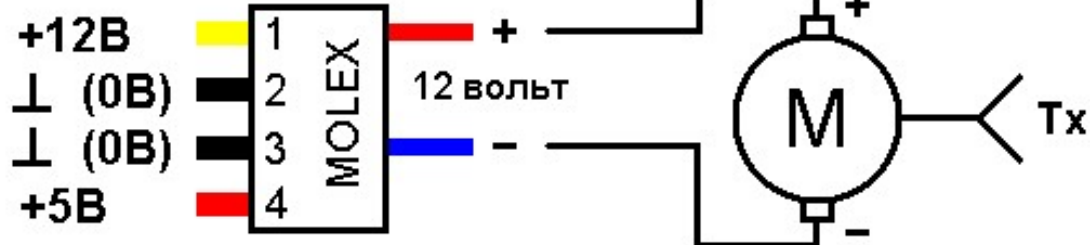


Рис. 3.2.2.1.3. Питание вентилятора напряжением 12 вольт

Разъем блока питания на рисунке слева. Вверх ответвляются провода к вентилятору. Это штатная схема включения вентилятора и особо останавливаться на ней, пожалуй, не стоит.

Трехпроводные вентиляторы с тахогенератором оснащаются обычно трехпроводными разъемами.

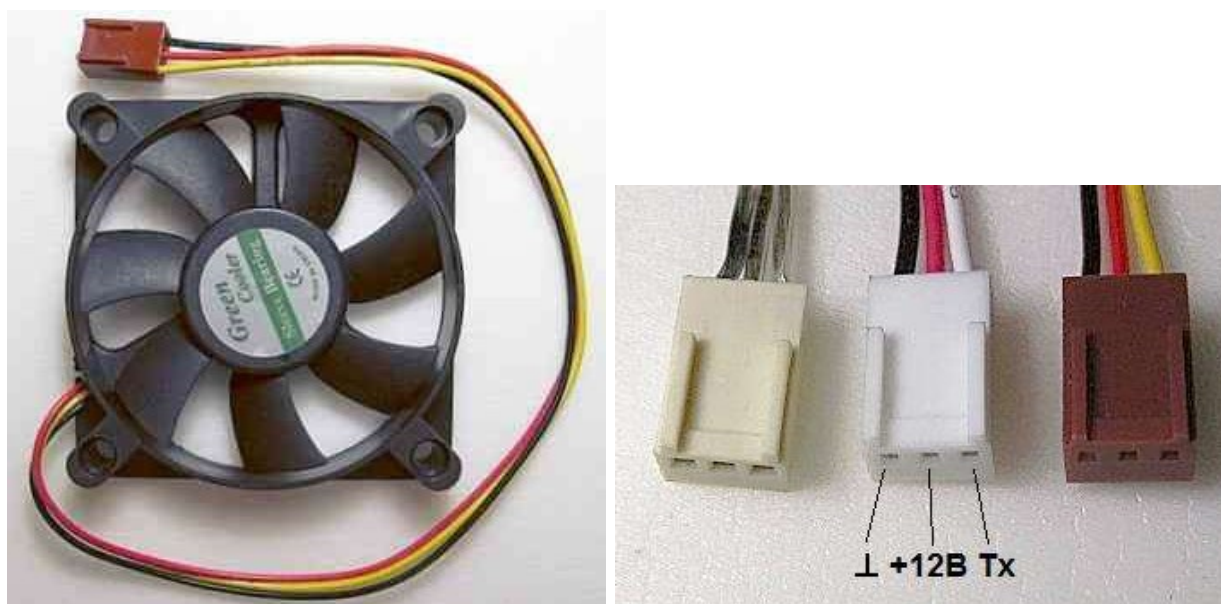


Рис. 3.2.2.1.4. Трехпроводный вентилятор с тахогенератором и 3-х контактным разъемом

Они подключаются к разъему непосредственно на материнской плате.

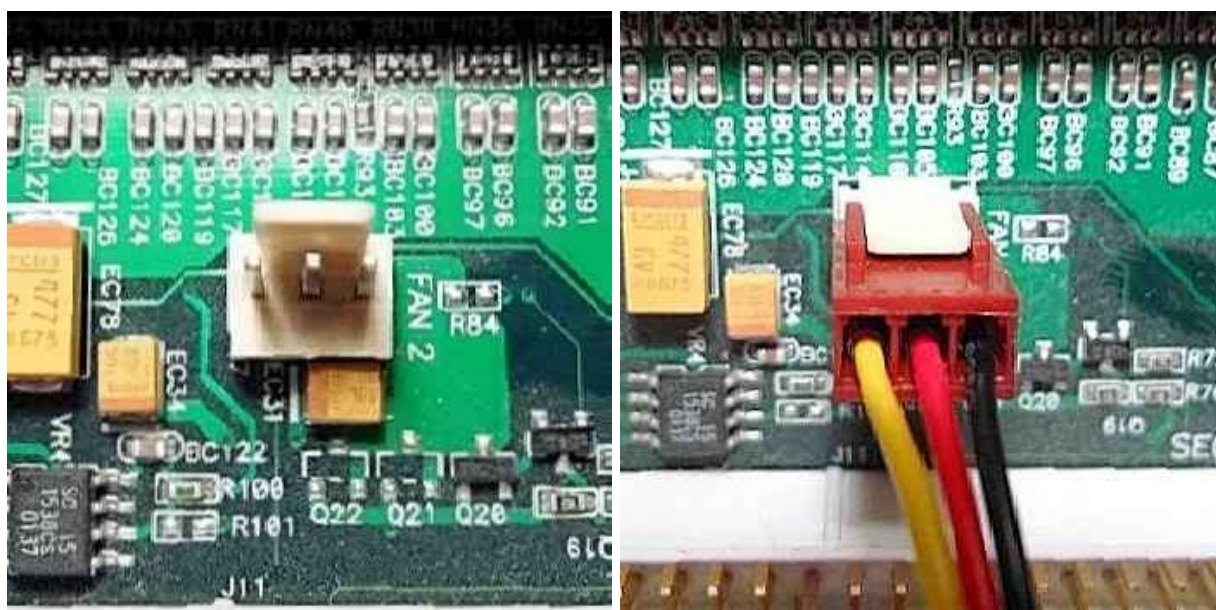


Рис. 3.2.2.1.5. Питание вентилятора от материнской платы

Иногда трехпроводные вентиляторы с тахогенератором имеют еще и дополнительный разъем **Molex**.

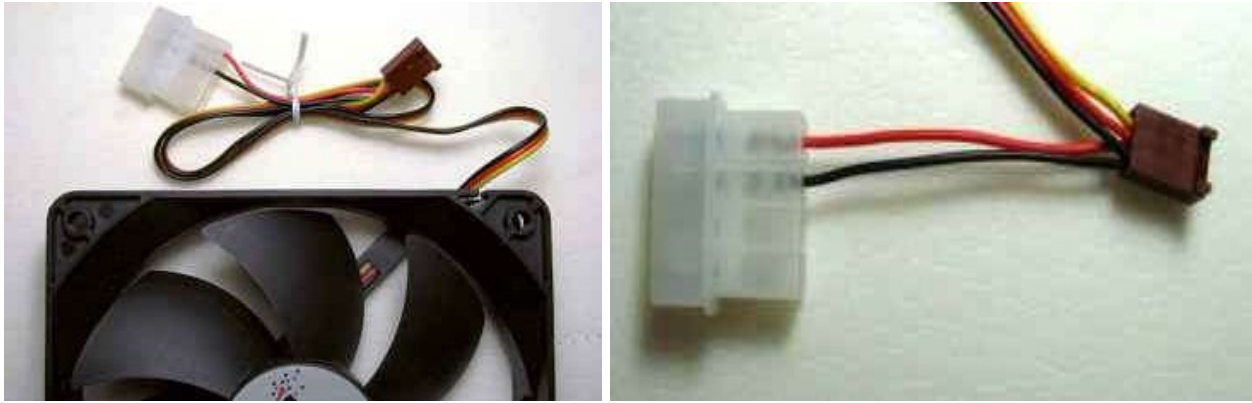


Рис. 3.2.2.1.6. Трехпроводный вентилятор с тахогенератором и разъемами Molex и 3-х контактным

Они могут запитываться как от материнской платы, так и от разъема **Molex** блока питания.



Рис. 3.2.2.1.7. Питание вентилятора от разъема Molex блока питания с использованием тахометра

При питании вентилятора от разъема Molex блока питания для использования тахометра к разъему на материнской плате подключается только вывод тахогенератора. На рисунке это желтый провод.

Если при питании вентилятора от разъема Molex блока питания к разъему на материнской плате подключить все три провода, то материнская плата выйдет из строя!!!

Для питания от 5 вольт вентилятор подключается непосредственно к источнику напряжения в 5 вольт. Плюсом к выводу 4 разъема **Molex**, а минусом к выводу 2 или 3. Это нетрудно сделать с помощью пайки.

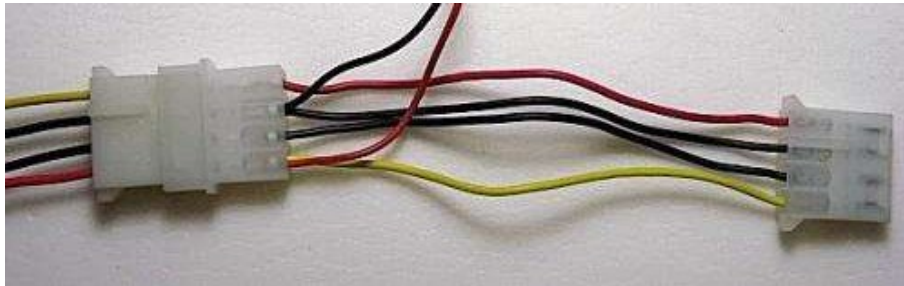


Рис. 3.2.2.1.8. Питание вентилятора от напряжением 5 вольт

Но куда проще просто поменять местами желтый и красный провод в переходнике как на рисунке.

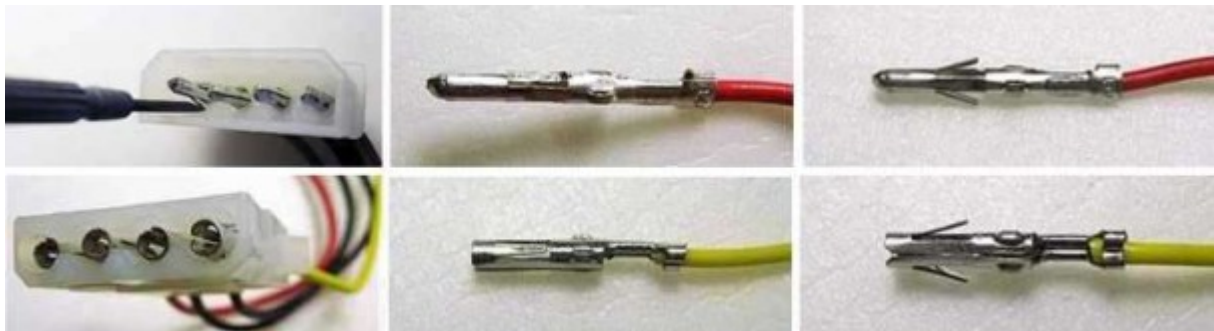


Рис. 3.2.2.1.9. Извлечение контактов из разъемов

Для этого нужно иголкой или тонюсенькой отверткой подогнуть усики на вытаскиваемых контактах. Затем вытащить контакты из корпуса разъема, отогнуть усики в исходное положение и вставить контакты в нужные места.

Аналогичную перестановку можно сделать в дополнительном разъеме **Molex** трехпроводного вентилятора с тахогенератором.

♦ Здесь надо не забывать о том, что не каждый вентилятор стартует при питании от 5 ВОЛЬТ.

Для уверенного старта при включении компьютера вентилятор можно подключить по следующей схеме. Тут без пайки, пожалуй, не обойтись.

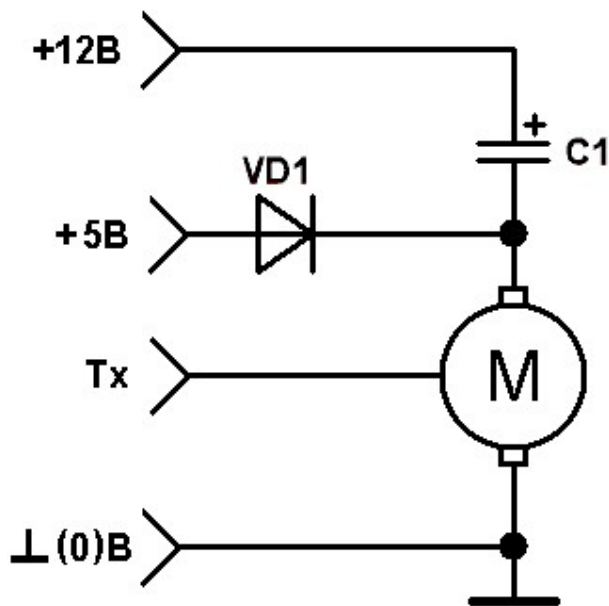


Рис. 3.2.2.1.10. Питание вентилятора от напряжением 5 вольт и форсированным стартом

В момент включения в этой схеме на вентилятор на время заряда конденсатора C1 подается +12В. При этом диод VD1 закрыт. По мере заряда конденсатора напряжение на вентиляторе уменьшается. Когда оно станет меньше 5В, диод VD1 открывается и далее вентилятор питается через него от источника +5В.

Для надежной работы схемы диод следует выбирать с максимально допустимым прямым током не менее тока потребляемого вентилятором. Емкость конденсатора должна быть не менее (330...1000) мкФ на каждые 0,1 А тока потребляемого вентилятором, а максимально допустимое напряжение не менее 16 вольт.

Здесь следует отметить, что в этой схеме окончательное напряжение на вентиляторе меньше 5 вольт на падение напряжения на диоде U_{VD1} , которое в зависимости от типа диода может составлять (0,3...0,9)В.

♦ В зависимости от типа диода вентилятор питается от напряжения 5В-(0,3...0,9)В = (4,1...4,7)В.

Поэтому не следует забывать о том, что не каждый вентилятор может вращаться при таком напряжении.

Для питания от 7 вольт используется разность напряжений между источниками +12 и +5 вольт. Вентилятор плюсом к плюсу источника напряжения в 12 вольт, а минусом к плюсу источника напряжения в 5 вольт. Т.е. плюсом к выводу 1 разъема **Molex**, а минусом к выводу 4. В этом случае на переходнике меняются местами красный и черный провода.



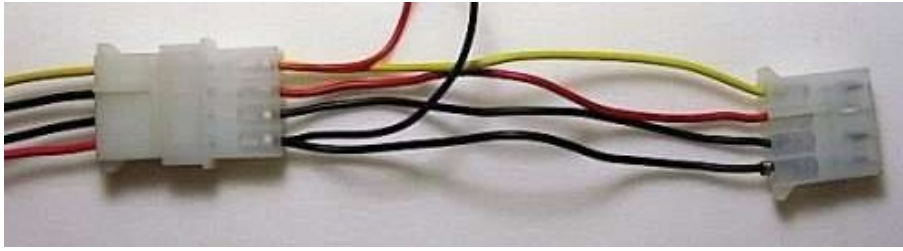


Рис. 3.2.2.1.11. Питание вентилятора от напряжением 7 вольт

◇ При такой схеме включения сигнал тахогенератора материнской платой не опознается. И тахометр не работает.

В этой схеме включения тахогенератор работает как обычно. Выходной ключ его на транзисторе с открытым коллектором как и положено замыкается-размыкается с частотой в два раза большей, чем частота вращения вентилятора.

Только очевидно, что при подключении ко входу тахометра на материнской плате вход этот будет замыкаться на +5 вольт. А материнской плате требуется, чтобы на 0 вольт. Потому такой сигнал материнской платой и не опознается.

◇ Здесь надо не забывать о том, что не каждый вентилятор стартует при питании от 7 вольт.

Для уверенного старта при включении компьютера вентилятор можно подключить по следующей схеме.

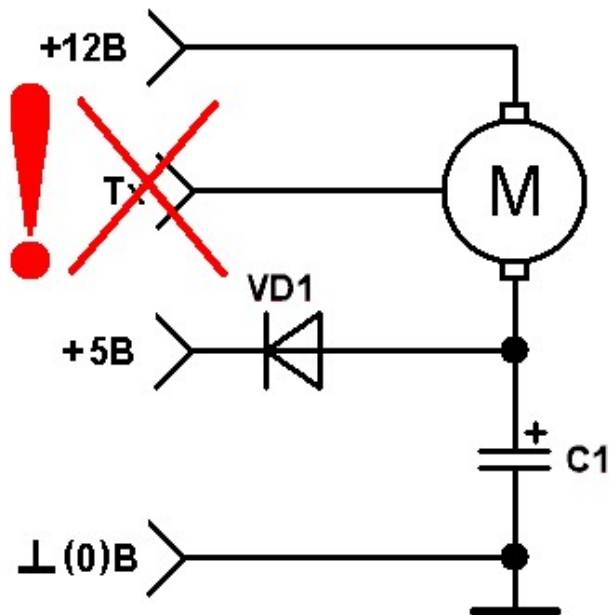


Рис. 3.2.2.1.12. Питание вентилятора от напряжением 7 вольт и форсированным стартом

В момент включения в этой схеме на вентилятор на время заряда конденсатора C1 так же подается +12В. При этом диод VD1 закрыт. По мере заряда конденсатора напряжение на нем увеличивается. Когда оно станет больше 5В диод VD1 открывается и далее вентилятор питается через него разностью напряжений источников +12В и +5В.

Как и в предыдущей схеме с форсированным стартом для надежной работы схемы диод следует выбирать с максимально допустимым прямым током не менее тока потребляемого вентилятором. Емкость конденсатора должна быть не менее (330...1000) мкФ на каждые 0,1 А

тока потребляемого вентилятором, а максимально допустимое напряжение не менее 16 вольт.

Здесь следует отметить, что в этой схеме окончательное напряжение на вентиляторе меньше 7 вольт на падение напряжения на диоде U_{VD1} , которое в зависимости от типа диода может составлять (0,3...0,9)В.

◇ В зависимости от типа диода вентилятор питается от напряжения 7В-(0,3...0,9)В = (7,1...7,7)В.

Данный способ уменьшения напряжения на вентиляторе с использованием напряжений вырабатываемых блоком питания позволяет получить всего только два напряжения 5 и 7 вольт. В этом его существенный недостаток.

3.2.2.2. Использование гасящих резисторов, диодов, стабилитронов

В отличие от предыдущего способа использование резисторов, диодов или стабилитронов позволяет подавать на вентилятор любое напряжение, при котором вращается его крыльчатка.

Кроме того, не нарушается работа тахометра.

Однако такие схемы управления имеют общий недостаток - низкий КПД, связанный с тем, что на гасящих элементах рассеивается значительная часть мощности (например, если на вентилятор подано 8 В, то оставшиеся 4 В падают на гасящем элементе, а это 1/3 от общей потребляемой мощности).

Для уменьшения напряжения на вентиляторе с помощью гасящего резистора он включается последовательно с плюсовым выводом вентилятора.

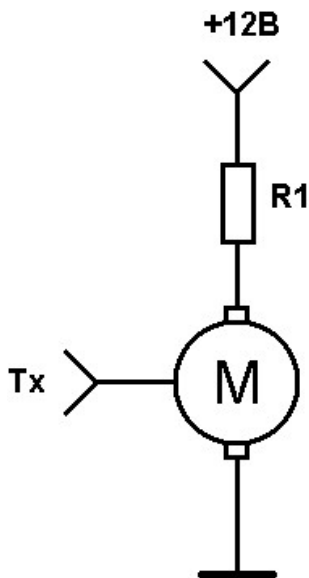


Рис. 3.2.2.2.1. Питание вентилятора через гасящий резистор

При протекании тока в цепи часть общего питающего напряжения выделяется на вентиляторе, а часть выделяется на резисторе.

А резистор потому и называют гасящим, что часть питающего напряжения падает на нем или гасится.

Значение сопротивления и мощность гасящего резистора для обеспечения необходимого напряжения на вентиляторе или требуемых оборотов можно рассчитать различными способами.

Для упрощения этой задачи есть небольшая программа **FanCalc**.

<http://www.silentpcreview.com/files/misc/fanCalc.zip>

<http://vvc.nextmail.ru/FanCalc.rar>

<http://www.modd1ng.com/files/fanCalc.exe>

Расчеты производятся исходя из линейной зависимости скорости вращения крыльчатки **RPM** от напряжения на обмотках мотора **V_L**.

Реальные результаты могут несколько отличаться от расчетных (см. п. 3.2.1. Зависимость скорости вращения от напряжения на вентиляторе).

Последовательность работы с программой рассмотрим на примере расчета гасящего сопротивления для вентилятора Glacial Tech GT 12025-SDLA1. Вентилятор потребляет 0,12 А, имеет номинальную скорость вращения крыльчатки 950 об/мин и собран на ИМС **ES211** (см. п. Б.3.4 Моторы на ИМС ES211). Для этой ИМС напряжение потерь в среднем около 1 В.

После запуска появится главное окно программы (на рисунке ниже в центре).

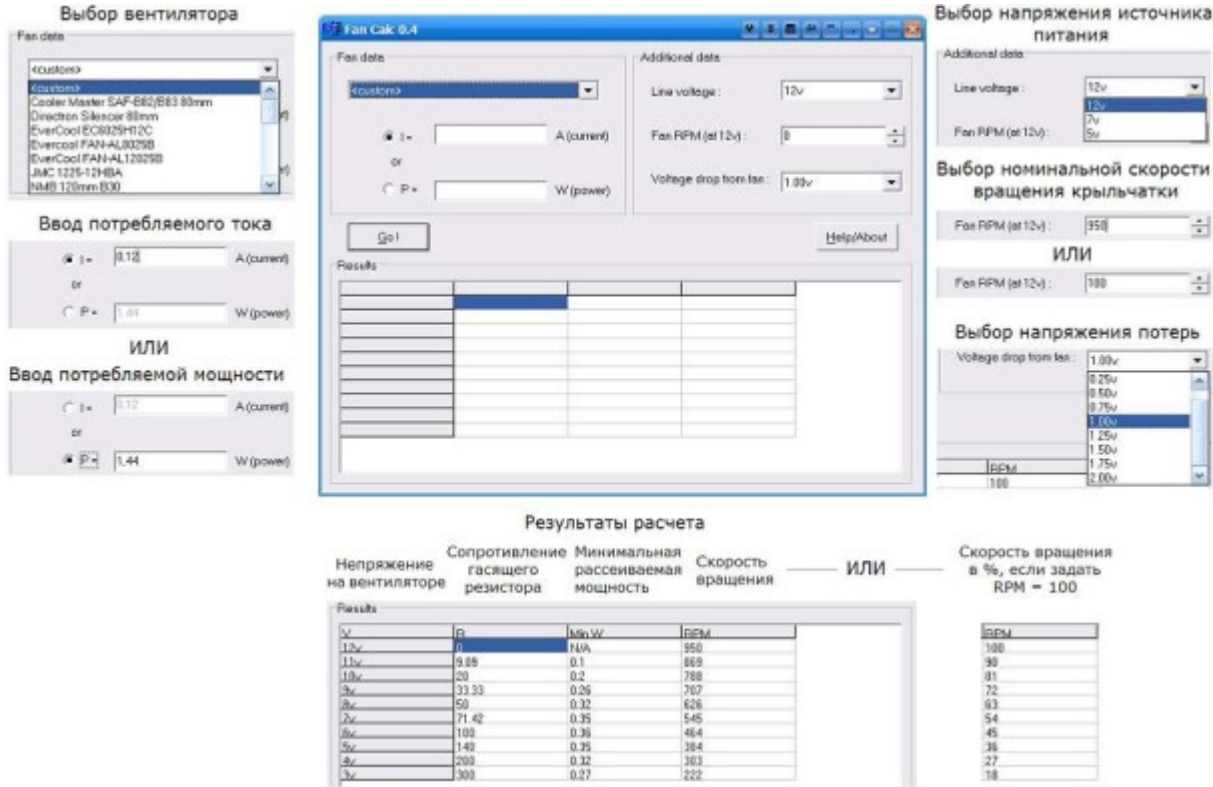


Рис. 3.2.2.2.2. Работа с программой FanCalc

Выберите вентилятор из перечисленных в выпадающем списке или выберите **<custom>**, если Вашего вентилятора нет в списке.

В режиме **<custom>** введите данные вентилятора необходимые для расчета.

Это ток в амперах, потребляемый вентилятором при номинальном напряжении питания 12 вольт. Обратите внимание, что в этом окне между целыми и десятичными знаками надлежит вводить запятую, иначе программа выдает сообщение об ошибке.

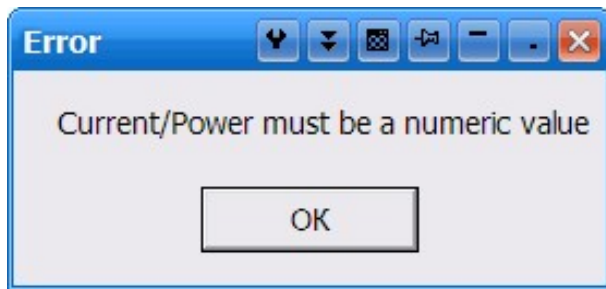


Рис. 3.2.2.2.3. Сообщение об ошибке

При вводе значения тока программа автоматически рассчитывает мощность, потребляемую вентилятором от источника питания при номинальном напряжении питания $U_{пит} = 12$ В.

Можно ввести мощность в ваттах, потребляемую вентилятором при номинальном напряжении питания 12 вольт. При вводе значения мощности программа автоматически рассчитывает ток, потребляемый вентилятором от источника питания при номинальном напряжении питания $U_{пит} = 12$ В.

Эти данные обычно указываются на этикетке вентилятора.



Рис. 3.2.2.2.4. Этикетка вентилятора

Но для более точного расчета реальный ток, потребляемый вентилятором, лучше измерить.

Выберите напряжение источника (5, 7 или 12 вольт) от которого будет питаться вентилятор с гасящим резистором. По умолчанию установлено 12 вольт.

Далее выберите или введите с клавиатуры скорость вращения крыльчатки при номинальном напряжении питания вентилятора $U_{пит} = 12$ В.

Примечание. Иногда удобно указать значение скорости вращения 100. Тогда в результатах расчета скорость будет как бы в процентах от номинальной скорости вращения.

Выберите из выпадающего списка значение напряжения потерь. По умолчанию установлено $U_{пот} = 1$ В. Это значение вполне подходит для большинства вентиляторов. Но для более точного вычисления скорости вращения крыльчатки при пониженном напряжении питания можно изменить это значение.

Нажмите кнопку «**Go !**» и практически мгновенно появятся четыре колонки с результатами расчетов.

Слева это напряжение на вентиляторе, далее сопротивление гасящего резистора, потом рассеиваемая им мощность, и справа скорость вращения крыльчатки.

Номинальное сопротивление резистора выбирается исходя из результатов расчета. Например, есть желание подать на вентилятор 6 вольт. По результатам расчетов требуется резистор сопротивлением 100 Ом и с мощностью рассеивания не менее 0,36 Вт.

Далее из ряда выпускаемых номинальных значений сопротивления выбирается ближайшее большее номинальное значение **Rн**. Обычно для резисторов эти значения соответствуют ряду E24, в котором номинальные значения сопротивлений кратны 24 значениям 1; 1,1; 1,2; 1,3; 1,5; 1,6; 1,8; 2; 2,2; 2,4; 2,7; 3; 3,3; 3,6; 3,9; 4,3; 4,7; 5,1; 5,6; 6,2; 6,8; 7,5; 8,2; 9,1.

Потом из ряда выпускаемых номинальных значений мощности выбирается ближайшее большее номинальное значение. Для резисторов эти значения 0,125; 0,25; 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 6,3; 8; 10 и т.д. Вт.

Таким образом, выбирается резистор сопротивлением 100 Ом и мощностью 0,5 Вт.

Для нормальной работы тахометра резистор впаивается в разрыв красного (плюсового) провода вентилятора.



Рис. 3.2.2.2.5. Распайка гасящего резистора

Для исключения замыканий места пайки, а лучше и сам гасящий резистор следует изолировать с помощью термоусадочной трубки или изоленты.

Проверяем, как это работает.

Ну, во-первых, вентилятор не стартует. Этого и следовало ожидать, т.к. у этого вентилятора напряжения старта от 5,7 В до 9,6 В в зависимости от скорости нарастания напряжения при включении. Если подтолкнуть крыльчатку, то она раскручивается и уверенно вращается.

Во-вторых, напряжение на вентиляторе вместо ожидаемых 6 вольт оказалось около 8,45 вольт.

Почему?

Да потому, что для более точного расчета реальный ток, потребляемый вентилятором, лучше измерить. Этот ток оказался не 0,12 ампера, как указано на этикетке, а всего 0,045 ампера.

Проводим расчет заново. Получается следующее.

Results			
V	R	Min W	RPM
12v	0	N/A	100
11v	24.24	0.04	90
10v	53.33	0.07	81
9v	88.88	0.1	72
8v	133.33	0.12	63
7v	190.47	0.13	54
6v	266.66	0.13	45
5v	373.33	0.13	36
4v	533.33	0.12	27
3v	800	0.1	18

Рис. 3.2.2.2.6. Результаты расчета для тока 0,045 А

Вот теперь для гасящего сопротивления в 100 Ом все становится на место.

Если в наличии имеются два разъема (вилка и розетка), то можно сделать переходник. Такой, например, как идет в комплекте с вентилятором **ZALMAN ZM-F3**.



Рис. 3.2.2.2.7. Переходник идущий в комплекте с вентилятором ZALMAN ZM-F3

Однако вентилятор так же не стартует. Для уверенного старта вентилятора при включении компьютера схему можно дополнить форсирующим конденсатором.

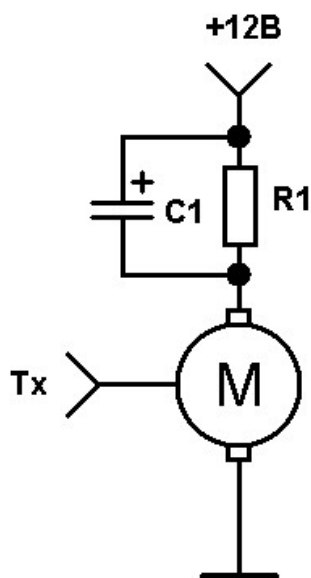


Рис. 3.2.2.2.8. Питание вентилятора через гасящий резистор с форсированным стартом

Как и в предыдущих схемах с форсированным стартом для надежной работы схемы емкость форсирующего конденсатора для большинства вентиляторов следует выбирать не менее (2200...3300) мкФ, а максимально допустимое напряжение не менее 16 вольт.



Рис. 3.2.2.2.9. Распайка гасящего резистора и форсирующего конденсатора

На рисунке элементы распаяны, пожалуй, слишком близко к разъему, что может затруднить подключение вентилятора к материнской плате. Реально расстояние от разъема выбирается по месту.

Для исключения замыканий распаянные элементы следует изолировать с помощью термоусадочной трубки или изолянт.

Серьезным недостатком способа уменьшения напряжения на вентиляторе с помощью гасящего резистора является зависимость сопротивления и мощности рассеиваемой на гасящем резисторе от мощности (потребляемого тока) вентилятора. Из-за этого, как правило, резистор, рассчитанный для одного вентилятора, с другим вентилятором, имеющим другой ток, потребляемый вентилятором от источника питания при номинальном напряжении питания, дает соответственно другие результаты.

Этот недостаток значительно уменьшен в схемах с гасящими диодами и практически отсутствует в схемах со стабилитронами. Схемы с гасящими диодами и со стабилитронами могут использоваться с различными вентиляторами.

Для уменьшения напряжения на вентиляторе с помощью гасящих диодов они включаются последовательно с плюсовым выводом вентилятора. *Анодом к плюсу источника питания, катодом к вентилятору.*

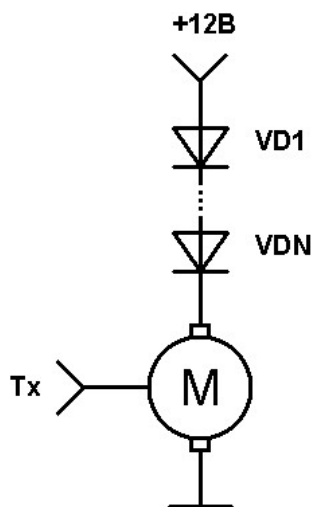


Рис. 3.2.2.2.10. Питание вентилятора через гасящие диоды

В зависимости от типа применяемых диодов падение напряжения на одном диоде U_{VD} может составлять (0,6...0,9) В и мало зависит от протекающего тока. Напряжение питания вентилятора определяется следующим образом:

$$U_{\text{пит}} = 12 \text{ В} - N * U_{VD},$$

где: N - число последовательно включенных диодов.

Например, при использовании пяти диодов напряжение питания вентилятора приблизительно составит $U_{\text{пит}} = 12 \text{ В} - 5 * 0,7 \text{ В} = 8,5 \text{ В}$.

Как и в предыдущих схемах для надежной работы схемы диоды следует выбирать с максимально допустимым прямым током не менее тока потребляемого вентилятором при выбранном напряжении питания.

Например, некоторые малогабаритные диоды с различными максимально допустимыми прямыми токами приведены в таблице.

Таблица 2 Малогабаритные диоды с различными максимально допустимыми прямыми токами

Максимально допустимый прямой ток, А	Диоды
0,1	КД102, КД103, КД116Б-1, КД509, КД923
0,3	КД105, КД106, КД109, 2Д120
≥1	КД212, КД213, 2Д217, КД226, КД2997, 2Д2998, КД2999

Ток, потребляемый вентилятором при выбранном напряжении питания, можно рассчитать различными способами.

И опять же для упрощения этой задачи можно воспользоваться программой **FanCalc**.

Как в этом случае пользоваться программой рассмотрим на примере запитывания вентилятора Glacial Tech GT 12025-SDLA1 через три диода, расчет гасящего сопротивления для которого был рассмотрен выше.

Итак, начнем с того, что при использовании трех диодов напряжение питания вентилятора приблизительно составит $U_{пит} = 12 В - 3 * 0,7 В = 9,9 В$. Округлим это значение до ближайшего целого числа. Это будет **10 В**.

Затем, как уже рассмотрено выше, выполняется расчет добавочного резистора для вентилятора Glacial Tech GT 12025-SDLA1. Получается следующее (для потребляемого вентилятором тока в 0,12 А).

V	R	Min W	RPM
12v	0	N/A	950
11v	9.09	0.1	863
10v	20	0.2	777
9v	33.33	0.26	690
8v	50	0.32	604
7v	71.42	0.35	518
6v	100	0.36	431
5v	140	0.35	345
4v	200	0.32	259
3v	300	0.27	172

Рис. 3.2.2.2.11. Выбор данных для расчета

Далее из строки соответствующей напряжению питания 10 В (на рисунке оттенено желтым цветом) выбирается сопротивление гасящего резистора ($R = 20 \text{ Ом}$) и мощность, рассеиваемая на нем ($W = 0,2 \text{ Вт}$). На рисунке эти значения обведены красными овалами.

Наконец по знакомой из физики формуле рассчитывается ток, потребляемый вентилятором при выбранном напряжении питания.

$$I = \sqrt{\frac{W}{R}} = \sqrt{\frac{0,2 \text{ Вт}}{20 \text{ Ом}}} = 0,1 \text{ А}$$

А вот для реального тока в 0,045 А будет так (исходные данные см. рисунок выше с результатами расчета для тока 0,045 А)

$$I = \sqrt{\frac{0,07 \text{ Вт}}{53,3 \text{ Ом}}} = 0,036 \text{ А}$$

Такой ток выдержит практически любой диод.

Для нормальной работы тахометра гасящие диоды, как и гасящий резистор, впаиваются в разрыв красного (плюсового) провода вентилятора.

Уверенного старта вентилятора при включении компьютера схему можно добиться, если дополнить конденсатором.

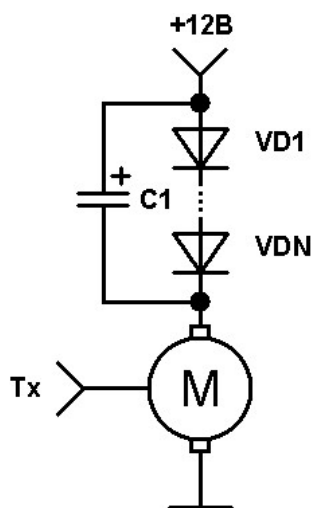


Рис. 3.2.2.2.12. Питание вентилятора через гасящие диоды с форсированным стартом

Как и в предыдущих схемах с форсированным стартом для надежной работы схемы емкость конденсатора для большинства вентиляторов следует выбирать не менее (2200...3300) мкФ, а максимально допустимое напряжение не менее 16 вольт.

Недостатком схемы с гасящими диодами является то, что для "гашения" напряжения в несколько вольт требуется много диодов.

Этот недостаток устраняется при использовании одного стабилитрона вместо нескольких диодов.

Для уменьшения напряжения на вентиляторе с помощью гасящего стабилитрона он включается последовательно с плюсовым выводом вентилятора. Катодом к плюсу источника питания, анодом к вентилятору.

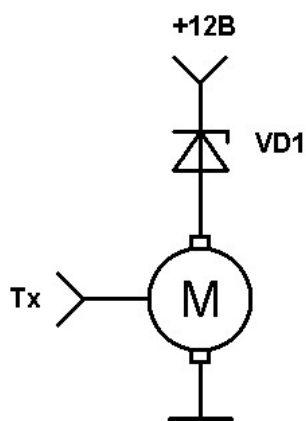


Рис. 3.2.2.2.13. Питание вентилятора через гасящий стабилитрон

Падение напряжения на стабилитроне зависит от его напряжения стабилизации $U_{ст}$ которое бывает где-то от двух вольт и более (обычно 2,1В; 2,4В; 2,7В; 3,0В; 3,3В; 3,6В; 3,9В; 4,4В; 4,7В; 5,1В; 5,6В; 6,2В; 6,8В; 7,5В; 8,2В и т.д.) и практически не зависит от протекающего тока.

Напряжение питания вентилятора определяется следующим образом:

$$U_{пит} = 12 В - U_{ст}.$$

Например, при использовании стабилизатора с напряжением стабилизации $U_{ст} = 5,6 \text{ В}$ напряжение питания вентилятора приблизительно составит $U_{пит} = 12 \text{ В} - 5,6 \text{ В} = 6,4 \text{ В}$.

Как и в предыдущих схемах для надежной работы схемы стабилизатор следует выбирать с максимально допустимым током стабилизации не менее тока потребляемого вентилятором при выбранном напряжении питания. Иногда в справочниках приводится максимально допустимая рассеиваемая мощность. В этом случае можно выбирать стабилизатор и по максимально допустимой рассеиваемой мощности.

Таблица 3 Малогабаритные стабилизаторы с различной максимальной допустимой мощностью

Максимально допустимая мощность, Вт	Стабилизатор (напряжение стабилизации, В)
0,3	КС133А(3,3), КС139А(3,9), КС147А(4,7), КС156А(5,6), КС168А(6,8)
0,5	КС406А(8,2), КС407А(3,3), КС407Б(3,9), КС407В(4,7), КС407Г(5,1), КС407Д(6,8)
1	КС433А(3,3), КС439А(3,9), КС447А(4,7), КС456А(5,6), КС468А(6,8), КС482А(8,2)

Расчет тока потребляемого вентилятором при выбранном напряжении питания рассмотрен выше. В этих же расчетах находилась и мощность, рассеиваемая гасящим элементом.

Для нормальной работы тахометра стабилизатор так же впаивается в разрыв красного (плюсового) провода вентилятора.

Выбор малогабаритных стабилизаторов с большими максимально допустимыми токами стабилизации весьма ограничен. Если дополнить схему транзистором необходимой мощности, то можно будет использовать практически любой стабилизатор с подходящим напряжением стабилизации.

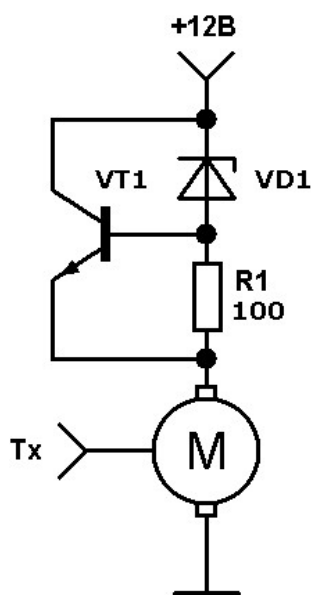


Рис. 3.2.2.2.14. "Умощнение" стабилизатора

Напряжение питания вентилятора в этой схеме меньше, чем в предыдущей схеме, приблизительно на 0,7 В. Такое напряжения должно быть между базой и эмиттером транзистора для его открывания. Оно составляет около.

$$U_{пит} = 12 В - 0,7 В - U_{ст}$$

В этой схеме можно использовать практически любой n-p-n транзистор средней или большой мощности.

Уверенного старта вентилятора при включении компьютера можно добиться, если схему дополнить конденсатором.

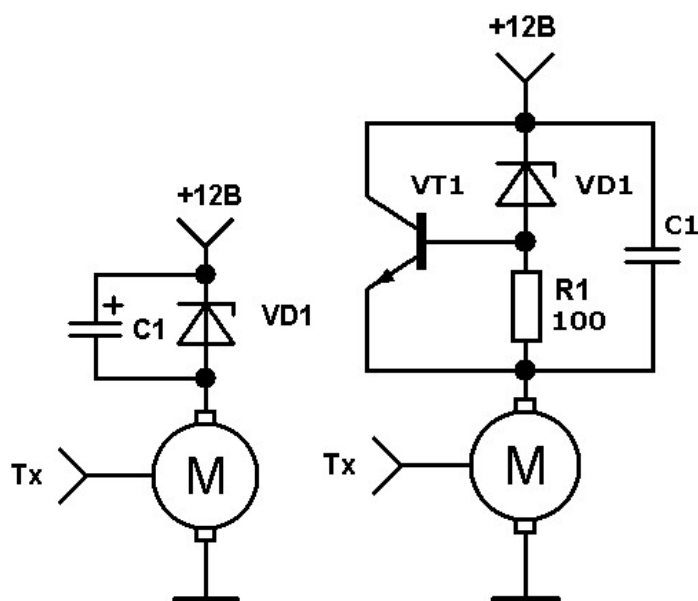


Рис. 3.2.2.2.15. Питание вентилятора через гасящий стабилитрон с форсированным стартом

Как и в предыдущих схемах с форсированным стартом для надежной работы схемы емкость конденсатора для большинства вентиляторов следует выбирать не менее (2200...3300) мкФ, а максимально допустимое напряжение не менее 16 вольт.

3.2.2.3. Использование стабилизаторов напряжения

Для уменьшения напряжения питания вентиляторов можно использовать практически любые стабилизаторы напряжения, имеющие достаточную мощность и подходящее выходное напряжение.

Пожалуй, наиболее удобно использовать ИМС – линейные стабилизаторы напряжения. Они вполне доступны и дешевы, просты в применении. Практически можно использовать ИМС серии К142 и их импортные аналоги, например серии 78xx. Внешний вид их и цоколевка (назначение выводов) приведены на рисунке.

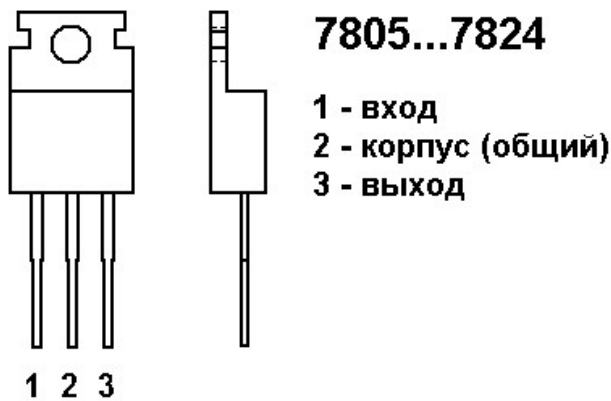


Рис. 3.2.2.3.1. Линейные стабилизаторы напряжения серии 78xx

Минимальное падение напряжения на таких стабилизаторах составляет 2,5...3 вольт. Поэтому при питании их от источника 12 вольт максимальное напряжение на выходе не может быть больше 9...9,5 вольт.

Потому для питания вентиляторов подходят ИМС с номинальным выходным напряжением $U_{\text{вых.ном}}$ равным 5, 6, 8 и 9 вольт.

Таблица 4 ИМС с номинальным выходным напряжением 5, 6, 8 и 9 вольт

Номинальное выходное напряжение, В	ИМС
5	7805, К142ЕН5А, К142ЕН5В
6	7806, К142ЕН5Б, К142ЕН5Г
8	7808
9	7809, К142ЕН8А

Например, для питания вентилятора напряжением 8 вольт используется ИМС 7808. Типовая схема включения приведенная в документации на ИМС 7808 имеет вид (http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/kec/KIA7805_24AP_API.pdf).

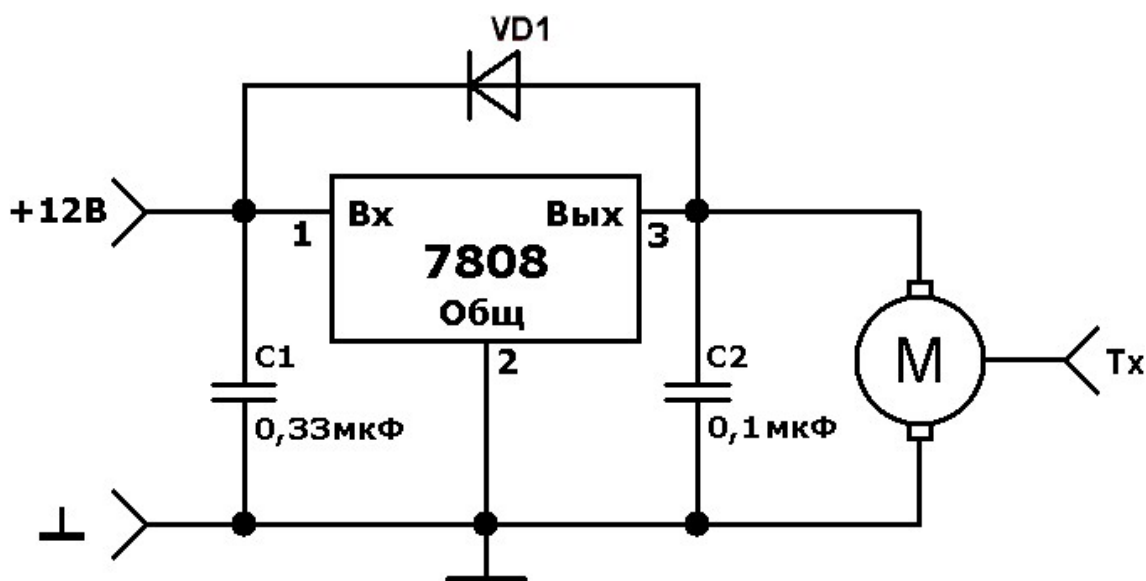


Рис. 3.2.2.3.2. Схема включения стабилизатора напряжения 7808

Схемы включения остальных перечисленных ИМС одинаковы, а выходное напряжение определяется используемой ИМС.

Диод **VD1** защищает ИМС от обратного напряжения создаваемого выбросами напряжения при коммутации обмоток мотора. Если в схеме мотора предусмотрен свой защитный диод, устраняющий помехи от коммутационных выбросов на обмотках в цепи питания мотора, то **VD1** в схему можно не включать.

Диод следует выбирать с максимально допустимым прямым током не менее тока потребляемого вентилятором при выбранном напряжении питания.

Если мощность рассеиваемая на ИМС (считается так же как и мощность на гасящем резисторе) превышает (1...1,5) Вт, то ИМС следует установить на небольшой радиатор или просто прикрутить к металлическому корпусу системника.

К выходу одного стабилизатора можно подключать несколько вентиляторов с суммарным током потребления до (1...3) ампер в зависимости от применяемой ИМС и используемого радиатора.

Недостаток же приведенной схемы включения в том, что напряжение на вентиляторе может быть только 5, 6, 8 или 9 вольт. Да и для каждого из них нужно использовать свою ИМС

Для получения на выходе стабилизатора напряжения больше чем номинальное выходное напряжение $U_{\text{вых.ном}}$ используется следующая схема так же приведенная в документации на ИМС 7805.

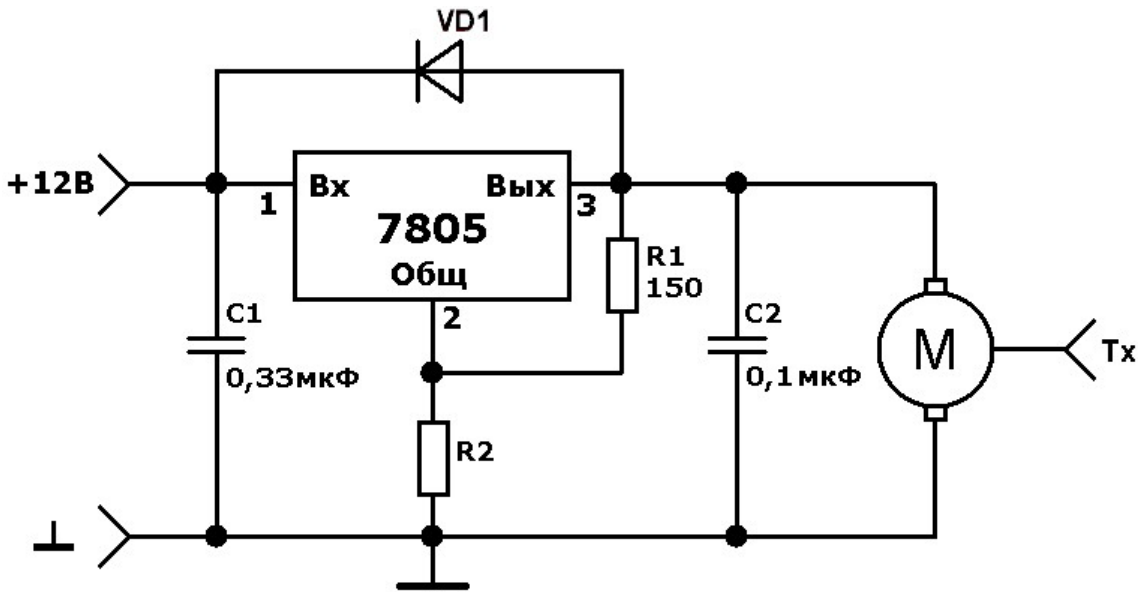


Рис. 3.2.2.3.3. Схема включения стабилизатора напряжения 7805 с делителем напряжения

В этом случае выходное напряжение стабилизатора или напряжение питания вентилятора складывается из номинального выходного напряжение $U_{\text{вых.ном}}$ и падения напряжения на резисторе **R2**

$$U_{\text{пит}} = U_{\text{вых.ном}} + U_{R2} = U_{\text{вых.ном}} + R2 * (U_{\text{вых.ном}}/R1 + I_{\text{пот}}), \quad U_{\text{вых.ном}} + R2 * (I_{R1} + I_{\text{пот}}) =$$

где: $I_{\text{пот}}$ - ток потерь или просто ток, протекающий в цепи общего вывода ИМС.

Ток потерь у перечисленных ИМС может быть (0,004...0,01) А.

Отсюда зная требуемое напряжение питания вентилятора (оно опять же не может превышать 9...9,5 вольт) можно определить сопротивление резистора **R2**.

$$R2 = R1 * (U_{пит} - U_{вых.ном}) / (U_{вых.ном} + R1 * I_{пот}).$$

Мощность резисторов

$$W_{R1} = U_{вых.ном} * U_{вых.ном} / R1$$

$$W_{R2} = R2 * (U_{вых.ном}/R1 + I_{пот}) * (U_{вых.ном}/R1 + I_{пот})$$

Для примера рассчитаем сопротивление резистора **R2** для питания вентилятора напряжением $U_{пит} = 7,5$ В и приняв для ИМС **7805** $I_{пот} = 0,004$ А.

$$R2 = 150 * (7,5 - 5) / (5 + 150 * 0,004) = 66,96 \text{ Ом.}$$

Принимаем ближайшее значение из ряда номиналов резисторов 68 Ом.

$$W_{R1} = 5 * 5 / 150 = 0,167 \text{ Вт}$$

Выбираем ближайшее значение из ряда номиналов мощностей 0,25 Вт.

$$W_{R2} = 68 * (5/150 + 0,004) * (5/150 + 0,004) = 0,095 \text{ Вт}$$

Выбираем ближайшее значение из ряда номиналов мощностей 0,125 Вт.

Достоинство приведенной схемы включения в том, что на вентиляторе может быть подано любое напряжение в диапазоне от $U_{вых.ном}$ до 9...9,5 вольт.

В такой схеме при выходных токах до 1,5 ампер можно использовать широко распространенную ИМС **LM317**, у которой $U_{вых.ном} = 1,25$ В, а $I_{пот} = (0,000046...0.0001)$ А.

3.2.3. Линейное управление

При линейном управлении напряжение, подаваемое на работающий вентилятор, может изменяться автоматически или вручную.

Для получения малой скорости вращения крыльчатки напряжение на вентиляторе уменьшается, а для повышения оборотов — увеличивается. Но есть некоторые тонкости. Не каждое устройство пригодно для управления любым вентилятором.

Дело в том, что минимальное напряжение, при котором вентилятор может стартовать и минимальное напряжение, при котором вентилятор может еще крутиться, различны у вентиляторов разных производителей, разных моделей и даже у различных экземпляров вентиляторов одного типа. Это и надо учитывать при линейном управлении скоростью вращения вентилятора.

3.2.3.1. Ручное управление

Ручное управление осуществляется с использованием переключателей или потенциометров.

В первом случае напряжение на вентиляторе и, соответственно скорость вращения можно изменять только скачками или дискретно, а во втором – плавно.

При использовании переключателей получают различные переключаемые варианты или комбинации ранее рассмотренных схем (см. п. 3.2.2. Отсутствие управления). Ниже приведено ряд схем практически не требующих пояснений.

Например, вентилятор по выбору можно подключать к напряжениям 5 и 12 вольт, вырабатываемым блоком питания или полностью отключать вентилятор.

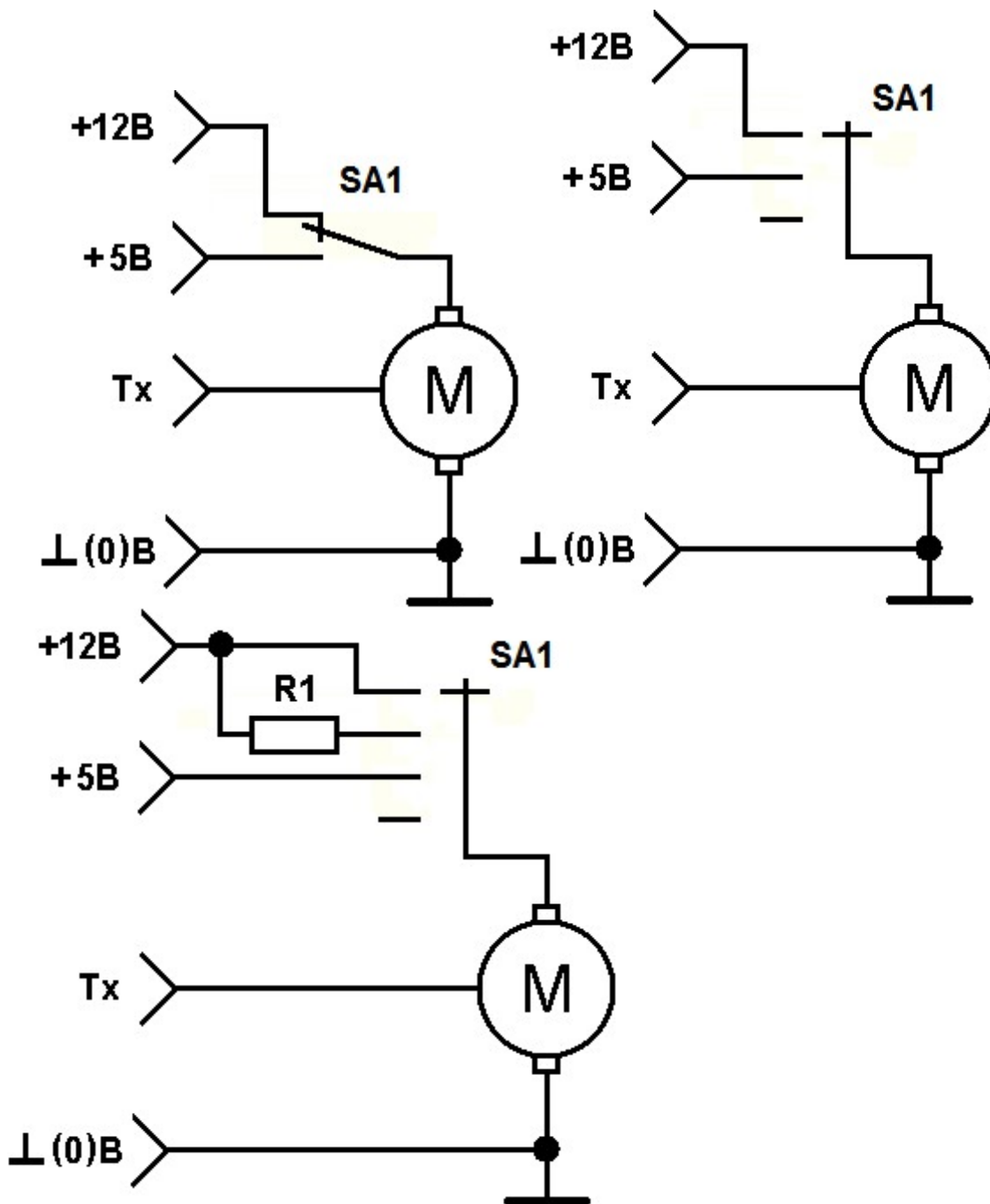


Рис. 3.2.3.1.1. Использование напряжений вырабатываемых блоком питания

Для подачи на вентилятор напряжений отличающихся от 5 или 12 вольт можно использовать один или несколько переключаемых резисторов. Выбор их параметров уже был рассмотрен ранее.

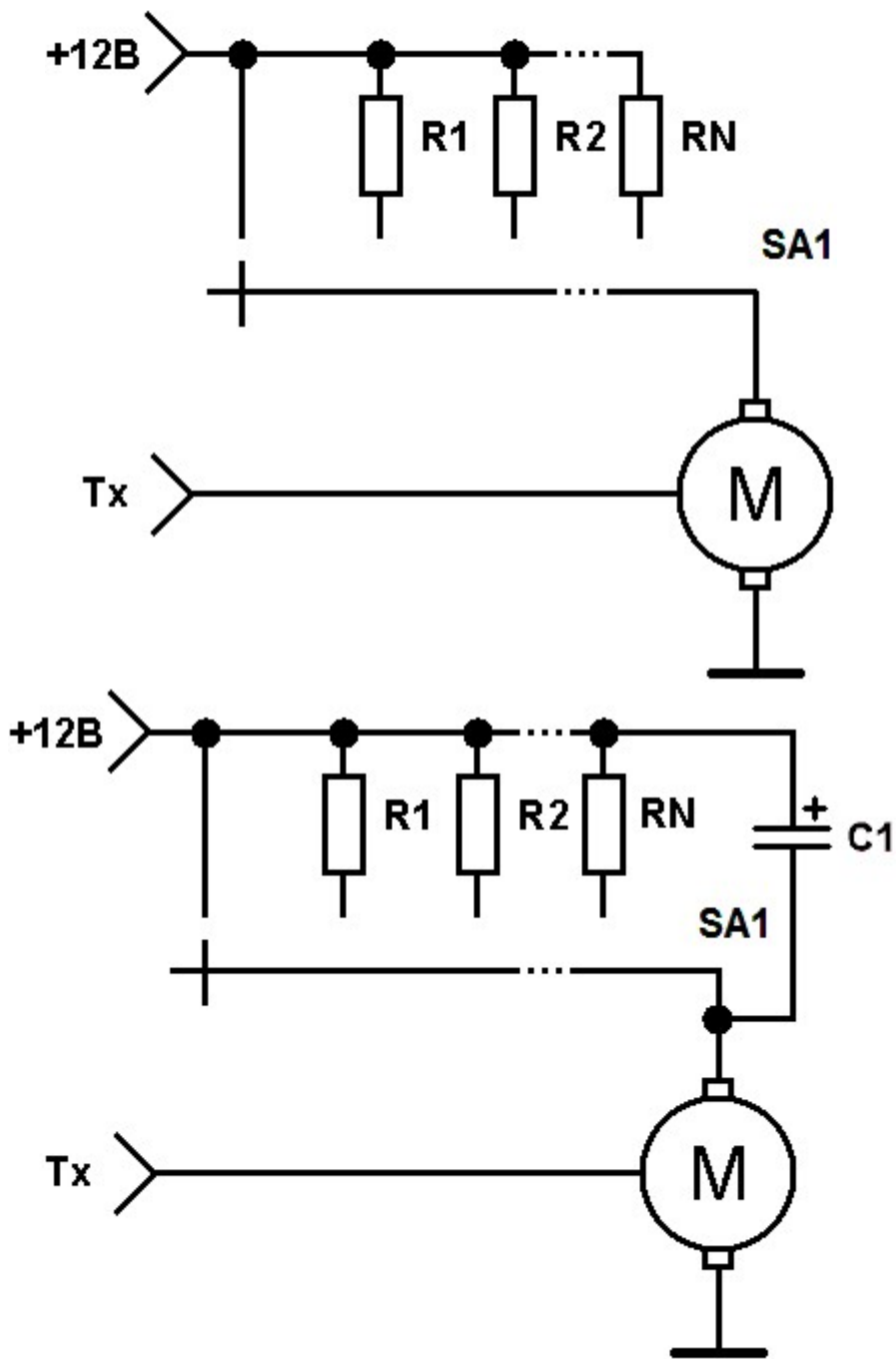


Рис. 3.2.3.1.2. Использование гасящих резисторов

Для уверенного старта вентилятора при включении компьютера схемы можно дополнить форсирующим конденсатором.

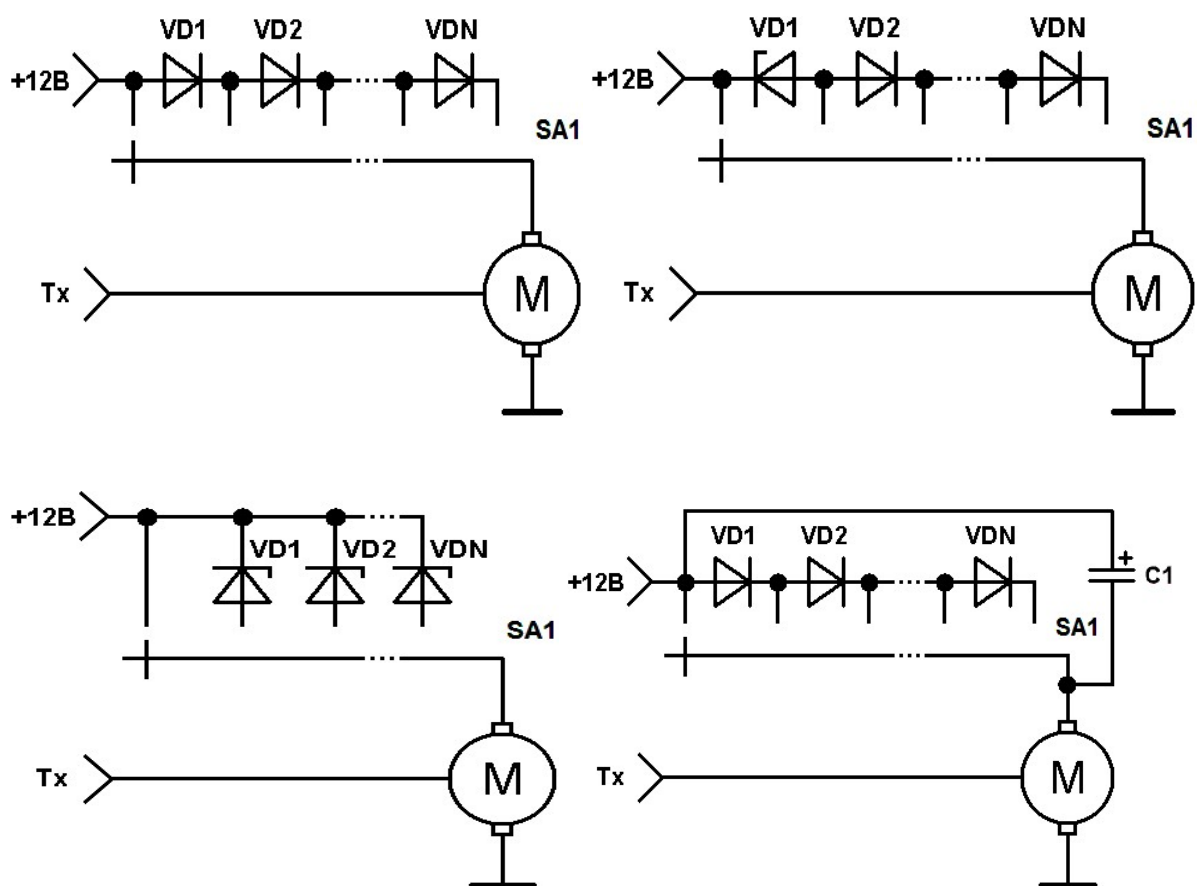


Рис. 3.2.3.1.3. Использование гасящих диодов и стабилитронов

Аналогично строятся схемы с использованием гасящих диодов и стабилитронов или их комбинаций.

Для плавного изменения скорости вращения вентилятора используются потенциометры.

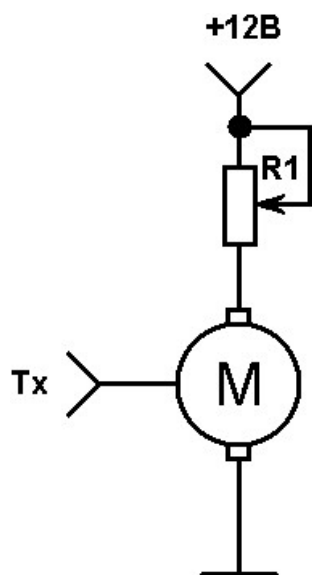


Рис. 3.2.3.1.4. Питание вентилятора через гасящий потенциометр

Как же определить параметры необходимого потенциометра?

Максимальное сопротивление гасящего потенциометра **R** получается в верхнем положении движка. Оно рассчитывается исходя из требуемого минимального напряжения на

вентиляторе $U_{\text{мин}}$ или минимальных оборотов, так как рассмотрено в п. 3.2.2.2. Использование гасящих резисторов, диодов, стабилитронов.

Затем из ряда выпускаемых номинальных значений сопротивления выбирается ближайшее большее номинальное значение R_n . Обычно для потенциометров эти значения соответствуют ряду E6, в котором номинальные значения сопротивлений кратны шести значениям 1; 1,5; 2,2; 3,3; 4,7; 6,8.

А вот мощность потенциометра W выбирается несколько иначе, чем в п. 3.2.2.2. Использование гасящих резисторов, диодов, стабилитронов. Она рассчитывается исходя из номинального тока $I_{\text{ном}}$, потребляемого вентилятором при номинальном напряжении питания вентилятора $U_{\text{пит}} = 12 \text{ В}$:

$$W = I_{\text{ном}}^2 * R_n.$$

Например, для подачи на вентилятор Glacial Tech GT 12025-SDLA1 с потребляемым током 0,12 А напряжения в 6 вольт по результатам ранее приведенных расчетов требовался резистор сопротивлением 100 Ом и с мощностью рассеивания не менее 0,36 Вт.

Для потенциометра, позволяющего подавать на вентилятор напряжение питания $U_{\text{пит}}$ от 12 вольт в нижнем положении движка (см. схему выше) до $U_{\text{мин}} = 6$ вольт в верхнем положении движка, требуется потенциометр так же с сопротивлением 100 Ом.

А вот его номинальная мощность должна быть уже не менее

$$W = 0,12^2 * 100 = 1,44 \text{ Вт}.$$

Из ряда выпускаемых номинальных значений мощности выбирается ближайшее большее номинальное значение. Для потенциометров эти значения 0,125; 0,25; 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 6,3; 8; 10 и т.д. Вт.

Таким образом, выбирается потенциометр сопротивлением 100 Ом и мощностью 2 Вт.

Для уверенного старта вентилятора при включении компьютера схему можно дополнить форсирующим конденсатором.

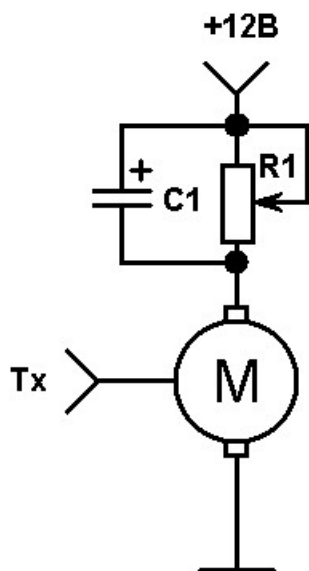


Рис. 3.2.3.1.5. Питание вентилятора через гасящий потенциометр с форсированным стартом

Рассчитаем параметры еще одного потенциометра для регулировки напряжения питания $U_{\text{пит}}$ от 12 до 4 вольт на вентиляторе GEMBRID FANCASE3, с потребляемым током 0,3 А.

Для подачи на вентилятор напряжения в 4 вольта по результатам расчетов в программе **FanCalc** требуется резистор сопротивлением 80 Ом с мощностью рассеивания не менее 0,9 Вт.

Таким образом, потенциометр, позволяющий подавать на этот вентилятор напряжение от 12 вольт в нижнем положении движка (см. схему выше) $U_{\text{мин}} = 4$ вольт в верхнем положении движка должен иметь сопротивление 80 Ом.

Ближайшее большее значение из ряда выпускаемых номинальных значений будет 82 Ом.

Тогда номинальная мощность потенциометра должна быть не менее

$$W = 0,3^2 * 82 = 7,38 \text{ Вт.}$$

Поскольку резистор с такой мощностью (номинально 8 Вт) имеет не малые габариты, да и найти его можно далеко не в каждом магазине радиодеталей, то *обычно используются схемы с транзисторами. Они позволяют использовать практически любые потенциометры с гораздо меньшей мощностью.*

Кроме того, потенциометр, рассчитанный для регулировки напряжения на одном вентиляторе, с другим вентилятором может вести себя совершенно иначе.

Схема с транзистором имеет вид.

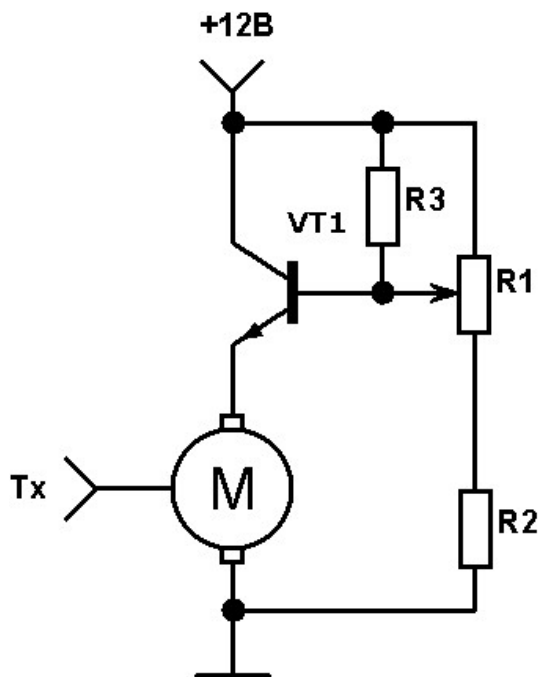


Рис. 3.2.3.1.6. Питание вентилятора с потенциометром и транзистором

Максимальное напряжение на вентиляторе в такой схеме чуть меньше 12 вольт на величину падения напряжения на эмиттерном переходе транзистора $U_{\text{БЭПР}}$. Поскольку это падение напряжение не превышает обычно 0,7 вольта, то можно считать, что на вентилятор подается практически все напряжения питания 12 вольт.

В данной схеме можно использовать любой n-p-n транзистор с подходящей мощностью.

Мощность транзистора выбирается не менее мощности резистора по расчетам в программе **FanCalc** для подачи на вентилятор напряжения в 6 вольт.

Сопротивления резисторов определяются так.

$$R1 + R2 = (5...15) * 12 / I_{\text{ном}}$$

$$R1 = (R1 + R2) * (12 - U_{\text{мин}} - U_{\text{БЭПР}}) / U_{\text{пит}}$$

$$R2 = R1 * (U_{\text{мин}} + U_{\text{БЭПР}}) / (12 - U_{\text{мин}} - U_{\text{БЭПР}})$$

$$R3 = (25...50) * R1$$

Мощность резисторов определяется так.

$$W_{\text{мин } R1} = (12 - U_{\text{мин}} - U_{\text{БЭПР}}) * 12 / (R1 + R2)$$

$$W_{\text{мин } R2} = (U_{\text{мин}} + U_{\text{БЭПР}}) * 12 / (R1 + R2)$$

$$W_{\text{мин } R3} = (12 - U_{\text{мин}} - U_{\text{БЭПР}}) * (12 - U_{\text{мин}} - U_{\text{БЭПР}}) / R3$$

Рассчитаем параметры элементов схемы для регулировки напряжения от 12 до 4 вольт на вентиляторе GEMBRID FANCASE3, с потребляемым током 0,3 А.

Начнем с выбора транзистора. Для вентилятора GEMBRID FANCASE3, с потребляемым током 0,3 А для подачи на него напряжения в 6 вольт по результатам расчетов в программе **FanCalc** требуется резистор сопротивлением 40 Ом с мощностью рассеивания не менее 0,9 Вт. Следовательно, можно использовать любой n-p-n транзистор с мощностью рассеивания без радиатора не менее 0,9 Вт. Например, КТ815 или КТ817 имеют мощность рассеивания без радиатора 1Вт. Если потребуется большая мощность можно использовать радиатор.

$$R1 + R2 = (5...15) * 12 / 0,3 = (200...600) \text{ Ом}$$

$$R1 = (200...600) * (12 - 4 - 0,7) / 12 = (121...365) \text{ Ом}$$

Выбираем **R1 = 200 Ом**.

Тогда

$$R2 = 200 * (4 + 0,7) / (12 - 4 - 0,7) = 128,8 \text{ Ом}$$

Выбираем ближайшее меньшее номинальное значение. Это будет **120 Ом**.

$$R3 = (25...50) * R1 = (25...50) * 200 = (5000...10000) \text{ Ом}$$

Выбираем **R3 = 6800 Ом**

$$W_{\text{мин } R1} = (12 - 4 - 0,7) * 12 / (200 + 120) = 0,27 \text{ Вт}$$

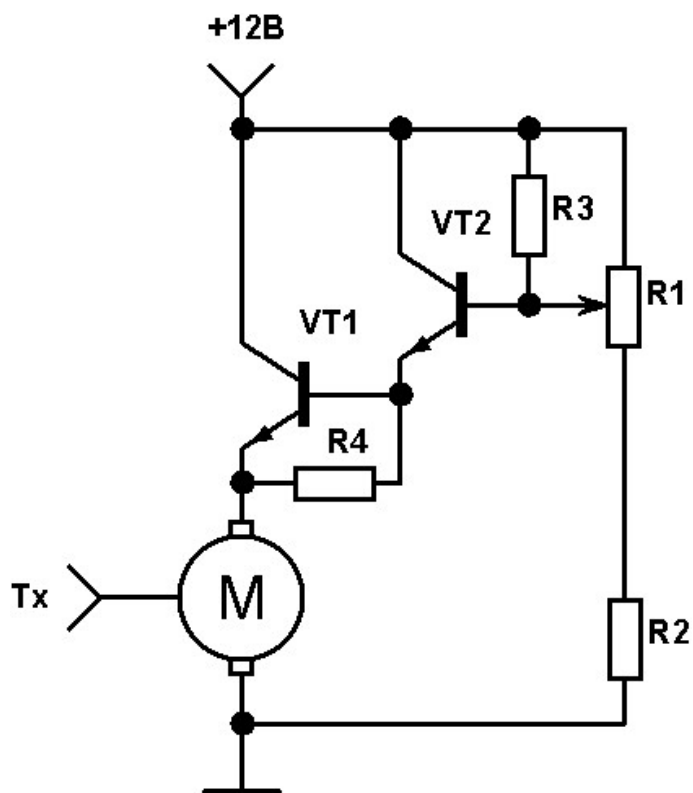
$$W_{\text{мин } R2} = (4 + 0,7) * 12 / (200 + 120) = 0,176 \text{ Вт}$$

$$W_{\text{мин } R3} = (12 - 4 - 0,7) * (12 - 4 - 0,7) / 6800 = 0,0078 \text{ Вт}$$

Соответственно выбираем ближайшие большие номинальные значения. Это будут соответственно **0,5; 0,25; 0,125 Вт**.

Важной особенностью приведенной схемы является то, что рассчитанная для регулировки напряжения на одном вентиляторе, она пригодна для работы с другими менее мощными вентиляторами.

Для работы практически с любыми вентиляторами транзистор заменяется на составной по схеме Дарлингтона (например, КТ972). Или, что то же самое, схема дополняется еще одним практически любым маломощным n-p-n транзистором VT2 и резистором R4.



Максимальное напряжение на вентиляторе в такой схеме меньше 12 вольт на величину падения напряжения на двух эмиттерных переходах. Это падение напряжение составляет обычно 1,4 вольта.

Сопротивление резистора R4 выбирается (1...2) кОм. Мощность его от 0,125 Вт.

Параметры остальных элементов выбираются, как и в предыдущей схеме (только $U_{БЭПР}$ теперь 1,4 В).

Существует и масса других схем с использованием транзисторов.

Для регулировки напряжения питания вентиляторов можно так же использовать стабилизаторы напряжения, имеющие достаточную мощность и подходящее выходное напряжение.

Наиболее удобно использовать ИМС – линейные стабилизаторы напряжения с номинальным выходным напряжением $U_{\text{вых.ном}}$ равным 5 В и менее.

Величина $U_{\text{вых.ном}}$ определяет самое маленькое напряжение, которое можно получить на выходе регулятора напряжения с ИМС – линейным стабилизатором напряжения.

Максимальное напряжение на вентиляторе определяется типом применяемой ИМС и обычно составляет (9...9,5) вольт.

К выходу одного стабилизатора можно подключать несколько вентиляторов с суммарным током потребления до (1...3) ампер в зависимости от применяемой ИМС и используемого радиатора.

Если мощность рассеиваемая на ИМС (считается так же как и мощность на гасящем резисторе) превышает (1...1,5) Вт, то ИМС следует установить на небольшой радиатор или просто прикрутить к металлическому корпусу системника.

Схема регулятора напряжения на ИМС 7805 отличается от схемы стабилизатора на 7805 с делителем напряжения рассмотренной в п. 3.2.2.3. Использование стабилизаторов

напряжения только тем, что вместо постоянного сопротивления R2 используется потенциометр.

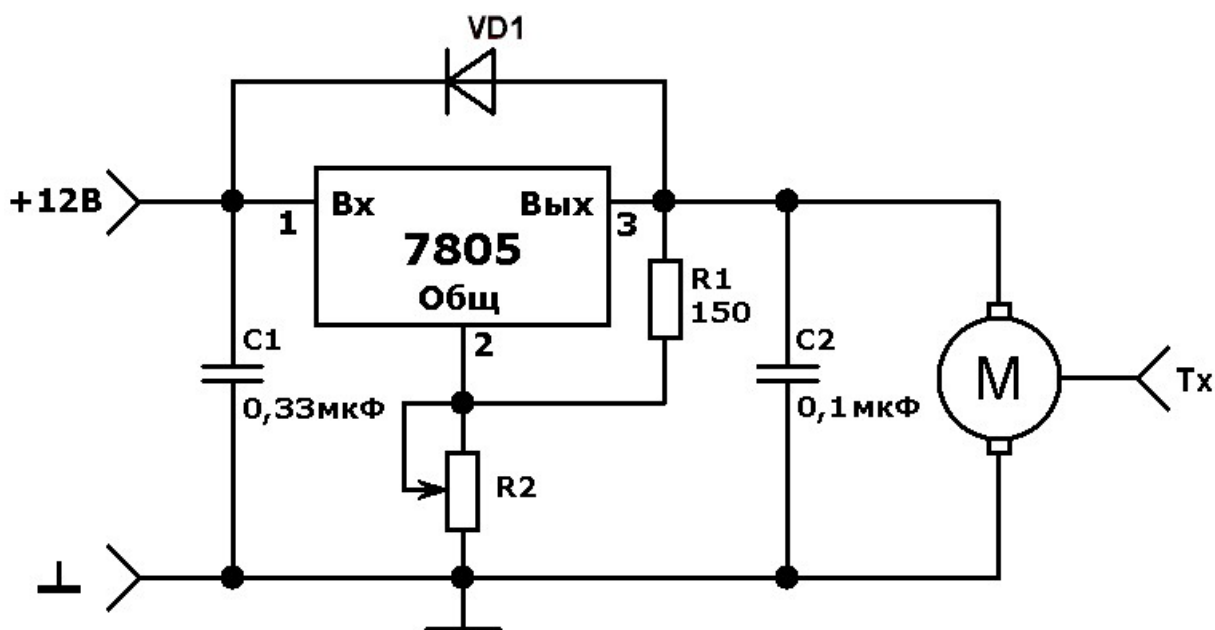


Рис. 3.2.2.3.3. Схема регулятора напряжения на ИМС 7805

Минимальное напряжение $U_{\text{мин}}$ на выходе регулятора напряжения получается в нижнем положении движка потенциометра R_2 и определяется величиной $U_{\text{вых.ном}}$. Для ИМС 7805 это 5 вольт.

Максимальное напряжение $U_{\text{мах}}$ составляет порядка 9,5 вольт. Для этого напряжения и рассчитывается сопротивление потенциометра R_2 .

$$R_2 = R_1 * (U_{\text{мах}} - U_{\text{вых.ном}}) / (U_{\text{вых.ном}} + R_1 * I_{\text{пот}}),$$

где: $I_{\text{пот}}$ - ток потерь или просто ток, протекающий в цепи общего вывода ИМС.

Мощность резисторов

$$W_{R1} = U_{\text{вых.ном}} * U_{\text{вых.ном}} / R_1$$

$$W_{R2} = R_2 * (U_{\text{вых.ном}}/R_1 + I_{\text{пот}}) * (U_{\text{вых.ном}}/R_1 + I_{\text{пот}})$$

Вот для примера и рассчитаем сопротивление потенциометра R_2 для $U_{\text{мах}} = 9,5$ вольт и приняв для ИМС **7805** $I_{\text{пот}} = 0,004$ А.

$$R_2 = 150 * (9,5 - 5) / (5 + 150 * 0,004) = 120,5 \text{ Ом.}$$

Принимаем ближайшее значение из ряда номиналов потенциометра 120 Ом.

$$W_{R1} = 5 * 5 / 150 = 0,167 \text{ Вт}$$

Выбираем ближайшее значение из ряда номиналов мощностей 0,25 Вт.

$$W_{R2} = 120 * (5/150 + 0,004) * (5/150 + 0,004) = 0,167 \text{ Вт}$$

Выбираем ближайшее значение из ряда номиналов мощностей 0,25 Вт.

В такой схеме при выходных токах до 1,5 ампер можно использовать широко распространенную ИМС **LM317**, у которой $U_{\text{вых.ном}} = 1,25$ В, а $I_{\text{пот}} = (0,000046...0.0001)$ А. Эта ИМС позволяет регулировать напряжение на вентиляторе от 1,25 В (на практике такое низкое напряжение и не используется) до приблизительно 9,5 В.

3.2.3.2. Автоматическое управление

Выводы.

- Линейные схемы управления имеют общий недостаток - низкий КПД. Низкий КПД связан с тем, что на гасящем элементе рассеивается значительная часть мощности (например, если на вентилятор подано 8 В, то оставшиеся 4 В падают на гасящем элементе, а это 1/3 от общей потребляемой мощности).

3.2.4. Импульсное управление

4. Уменьшение треска и вибраций мотора

Все методы и способы уменьшения треска и вибраций мотора направлены на:

- *сохранение неизменных сил взаимодействия между статором и ротором мотора при коммутации;*
- *обеспечение плавного изменения этих сил;*
- *амортизацию (смягчение) и демпфирование (поглощение энергии) уже возникших колебаний и устранение резонансных явлений.*

В результате, если в процессе коммутации, крыльчатка не будет испытывать резких жестких рывков, то и амплитуда вибраций и шумов, которые часто называют "коммутационными шумами", в конструктивных элементах вентилятора будет небольшой. Кроме того, поглощение энергии уже возникших колебаний приведет к дополнительному уменьшению амплитуды вибраций.

Методы и способы уменьшения треска и вибраций мотора можно разделить на *электронные и механические*.

Электронные методы используются наиболее широко.

Они позволяют:

- максимально уменьшить изменение сил взаимодействия между статором и ротором мотора во время коммутации, например, при питании обмоток статора от генератора тока;
- обеспечить различными способами "мягкую коммутацию", т.е. плавное изменение указанных сил взаимодействия;
- осуществить электрическое демпфирование или гашение электрических колебаний с помощью поглощения электрической энергии (преобразования ее в тепловую), например, в резисторе или диоде, включенном в электрическую цепь.

Чаще других в вентиляторах постоянного тока с бесконтактной коммутацией обмоток используется "мягкая коммутация".

♦ Сущность "мягкой коммутации" заключается в замедлении процесса коммутации обмоток мотора или плавном изменении напряжения на обмотках мотора при их коммутации.

Соответственно отсутствие в процессе коммутации каких-либо выбросов, резких фронтов или срезов в составе сигналов на обмотках двигателей приводит к плавному изменению тока через обмотки, и, следовательно, плавному изменению сил взаимодействия между статором и

ротором мотора. Поэтому *крыльчатка не испытывает резких жестких рывков и амплитуда вибраций в конструктивных элементах вентилятора оказывается небольшой.*

Для устранения или ограничения выбросов используется электрическое демпфирование с помощью резисторов или диодов.

Механические методы направлены на амортизацию и поглощение энергии колебаний возникающих в моменты коммутации. Тут по сути два основных направления.

Во-первых, это *эластичная подвеска статора (мотора) на втулке с подшипниками с помощью какого-либо упругого элемента или амортизатора*, что приводит как к уменьшению амплитуды вибраций передаваемых как крыльчатке, так и корпусу вентилятора.

Во-вторых, *использование демпфирующих и вибропоглощающих материалов* для поглощения энергии уже возникших колебаний и устранения резонансных явлений.

Однако эти классические методы борьбы с вибрациями и шумами - виброизоляция (амортизация) и вибропоглощение (вибродемпфирование) – в штатных конструкциях вентиляторов практически не используются. А зря. Они могут давать очень неплохие результаты.

4.1. Простейшие способы демпфирования и “смягчения” коммутации

Разработчики микросхем для электроприводов моторов вентиляторов, как правило, предусматривают определенные меры для создания управляющих сигналов с растянутым фронтом и срезом.

♦ Для “сглаживания” управляющих импульсов разработчики используют простейшие способы, позволяющие обычно только уменьшить и лишь иногда практически полностью устранить высокочастотный треск мотора. А вот против низкочастотных вибраций простейшие способы, как правило, оказываются бессильными.

Наиболее часто используется процесс заряда и разряда смягчающих конденсаторов с емкостью порядка единиц микрофард.

Сущность этого метода рассмотрена в п. Б.2 Принцип действия мотора.

Например, согласно спецификации на ИМС ATS276 (<http://www.acorsa.xost.ru/arh/ats276.pdf>) рекомендуется использовать демпфирующие, сглаживающие или смягчающие RC цепи R1C1 и R2C2.

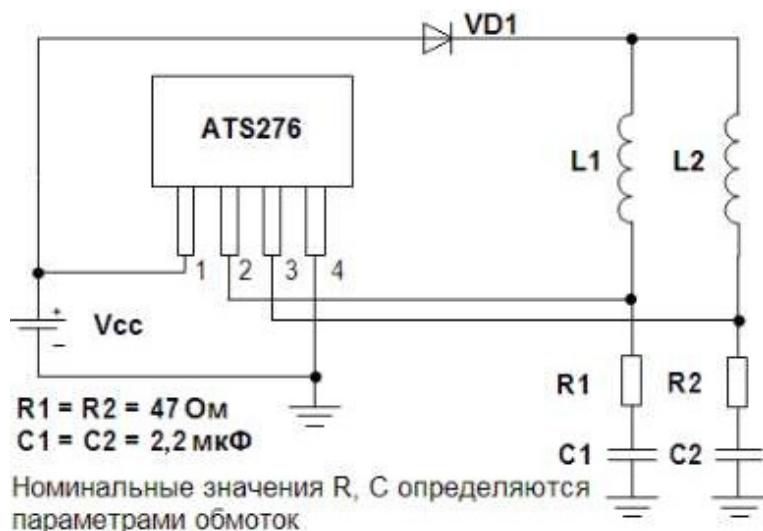


Рис. 4.1.1. Типовая схема управления мотора на базе ИМС ATS276

В этой схеме резисторы ограничивают ток разряда конденсаторов через ИМС.

А в спецификации на ИМС TA8420 и TA8421 для улучшения характеристик мотора предусматривается уже целый ряд дополнительных элементов (<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/toshiba/4041.pdf>).

Причем для подавления шумов и вибраций могут использоваться различные способы, указанные в примечаниях №№ 3,4 и 6 этой спецификации.

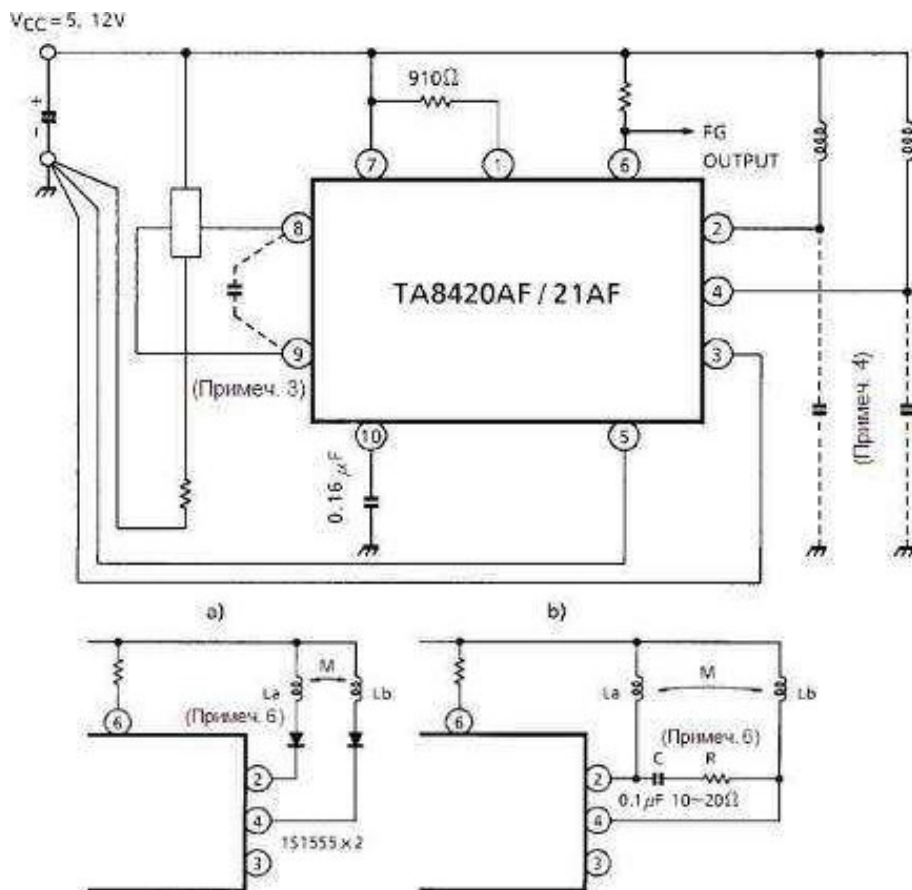


Рис. 4.1.2. Дополнительные элементы в моторе на базе ИМС TA8420AF / TA8421AF

Примечание 3. Эта емкость используется для подавления шума. Подключите если необходимо.

Примечание 4. Рекомендуется подключить емкость между каждым выходом и землей (или элементы, указанные в примечании б), чтобы подавить радиопомехи и шум.

Примечание 6. В случае большого значения взаимной индукции между L_a и L_b диоды (или RC цепь) будут ограничивать выбросы (переколебания) обратного напряжения при коммутации обмоток L_a и L_b .

Эти выбросы прекрасно видны на осциллограмме напряжения на коллекторе ключевых транзисторов (VT1 или VT2) в типовой схеме мотора на ИМС **ATS177**.

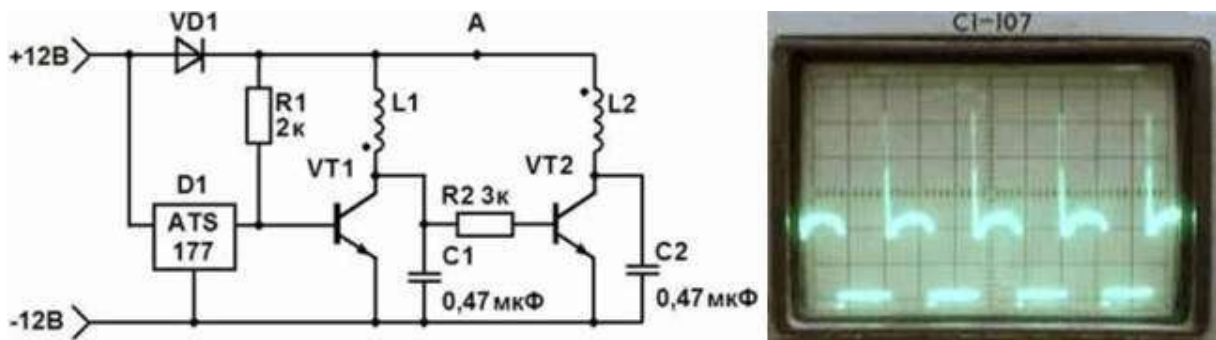


Рис. 4.1.3. Осциллограмма напряжения на катушке типового мотора

При наличии в схеме диода VD1, защищающего мотор от переплюсовки питающего напряжения и уменьшающего уровень помех в цепи питания +12 В, выбросы наблюдаются так же в плюсовом проводе питания обмоток мотора (точка А).

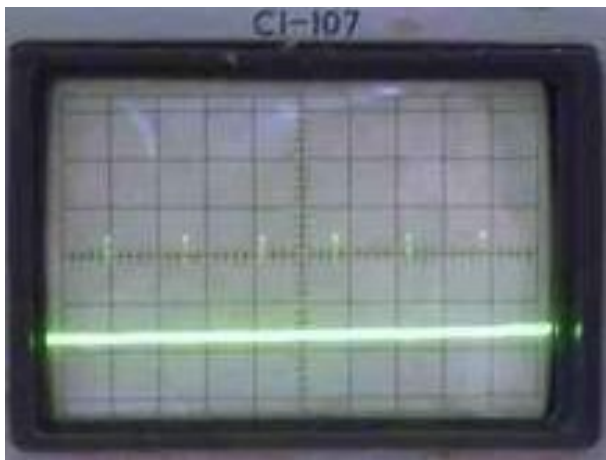


Рис. 4.1.4. Выбросы в плюсовом проводе мотора

Такие схемы могут лечиться от треска всего одним блокировочным конденсатором.

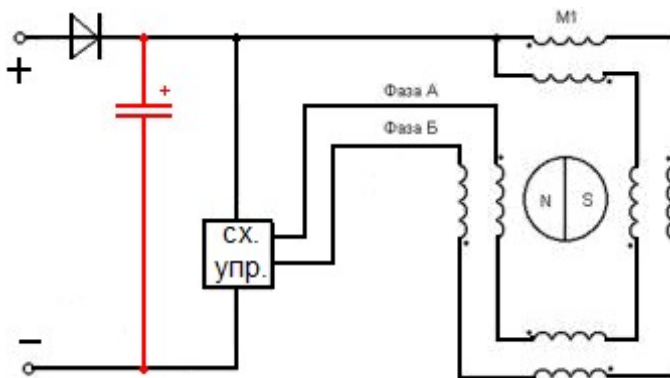


Рис. 4.1.5. Схема с блокировочным конденсатором

На рисунке вся схема управления заменена одним квадратиком. На рассмотрение способов лечения это не влияет. Тем более что во многих современных моторах используется одна единственная микросхема, в которой умещается вся схема управления.

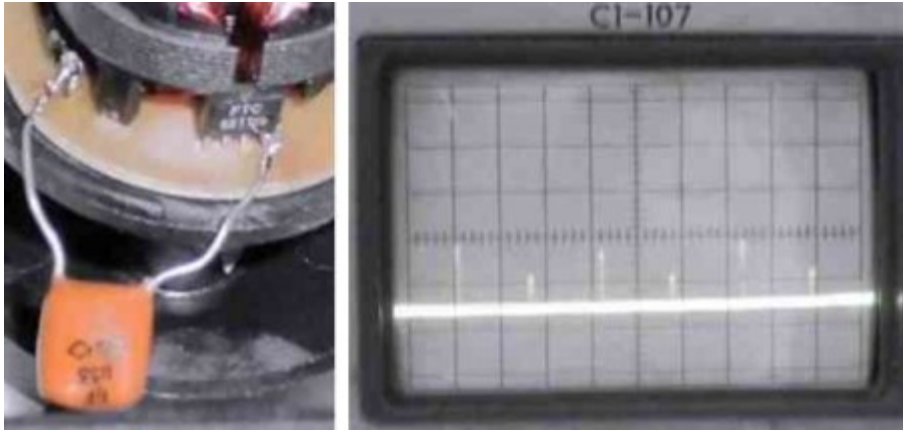


Рис. 4.1.6. Емкость блокировочного конденсатора маловата

Даже небольшая емкость (0,33 мкФ) способна резко уменьшить треск мотора. Лучший результат дает емкость до нескольких мкФ.



Рис. 4.1.7. Нормальная емкость блокировочного конденсатора

Еще лучшие результаты дает использование шунтирующих диодов включаемых параллельно катушкам мотора.

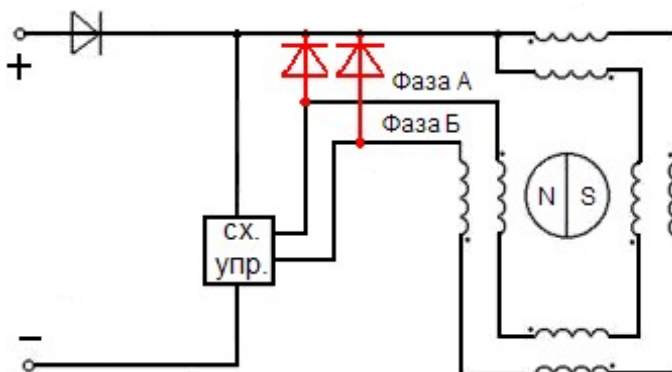


Рис. 4.1.8. Схема с шунтирующими диодами

Это гораздо лучший вариант не только потому, что обеспечивает существенно большее подавление треска, но и потому, что диоды имеют меньшие размеры и легко могут быть размещены внутри мотора.

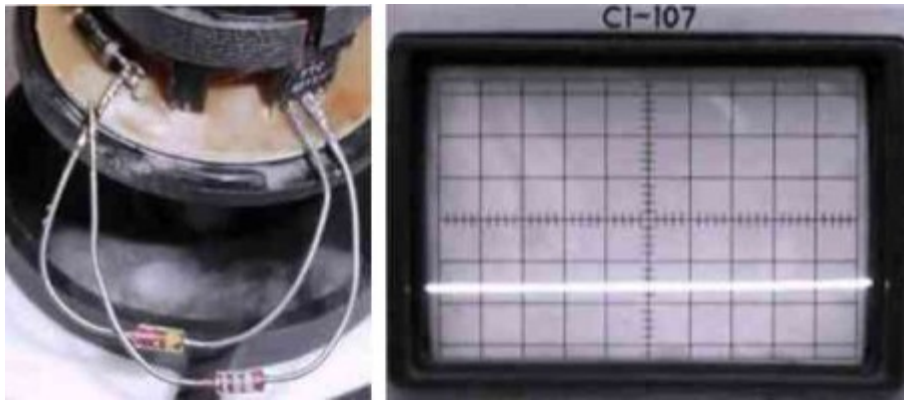


Рис. 4.1.9. Идеальное подавление выбросов диодами

А еще это работает при отсутствии защитного диода, когда использование блокировочного будет бесполезен.

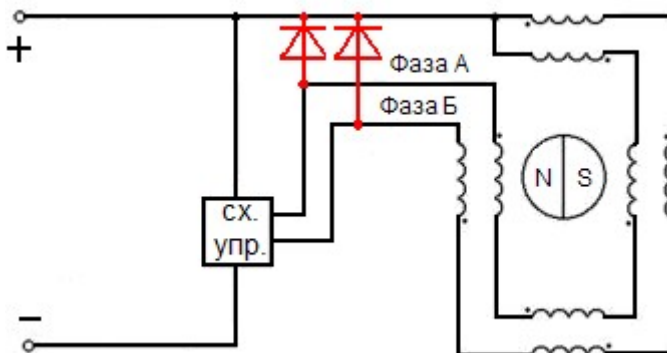


Рис. 4.1.10. Мотор без защитного диода

А еще позволяет добиться импульсов практически идеальной прямоугольной формы на коммутирующих элементах и снизить вероятность выхода их из строя по причине пробоя.

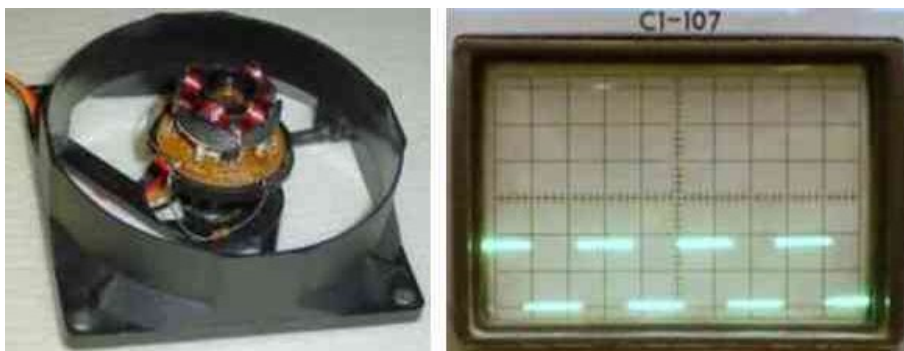


Рис. 4.1.11. Импульсы прямоугольной формы на коммутирующих элементах

♦ К недостаткам этих простейших способов подавление треска моторов следует отнести их недостаточную эффективность. Треск нередко устраняется как бы наполовину.

А использование шунтирующих диодов включаемых параллельно катушкам мотора приводит еще и к росту мощности рассеиваемой на элементах мотора. В результате растет температура обмоток и схемы управления.

В некоторых моторах, например GlacialTech SilentBlade GT12252BDL-1, для подавления треска достаточно на предусмотренные места впаять демпфирующие элементы. Помогает даже в упрощенном виде (на рисунке вместо последовательной RC цепочки впаян только конденсатор емкостью 0,33 мкФ).

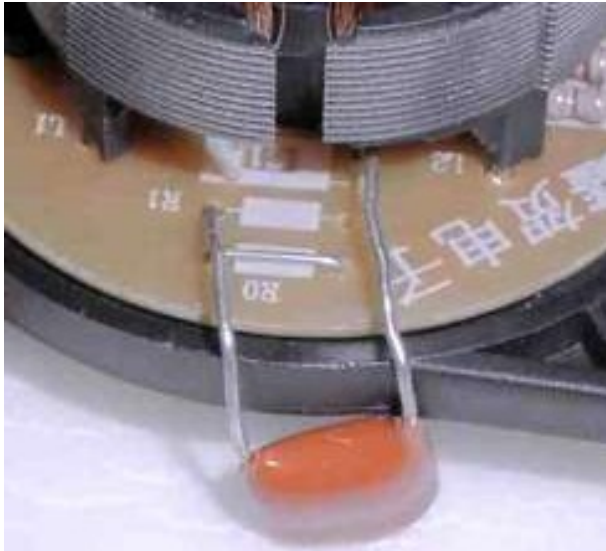


Рис. 4.1.12 Подавления треска демпфирующими элементами

Несмотря на наличие широко известных в среде разработчиков моторов простейших способов для сглаживания управляющих импульсов *далеко не каждый вентилятор обладает низким уровнем треска и вибраций. Обычно в этом виноваты упрощения в схемотехнике моторов, экономия на радиоэлементах и материалах.*

Эта экономия часто приводит к тому, что в электроприводе остаются только те элементы, без которых он просто не сможет работать. Остальные же, в том числе и элементы для сглаживания управляющих импульсов, во многих китайских моторах, например, просто не впаиваются. Хотя для них на платах даже отверстия предусмотрены.



Рис. 4.1.13. Мотор без предусмотренных смягчающих конденсаторов

Бывают и такие экзотические варианты, когда мотор собирается совсем не по той схеме, для сборки которой предназначена используемая печатная плата.

Ярким примером такого подхода к созданию моторов служат электроприводы вентиляторов GlacialTech SilentBlade GT1225EBDL-1 и его "брата близнеца" GlacialTech SilentBlade GT12252BDL-1.

Поэтому утихомиривание мотора, как правило, следует начинать с распайки предусмотренных, но не распаянных смягчающих элементов.

Если этого окажется недостаточно, то придется использовать другие более эффективные способы, приводящие к большему сглаживанию управляющих импульсов, чем простейшие способы обычно предлагаемые производителями.

♦ На практике для более существенного "смягчения" коммутации конечно можно просто увеличить емкость смягчающих конденсаторов, но значительно лучшие результаты дает применение интегрирующих RC цепей или интеграторов на транзисторах.

4.2. Увеличение емкости "смягчающих" конденсаторов и применение интегрирующих RC цепей

Это решение универсально.

Оно может использоваться как в однообмоточных моторах собранных на ИМС **FS319, ATS477, AH477, AH480, BA6427F, BA6428F, BA6906F, BH6789FVM, US72, US73** и т.д., так и в двухобмоточных моторах, собранных на ИМС **APX9140, APX9141, ATS236, ATS 266, ATS 277, BA6407AF, ES211, LB1663, LB1663M, LB1666, LB1668, LB1668M, LB1667, LB1667M, S76A, TA8420AF, TA 8421AF** и т.д.

4.2.1. Влияние увеличения емкости "смягчающих" конденсаторов и интегрирующих RC цепей на работу однообмоточных моторов

Влияние увеличения "смягчающих" конденсаторов и интегрирующих RC цепей на треск и вибрации однообмоточных моторов рассмотрим на примере моторов вентиляторов GlacialTech SilentBlade **GT1225EBDL-1** и GlacialTech SilentBlade **GT1225BDL-1**.

Моторы собраны на печатной плате, предусматривающей распайку схемы управления двухобмоточным мотором, например, на широко распространенной ИМС типа **ATS276** или ей аналогичной (восстановлено по печатной плате). "Родная" схема GlacialTech SilentBlade **GT1225EBDL-1** должна быть такой.

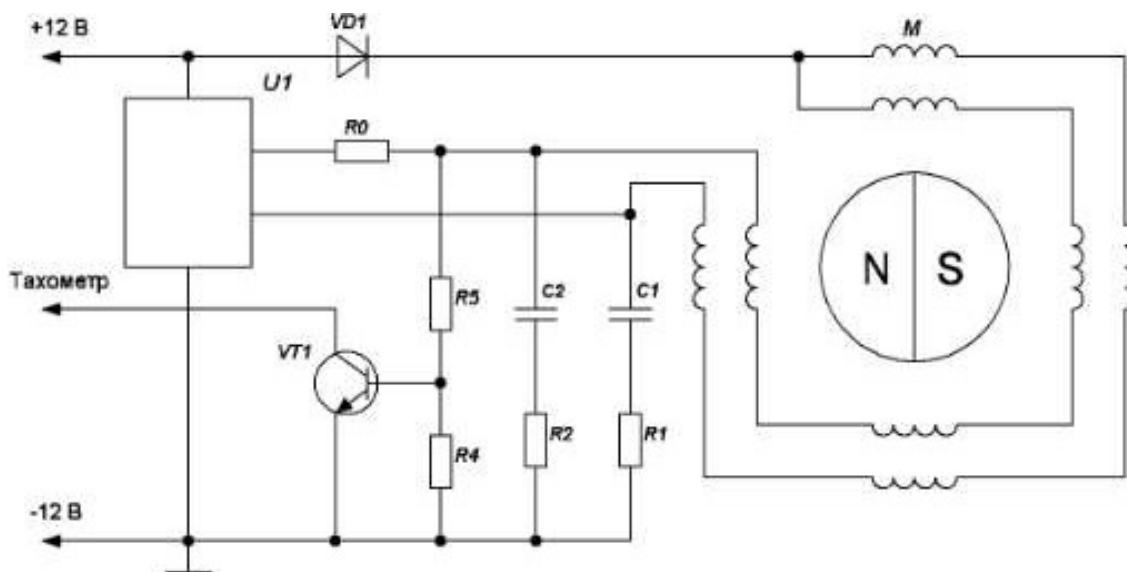


Рис. 4.2.1.1. "Родная" схема GlacialTech SilentBlade GT1225EBDL-1

Она рассчитана на применение ИМС с выходными ключами, собранными по схеме с открытым коллектором. Для управления магнитным полем индуктора управляющая схема поочередно подключает то одну, то другую обмотку к источнику питания.

В такой схеме для "смягчения" коммутации предусмотрены специальные последовательные RC цепочки **R1C1**, **R2C2**.

Но славные китайские умельцы упростили схему. Они заменили ИМС, имеющую выходные ключи с открытым коллектором, на ИМС **FS319**, у которой используются двухтактные выходные ключи с активной нагрузкой. Это обстоятельство и позволяет создавать однообмоточные моторы. В них изменение направления магнитного поля происходит за счет смены полярности напряжения всего на одной обмотке мотора.

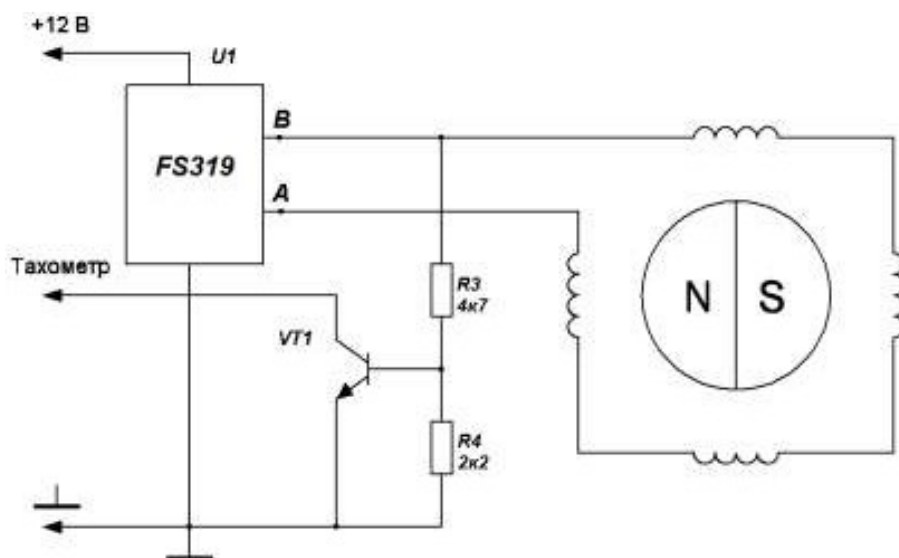


Рис. 4.2.1.2. Схема GlacialTech SilentBlade GT1225EBDL-1

Часть элементов при такой модернизации оказались попросту "лишними". В первую очередь это касается элементов для "смягчения" коммутации.

В результате коммутирующие сигналы на выходах ИМС (на схеме точки А и В) имеют практически прямоугольную форму с очень крутым фронтом и срезом.

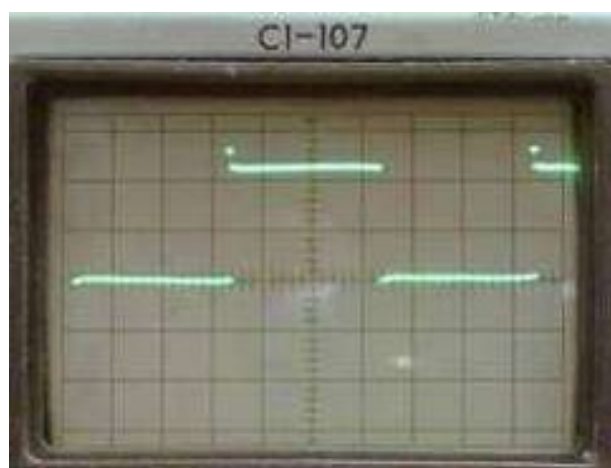


Рис. 4.2.1.3. Коммутирующие сигналы на выходах ИМС

Судя по форме сигнала выбросы обратного напряжения на катушке мотора, видимо обрезаются элементами, входящими в состав ИМС.

Явно слышны как треск, так и рокот мотора.

Попробуем сгладить коммутирующие импульсы самым простым и самым распространенным способом. Подключим в схему управления между выходами ИМС и корпусом или минусом питания "смягчающие" коммутацию конденсаторы С.

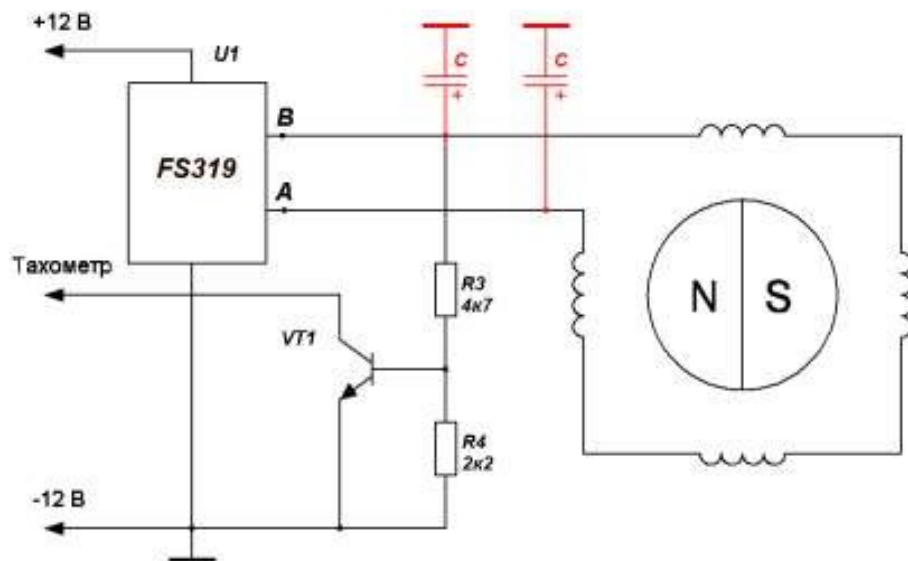


Рис. 4.2.1.4. Схема управления со "смягчающими" коммутацию конденсаторами

Наиболее часто используются конденсаторы емкостью 2,2 мкФ или 4,7 мкФ. Вот и начнем с этих значений.

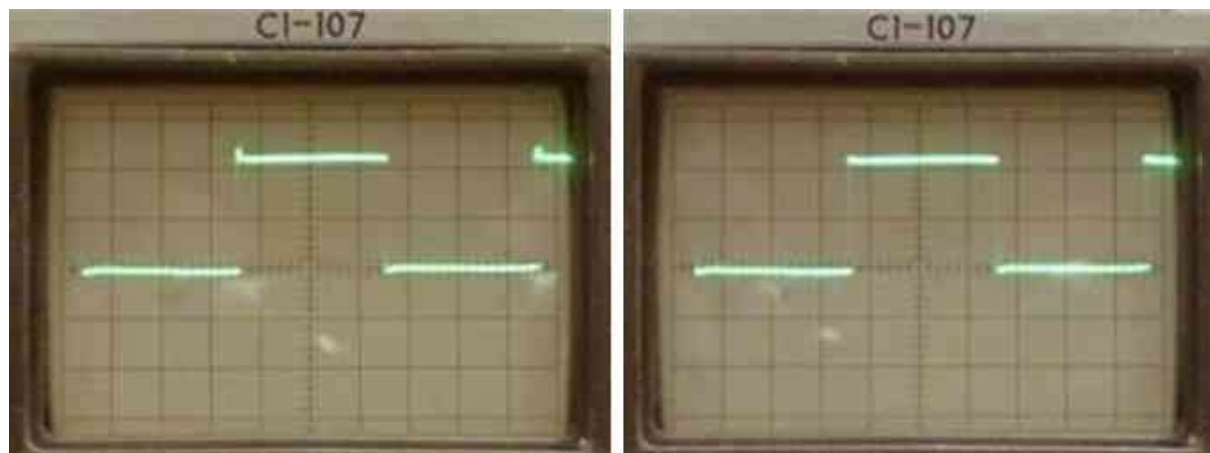


Рис. 4.2.1.5. Форма коммутирующих сигналов с конденсаторами емкостью 2,2 мкФ и 4,7 мкФ

В результате, хотя форма коммутирующих сигналов и осталась практически прямоугольной, треск пропал, рокот несколько уменьшился. Гул крыльчатки почти не уменьшился.

Пойдем дальше. Ведь хочется тишины. И подключим конденсатор емкостью 47 мкФ, а потом и 220 мкФ.

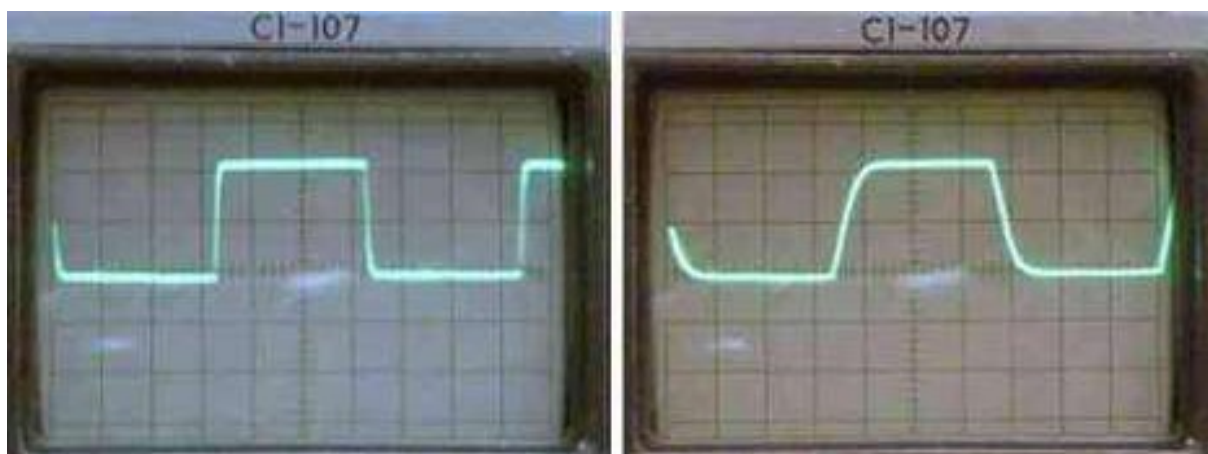


Рис. 4.2.1.6. Форма коммутирующих сигналов с конденсаторами емкостью 47 мкФ и 220 мкФ

Ну, наконец-то форма коммутирующих сигналов стала сглаживаться.

И, как результат, со "смягчающими" коммутацию конденсаторами 47 мкФ работа мотора стала с трудом улавливается только с расстояния в несколько сантиметров. Гул крыльчатки несколько уменьшился. При прослушивании же вентилятора прижатого торцом корпуса вплотную к уху рокот мотора хорошо различим. А это может стать причиной возникновения в системном блоке структурных шумов.

Со "смягчающими" коммутацию конденсаторами 220 мкФ несколько возрос период коммутирующих сигналов (снизились обороты мотора). Однако работа мотора стала улавливается только при прослушивании вентилятора прижатого торцом корпуса вплотную к уху. Гул крыльчатки еще чуть уменьшился.

Прекрасный результат!

Но вентилятор поработал немного и остановился. Через десяток секунд опять включился на некоторое время, потом остановился и т.д.

Срабатывает защита от перегрева ИМС. И не мудрено, ведь зарядно-разрядные токи "смягчающих" коммутацию конденсаторов в моменты открывания-закрывания ключей ограничиваются, по сути, только мизерными сопротивлениями открытых транзисторов и активными сопротивлениями электролитических конденсаторов. Поэтому эти токи могут достигать нескольких ампер и более. А при емкости "смягчающих" коммутацию конденсаторов в 220 мкФ время заряда-разряда их (суммарная длительность фронта и среза коммутирующего сигнала) достигает приблизительно трети от периода импульса. Вот и перегревается ИМС от "непосильного труда".

Надо облегчать режим работы. Попробуем уменьшить зарядно-разрядные токи включением последовательно с выходами ключей ограничительных резисторов **R**.

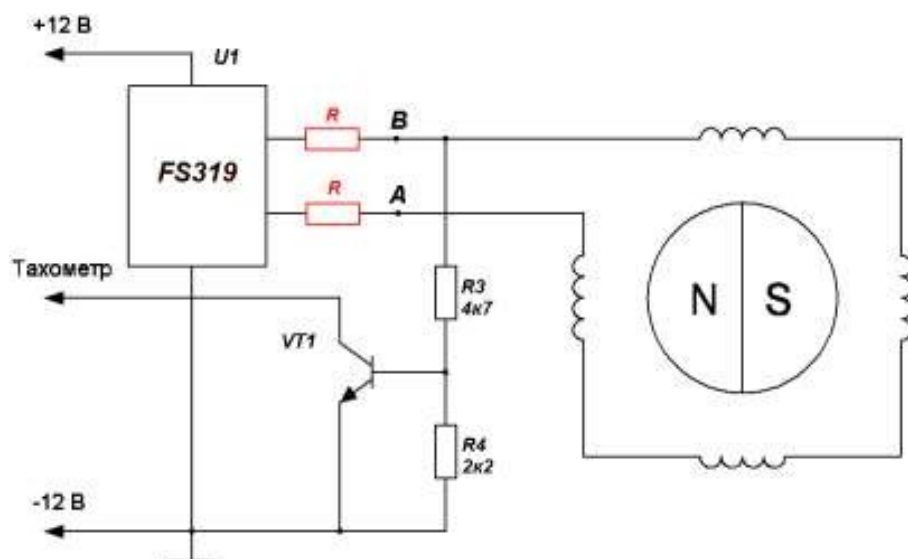


Рис. 4.2.1.7. Схема управления с ограничительными резисторами R

Чтобы сильно не уменьшались обороты сопротивление их, пожалуй, не должно превышать 20...25 % от сопротивления обмотки мотора.

И если сопротивление обмоток моторов вентиляторов GlacialTech SilentBlade **GT1225EBDL-1** и **GT12252BDL-1** составляет 90...100 Ом, то сопротивления по 10 Ом вполне подойдут.

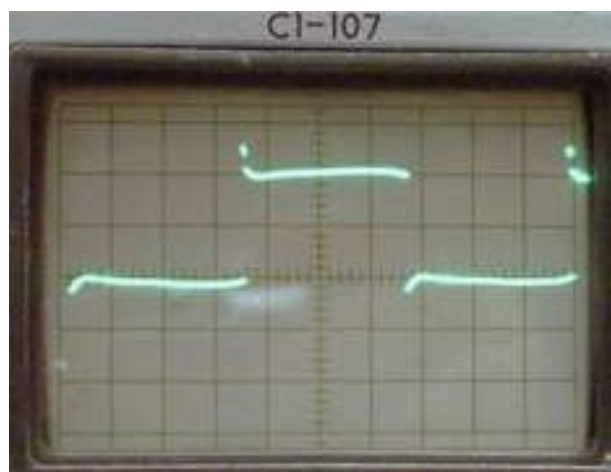


Рис. 4.2.1.8. Форма коммутирующих сигналов с ограничительными резисторами R=10 Ом

В результате увеличения выходного сопротивления ключей на 10 Ом, возросла добротность колебательных контуров, следовательно, интенсивней стал "переколебательный процесс", стала изменяться амплитуда сигнала на вершине импульса и в течение паузы. Кроме того, по сравнению с сигналами без ограничительных резисторов, чуть уменьшилась амплитуда коммутирующих сигналов на обмотке мотора (на схеме точки A и B). Совсем немножко уменьшились обороты.

Но, главное, осталась практически неизменной крутизна фронта и среза.

Опять же попробуем сгладить коммутирующие импульсы. Только теперь "смягчающие" коммутацию конденсаторы будут включаются между точками соединения резисторов R с обмоткой мотора и корпусом или минусом питания.

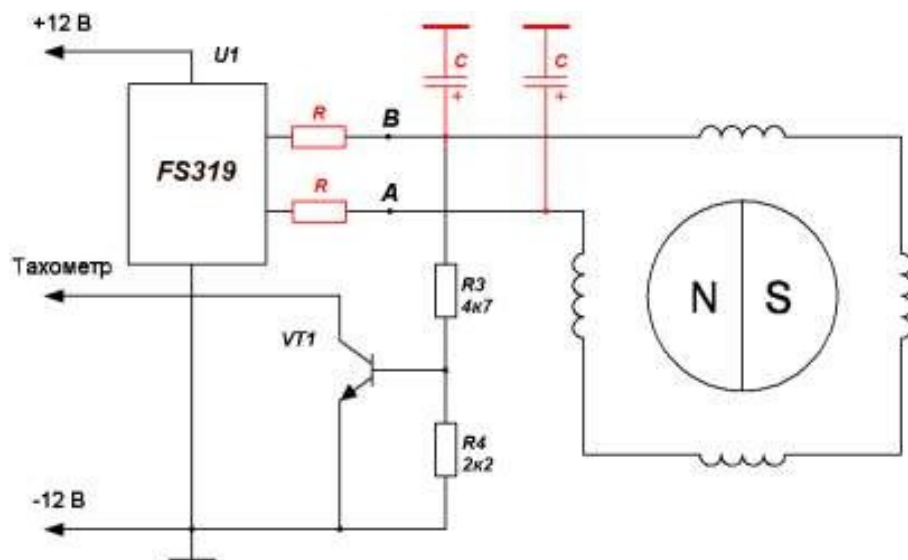


Рис. 4.2.1.9. Схема управления с ограничительными резисторами R и "смягчающими" коммутацию конденсаторами C

Получается схема с простейшими интегрирующими RC цепями.

Начнем опять с емкостей 2,2 и 4,7 мкФ.

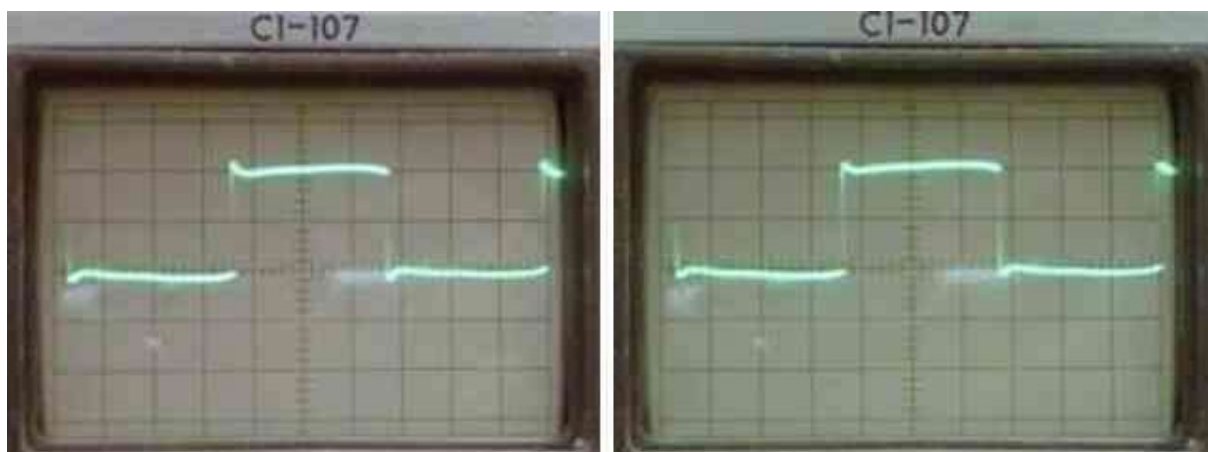


Рис. 4.2.1.10. Форма коммутирующих сигналов с ограничительными резисторами R=10 Ом и "смягчающими" конденсаторами емкостью 2,2 и 4,7 мкФ

Теперь влияние на длительность фронта и среза, а так же на снижение рокота более заметно. Пойдем далее. Подключим конденсатор емкостью 47 мкФ, а потом и 220 мкФ.

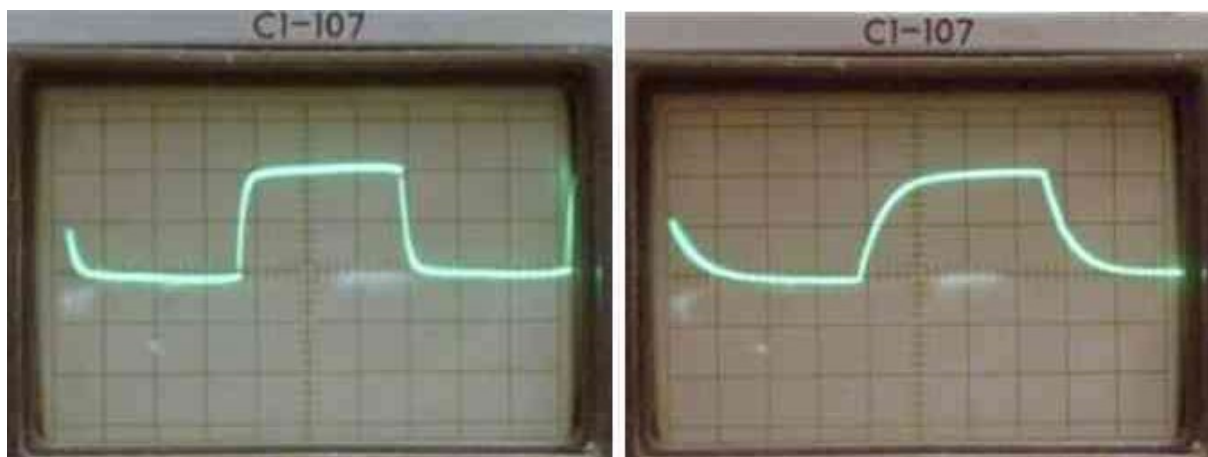


Рис. 4.2.1.11. Форма коммутирующих сигналов с ограничительными резисторами $R=10$ Ом и "смягчающими" конденсаторами емкостью 47 и 220 мкФ

Теперь со "смягчающими" коммутацию конденсаторами 47 мкФ даже с расстояния в несколько сантиметров работа мотора практически не улавливается. Слышен только ослабленный гул крыльчатки. Но обороты начинают уменьшаться.

И со "смягчающими" коммутацию конденсаторами 220 мкФ работа мотора стала стабильной. Мотор больше не останавливается! Обороты еще меньше.

Увеличим сопротивление ограничительных резисторов R до 33 Ом.

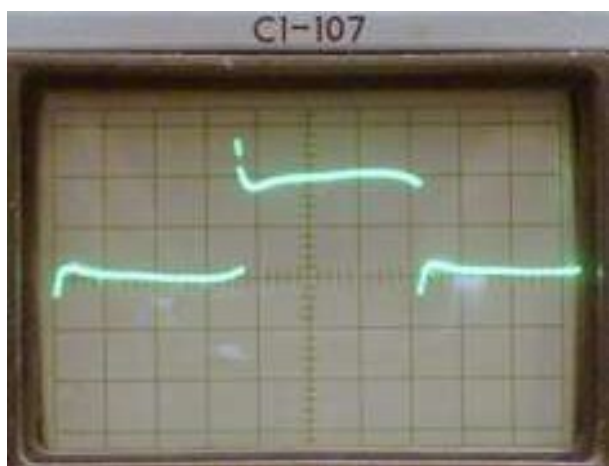


Рис. 4.2.1.12. Форма коммутирующих сигналов с ограничительными резисторами $R=33$ Ом

В результате увеличения выходного сопротивления ключей на 33 Ом, опять уменьшилась амплитуда коммутирующих сигналов на обмотке мотора (на схеме точки А и В), да еще интенсивней "переколебательный процесс" - сильнее меняется амплитуда сигнала на вершине импульса и в течение паузы. Падают обороты.

Но, главное, опять надо сглаживать управляющие сигналы. Подключим по очереди конденсаторы емкостью 2,2 мкФ, 4,7 мкФ, 47 мкФ и 220 мкФ

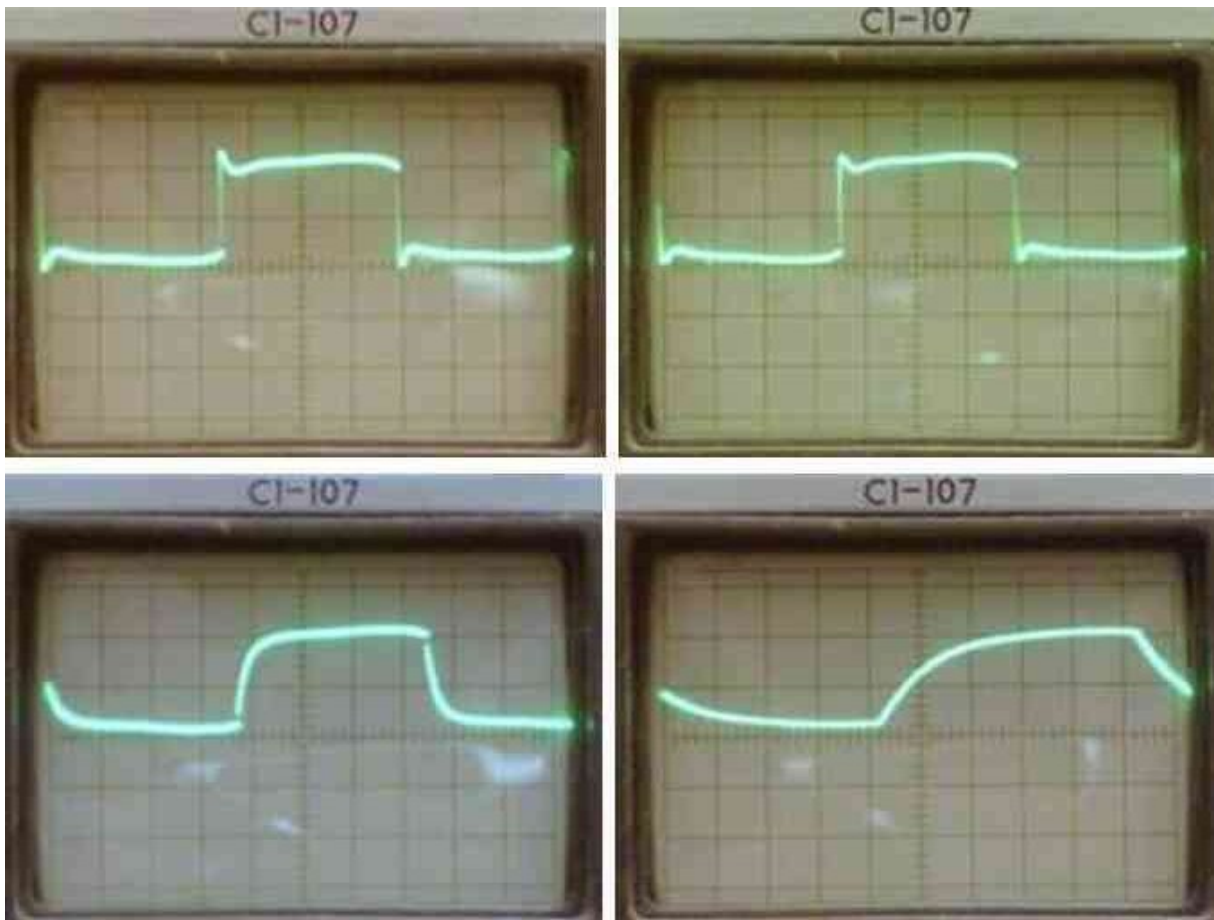


Рис. 4.2.1.13. Форма коммутирующих сигналов с ограничительными резисторами $R=10$ Ом и "смягчающими" конденсаторами емкостью 2,2 мкФ, 4,7 мкФ, 47 мкФ и 220 мкФ

Обороты еще уменьшились. Но теперь мотор работает настолько тихо, что подключение емкости более 47 мкФ, пожалуй, уже не оправдывается. Ну, может только если душа требует большего.

Увеличим сопротивление ограничительных резисторов R до 100 Ом.

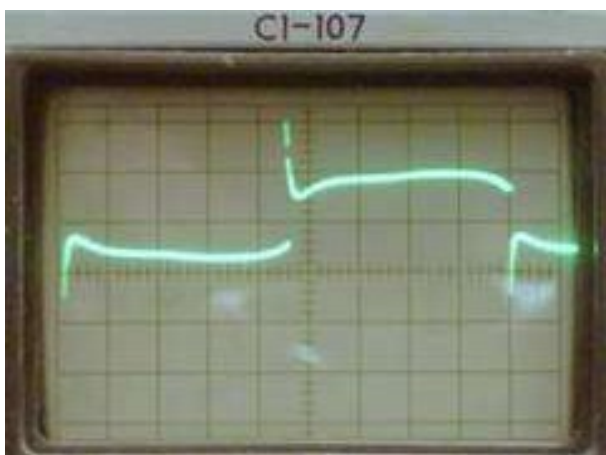


Рис. 4.2.1.14. Форма коммутирующих сигналов с ограничительными резисторами $R=100$ Ом

Опять падают обороты. Опять уменьшилась амплитуда коммутирующих сигналов на обмотке мотора (на схеме точки А и В), да и еще интенсивней "переколебательный процесс" – еще сильнее меняется амплитуда сигнала на вершине импульса и в течение паузы.

Будем опять сглаживать управляющие сигналы. Подключим по очереди конденсаторы емкостью 2,2 мкФ, 4,7 мкФ, 47 мкФ и 220 мкФ

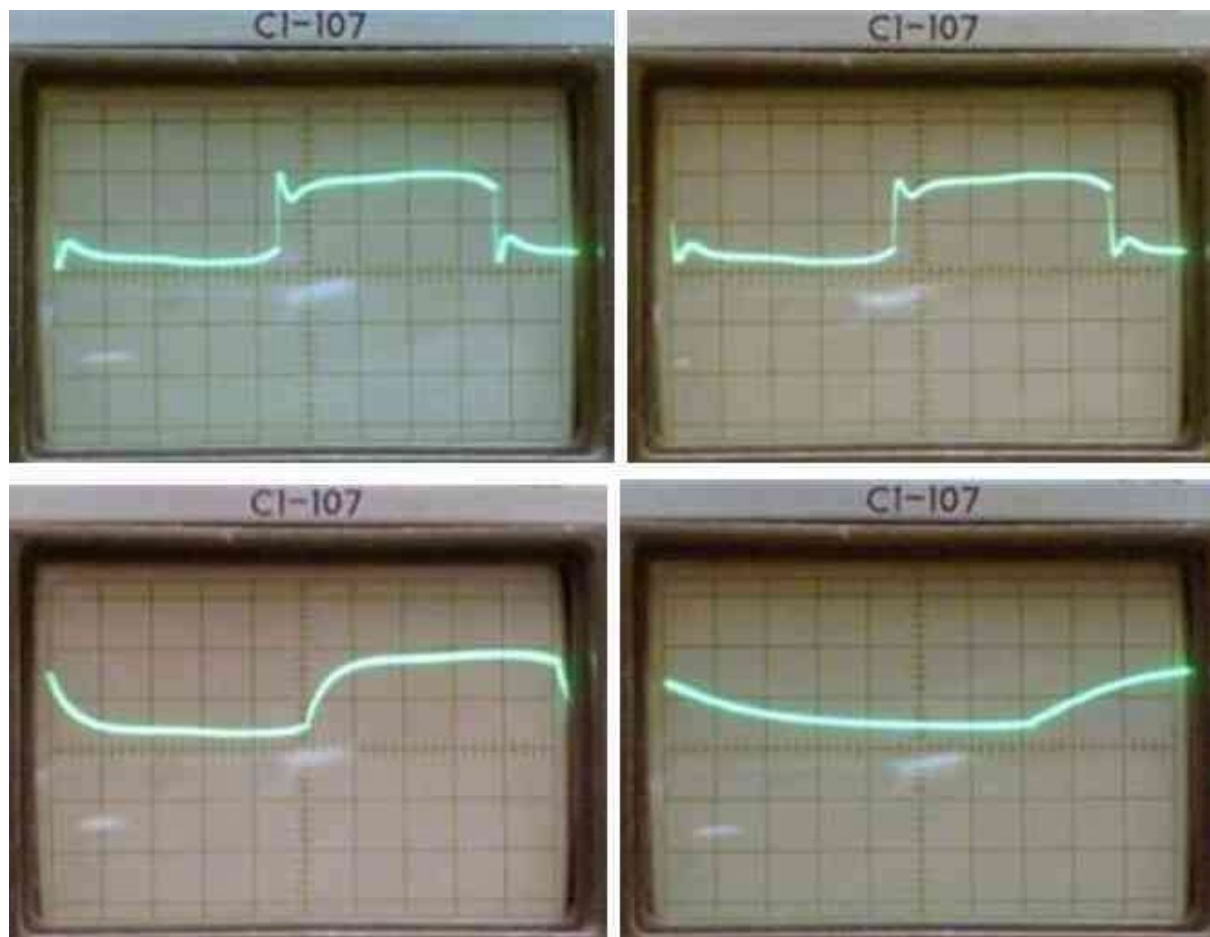


Рис. 4.2.1.15. Форма коммутирующих сигналов с ограничительными резисторами $R=100$ Ом и "смягчающими" конденсаторами емкостью 2,2 мкФ, 4,7 мкФ, 47 мкФ и 220 мкФ

Теперь мотор уже при емкости 47 мкФ работает настолько тихо, что и душа вряд ли потребует большего.

Однако обороты падают настолько, что полный период управляющего сигнала при емкости 220 мкФ уже не помещается на экране осциллографа. Приходится вдвое увеличивать период развертки.

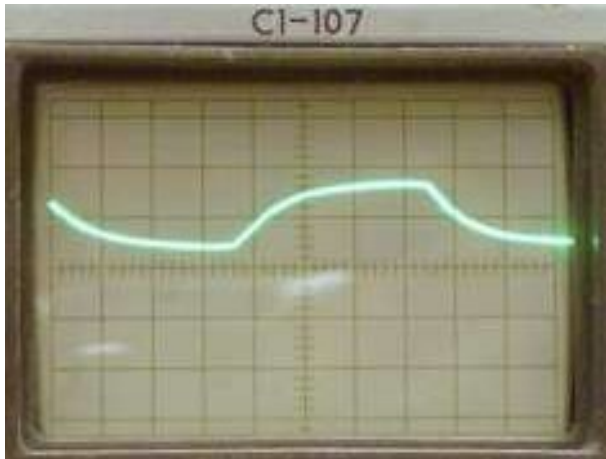


Рис. 4.2.1.16. Форма коммутирующих сигналов с ограничительными резисторами $R=100$ Ом и "смягчающими" конденсатором емкостью 220 мкФ

Для удобства сравнения и выбора решения о номиналах элементов результаты исследований сведены в таблицу (правда, уровни шумов отсутствуют, измерять нечем).

***Примечание.** Все исследования проводились при номинальном напряжении питания вентиляторов 12 В. Во время поведения всех экспериментов заметного роста температуры обмоток, магнитопроводов и конденсаторов замечено не было.*

Таблица 1 Сводная таблица результатов.

Сопротивление ограничительных резисторов R , Ом	Емкость "смягчающих" конденсаторов C , мкФ	Ток, потребляемый вентилятором I , мА	Обороты n , об/мин	Уменьшение оборотов Δn , %	Обороты относительно исходного значения $(n-\Delta n)/n$, %
0	0	50	960	0	100
0	2,2	50,5	960	0	100
0	4,7	51	955	0,5	99,5
0	47	80	945	1,6	98,4
0	220	160	858	11	89
10	0	49	924	3,7	96,3
10	2,2	49,5	921	4,1	95,9
10	4,7	50	918	4,4	95,6
10	47	71	891	7,2	92,8
10	220	136	759	21	79
33	0	48	848	11,7	88,3
33	2,2	48	847	11,8	88,2
33	4,7	48,5	845	12	88
33	47	60	783	12,5	81,5
33	220	95	588	38,7	61,3

100	0	39,5	686	28,5	71,5
100	2,2	39,5	684	28,7	71,3
100	4,7	40	681	29	71
100	47	48	594	38,1	61,9
100	220	55	390	59,4	40,6

4.2.1.1. Модернизация моторов GT1225EBDL-1 и GT12252BDL-1 в картинках

Итак, имеем два вентилятора. Один из них GT1225EBDL-1 новый, свежий и фотогеничный, приобретенный специально для этих съемок работы. А второй GT12252BDL-1 старый достаточно замученный и нефотогеничный. По возможности фоткать придется только новый.



Рис. 4.2.1.1.1. Участники модернизации

Первым делом убеждаемся, что моторы собраны на ИМС **FS319**. Ее можно разглядеть в щёлке между крыльчаткой и основанием корпуса, на котором крепится мотор вентилятора.



Рис. 4.2.1.1.2. ИМС FS319

Потом возьмемся за разборку. Это самое сложное. Можно сломать-потерять.

Процесс разборки подробно описан в п. *Б.1.1 Разборка вентилятора.*

Для данных вентиляторов он происходит следующим образом.

Начать следует с самого легкого, со снятия этикетки и удаления пробки, скрывающей подшипники от пыли.



Рис. 4.2.1.1.3. Снятие этикетки и удаления пробки

В новом моторе с подшипниками скольжения видим металлическую пружинную шайбу, удерживающуюся на оси только за счет сил трения.



Рис. 4.2.1.1.4. Металлическая пружинная шайба

С помощью тоненькой отвертки разжимаем шайбу и снимаем с вала. Эта операция требует некоторой сноровки, и поначалу на нее уходит немало времени. Кроме того, шайба так и норовит скакнуть в неизвестном направлении. Под пружинной шайбой находятся еще пластмассовая, резиновая и опять пластмассовая шайбы.



Рис. 4.2.1.1.5. Разборка крепления ротора нового мотора

Надавливаем на ось и вытаскиваем крыльчатку. Она держится только силами магнита.

В старом моторе с шариковыми подшипниками видим пластмассовую разрезную шайбу (обычно – белого цвета) установленную в паз на валу.



Рис. 4.2.1.1.6. Разборка крепления ротора старого мотора

С помощью скальпеля, шила или тоненькой отвертки придерживаем эту шайбу. Другим аналогичным инструментом подцепляем ее в районе разреза и снимаем ее. Эта операция требует некоторой сноровки, и поначалу на нее уходит немало времени. Кроме того, эта шайба отличается еще более скакучим поведением. Не упустите ее.

Надавливаем на ось и вытаскиваем крыльчатку. Она держится только силами магнита и трением между валом крыльчатки и внутренним кольцом подшипника.

Под крыльчаткой нового вентилятора видим мотор, закрепленный на основании корпуса. Для сравнения рядом положен мотор со старого вентилятора. Они похожи как близнецы.



Рис. 4.2.1.1.7. Моторы вентиляторов

Далее снимаем мотор. Это самая сложная и червеватая поломками операция.

Тут необходимо одной рукой удерживать основание вентилятора, а другой, раскачивая мотор вращательными движениями вправо-влево, снять его с оси.

Так как этот процесс требует усилия двух рук, то сфоткать его не удалось.

Кроме того, в этих двух вентиляторах снять моторы получилось без использования каких-либо инструментов, хотя так бывает далеко не всегда.

Разделить же мотор и корпус не удастся, так как один из разъемов больше отверстия на корпусе.



Рис. 4.2.1.1.7. Удаление разъема

Этот разъем можно откусить, вытащить контакты или оставить как есть, и выполнять все последующие операции с болтающимся на проводах корпусом мотора.

Наконец-то все, что требуется разъединено. Разборка закончена. Мотор в руках. Разглядим его поподробнее.

Вот она основа мотора – уже знакомая ИМС **FS319**.



Рис. 4.2.1.1.8. Опять ИМС "FC S319"

Мотор однообмоточный. Обмотка имеет только два вывода.



Рис. 4.2.1.1.9. Выводы обмоток

Тахометр состоит всего из трех элементов. Два резистора и транзистор.

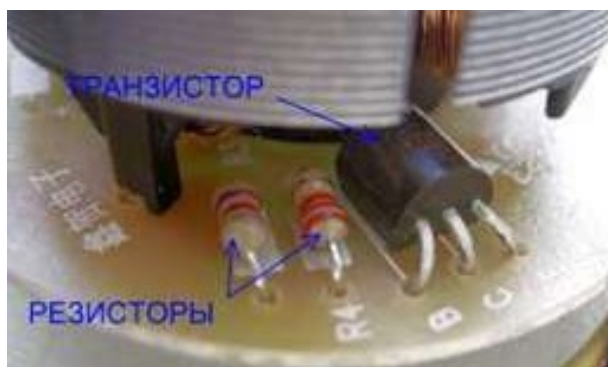


Рис. 4.2.1.1.10. Тахометр

Все, больше на плате ничего нет, только проволочная перемычка, да места и отверстия под не распаянные элементы.



Рис. 4.2.1.1.11. Мотор

Перед началом переделок проверим на всякий случай у моторов сопротивление обмоток.



Рис. 4.2.1.1.12. Измерение сопротивления обмоток

У нового сопротивление оказалось около 89 Ом, а у старого, переделанного несколько ранее, около 100 Ом. Разброс в 10...15 % вполне приемлем.

Модернизацию следует начать с удаления проволочной перемычки. Ее можно выпаять или выкусить бокорезами.



Рис. 4.2.1.1.13. Удаление перемычки

Далее на печатной плате следует в указанном месте перерезать проводник и распаять два малогабаритных резистора с рассеиваемой мощностью не менее 0,125 Вт и сопротивлением 10 Ом.



Рис. 4.2.1.1.14. Монтаж резисторов

Потом на печатной плате распаяются два конденсатора. Причем хочется, чтобы емкость была не менее 220 мкФ. Однако выбор конденсаторов дело непростое. Почему? Да потому чтобы жизнь их была легкой и долгой желательно выбрать их с рабочим напряжением вольт эдак в 50. Ну, на край, не менее 25 вольт.

Дааа, а желаемый конденсатор 220 мкФ на 50 В имеет такие размеры, что его и одного в мотор некуда засунуть.

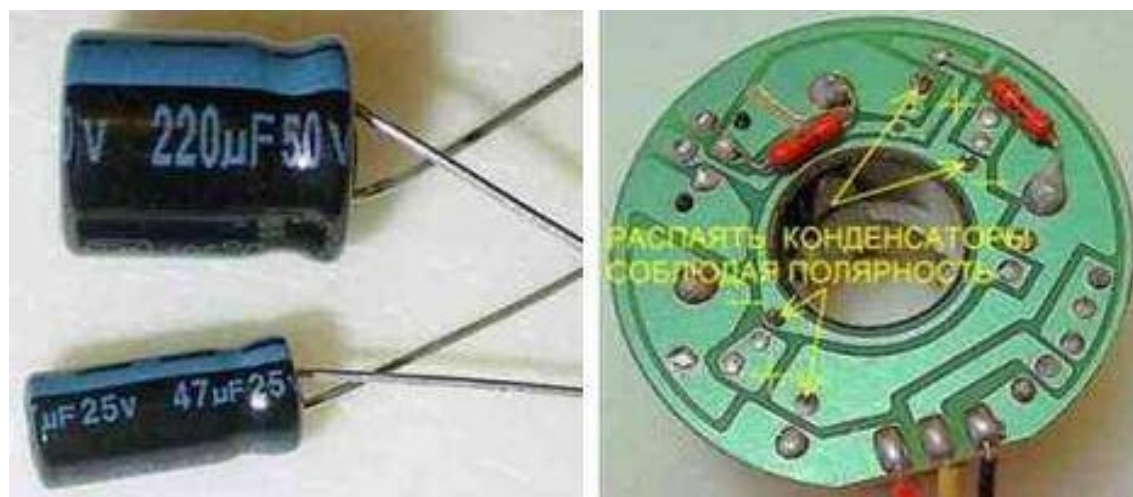


Рис. 4.2.1.1.15. Места для монтажа конденсаторов

И максимум, что помещается это только 47 мкФ на 25 В. Вот их и распаяем, т.к. развешивать их снаружи мотора на проволочках неохота.



Рис. 4.2.1.1.16. Монтаж конденсаторов

Осталось установить мотор на место, собрать вентилятор.



Рис. 4.2.1.1.17. Готовый результат

И наслаждаться тишиной творенья рук своих....

4.2.2. Влияние интегрирующих RC цепей на работу двухобмоточных моторов

Влияние увеличения "смягчающих" конденсаторов и интегрирующих **RC** цепей на треск и вибрации двухобмоточных моторов рассмотрим на примере моторов вентиляторов Titan **TFD-12025M12B** и JASKYTECH **JT12025L12SA**.

Сами вентиляторы практически идентичны и отличаются только подшипниками. Titan с шариками, JASKYTECH со втулкой.

Двухобмоточный мотор собран на ИМС **ES211**.



Рис. 4.2.2.1 Двухобмоточный мотор Titan TFD-12025M12B на ИМС ES211

ИМС имеет встроенный тахометр, а питание осуществляется через обмотки индуктора.

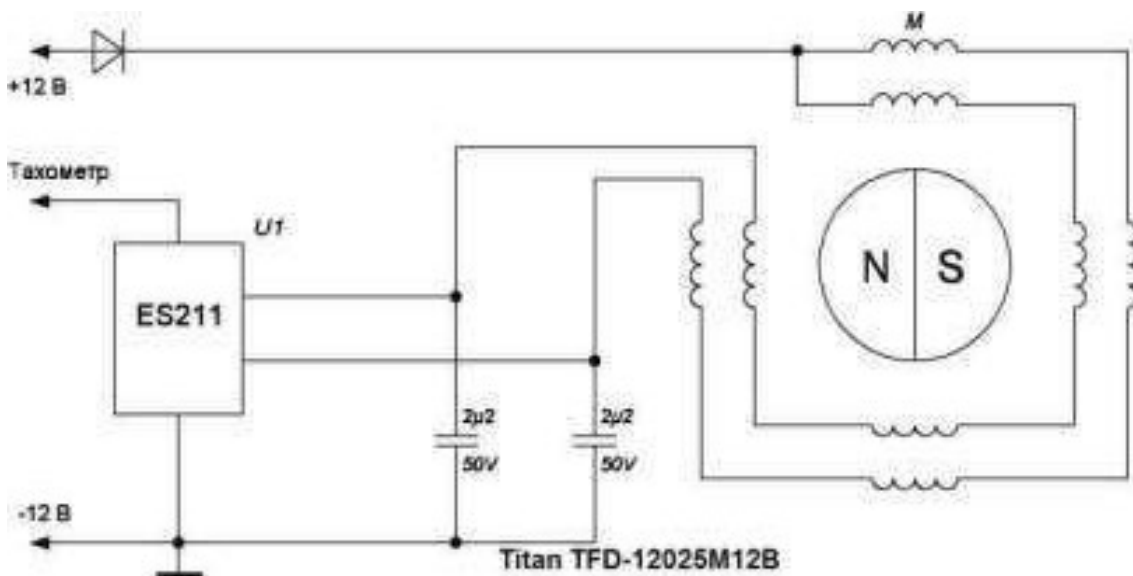


Рис. 4.2.2.2. Схема мотора Titan TFD-12025M12B

Используем схемное решение похожее на то, что использовалось в однообмоточных моторах вентиляторов GlacialTech SilentBlade **GT1225**.

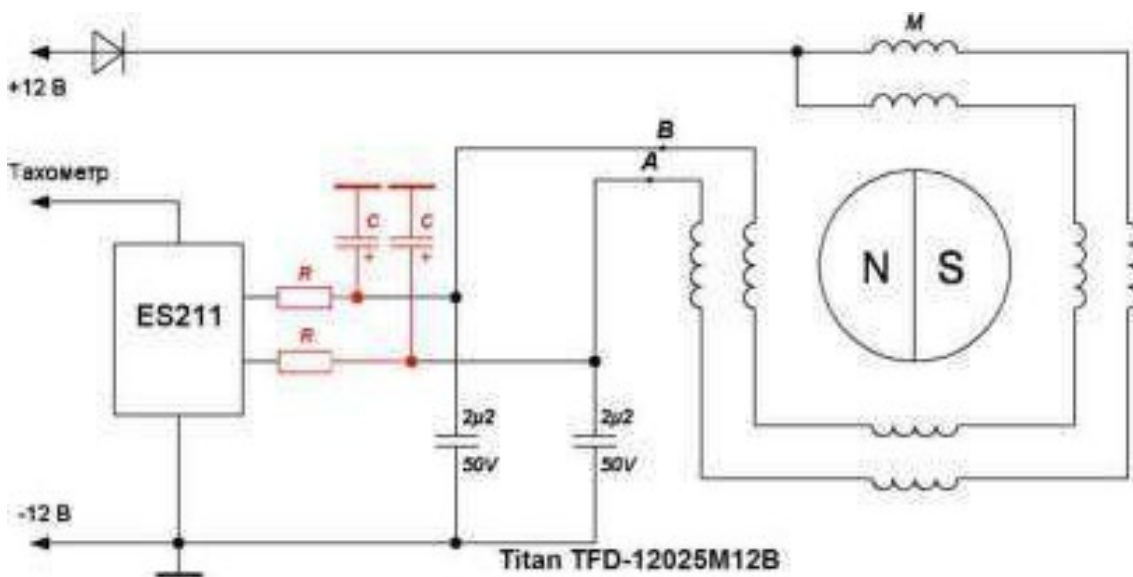


Рис. 4.2.2.3. Добавление интегрирующих RC цепочек

В этом случае из-за разных цепей заряда и разряда конденсаторов сглаживание управляющего сигнала будет несимметричное. Ток через обмотки индуктора при замыкании выходных ключей ИМС нарастать будет быстрее, чем уменьшаться при их размыкании. Это главное отличие от однообмоточных моторов.

За исходную форму управляющих сигналов на индукторе (на схеме точки А и В) примем форму сигналов при отсутствии в схеме мотора дополнительных элементов **R** и **C**.

В одном большом делении 5 В/Дел по вертикали и 5 мС/Дел по горизонтали. Для удобства рассмотрения выбросов линию развертки опустим вниз на три деления.

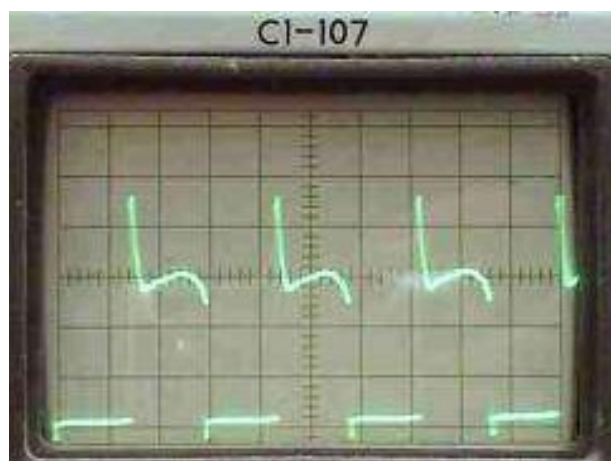


Рис. 4.2.2.4. Сигнал на индукторе при отсутствии в схеме дополнительных элементов **R** и **C**

Несмотря на наличие штатных "смягчающих" коммутацию конденсаторов емкостью по 2,2 мкФ, коммутирующие сигналы на индукторе имеют практически прямоугольную форму с довольно крутым фронтом и срезом. Имеются значительные выбросы обратного напряжения на катушках мотора.

Скорость вращения крыльчатки 2076 об/мин. Потребляемый ток около 280 мА.

При такой скорости шум воздуха практически полностью маскирует треск и, в значительной степени, рокот мотора. А вот рукой вибрации ощущается хорошо. Они также хорошо заметны на слух при прижатии вентилятора к корпусу системника.

4.2.2.1. Модернизация мотора Titan TFD-12025M12B в картинках

Из-за особенностей корпуса возникло желание модернизировать без разборки вентилятора, т.е. без снятия мотора, чему способствуют отверстия в корпусе.



Рис. 4.2.2.1.1. Отверстия в корпусе

Благо для доступа к ИМС надо всего чуть-чуть подрезать корпус.



Рис. 4.2.2.1.2. Расширение отверстий

Сделать вырез можно, наверное, по-разному. Я подрезал острым скальпелем, придерживая его от излишнего углубления. И пусть скальпель лучше вылетит и поцарапает наружную поверхность корпуса, чем он перережет проводники на печатной плате.

Для выбора параметров дополнительных элементов замерим сопротивления обмоток. И, дабы не мучаться с доступом к каждой обмотке, замерим сразу сопротивления двух последовательно включенных обмоток (между средними выводами ИМС).



Рис. 4.2.2.1.3. Измерение сопротивления обмоток

Получилось 41 Ом. Значит сопротивление каждой из обмоток около 20 Ом. Тогда, чтобы не сильно снижались обороты мотора, сопротивление дополнительных резисторов **R**, пожалуй, не должно превышать 20...25 % от сопротивления обмотки мотора. Тогда, при этом способе модернизации, с учетом запаса на разряд конденсаторов *C* через резисторы **R**, на каждом из резисторов рассеиваемая мощность может достигать величины до (20...25) % от половины мощности, потребляемой мотором.

Для данного мотора это может быть $12 \text{ вольт} * 0,28 \text{ Ампер} * 25 \% / 2 = 0,42 \text{ Ватта}$.

Чем больше сопротивление этих резисторов, тем больше рассеиваемая ими мощность, лучше подавление вибраций, но и больше снижение оборотов.

Исходя из приведенных размышлений, выберем **R** = 5 Ом. Мощность с небольшим запасом 0,5 Вт. У меня это получилось при параллельном соединении двух резисторов по 10 Ом, мощностью по 0,25 Вт.

Сразу уж выберем и конденсаторы. Желательно выбрать их с рабочим напряжением вольт эдак в 50. Ну, на край не менее 25 вольт. А, исходя из опыта модернизации моторов GlacialTech SilentBlade **GT1225**, выберем емкость 47 мкФ. Благо они есть в наличии.

Примечание. Если снять мотор, то тогда размер емкостей по 47 мкФ позволит заменить ими штатные "смягчающие" коммутацию конденсаторы емкостью по 2,2 мкФ. А дополнительные резисторы можно будет распаять на плате мотора так, что они разместятся в корпусном отверстии вблизи ИМС. Такой вариант монтажа, пожалуй, красивее, но посложнее в исполнении.

А для модернизации без разборки вентилятора следует разрезать и зачистить проводники, идущие от выходов ИМС к точке соединения обмоток и "смягчающих" коммутацию конденсаторов.



Рис. 4.2.2.1.4. Подготовка печатной платы

Просунуть под пластиком корпуса провода и припаять к местам разреза дорожек и к корпусу (- 12 В).

Примечание. При монтаже лучше использовать провод типы МГТФ с фторопластовой изоляцией. Она не плавится при пайке.



Рис. 4.2.2.1.5. Распайка проводников

В этот раз дополнительные элементы спаяны "в кучу" без использования каких-либо плат с использованием объемного монтажа.

На рисунке видно как спаяны дополнительные элементы и как они подключены к мотору.

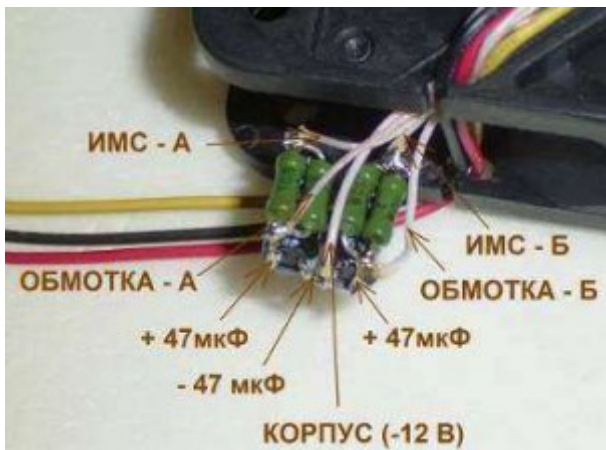


Рис. 4.2.2.1.6. Распайка дополнительных элементов

Закрепить дополнительные элементы можно с помощью клея, силикона, монтажной пены и т.д.

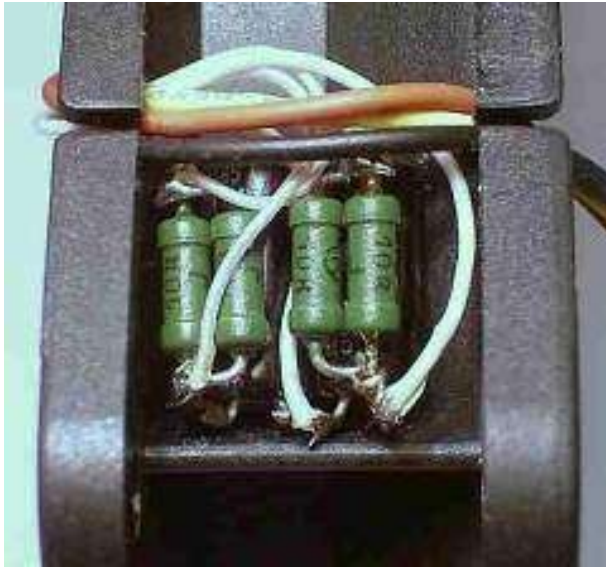


Рис. 4.2.2.1.7. Укладка дополнительных элементов в паз корпуса

При этом с учетом того, что резисторы греются, их лучше располагать сверху.

В результате модернизации с дополнительными резисторами по 5 Ом и дополнительными "смягчающими" коммутацию конденсаторами по 47 мкФ скорость вращения упала до 1686 об/мин. Или приблизительно на 20 %.

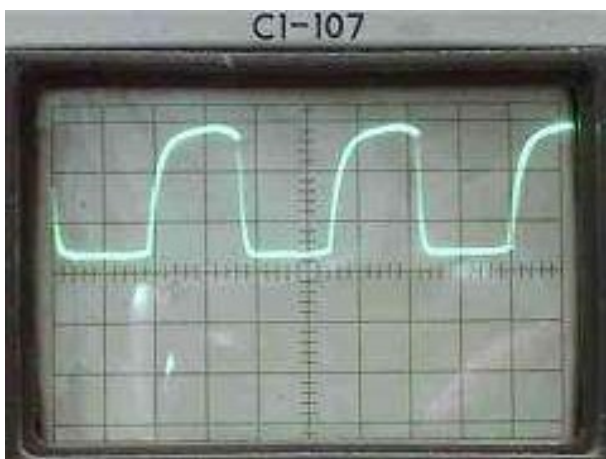


Рис. 4.2.2.1.8. Форма коммутирующих сигналов с ограничительными резисторами по 5 Ом и дополнительными "смягчающими" коммутацию конденсаторами по 47 мкФ

Несмотря на то, что цепи заряда и разряда конденсаторов разные и сглаживание управляющего сигнала получается несимметричное, треск пропал совсем на любых оборотах.

Рокот мотора улавливается только при прослушивании вентилятора прижатого торцом корпуса вплотную к уху.

Гул крыльчатки слабый. Почти полностью маскируется шумом воздуха. Да и на 1686 об/мин шум воздуха великоват.

А вот у не модернизированного вентилятора на тех же 1686 об/мин (устанавливались уменьшением напряжения питания) рокота мотора шумом воздуха полностью не маскируется.

Гул крыльчатки так же побольше будет.

4.3. Применение интеграторов на транзисторах

Это решение дает лучшие результаты, но менее универсально.

Оно может использоваться в двухобмоточных моторах, собранных на ИМС **APX9140, APX9141, ATS236, ATS 266, ATS 277, BA6407AF, LB1663, LB 1663M, LB 1666, LB1668, LB1668M, LB1667, LB1667M, TA8420AF, TA8421AF** и т.д.

А так же в однообмоточных моторах собранных на ИМС **FS319, ATS477, AH477, AH480, BA6427F, BA6428F, BA6906F, BH6789FVM, US72, US73** и т.д.

Подходят и ИМС типа **ES211** или **S76A** с питанием по постоянному току через обмотки мотора.

Правда, схемы для каждой группы ИМС будут несколько отличаться друг от друга.

4.3.1. Влияние интеграторов на транзисторах на работу двухобмоточных моторов

Влияние на работу вентилятора интеграторов на транзисторах рассмотрим на примере мотора вентилятора **Thermaltake TT-1225 (A1225M12S)**.

Мотор собран на широко распространенной ИМС **ATS276**. "Родная" схема вентилятора, восстановленная по печатной плате, имеет вид.

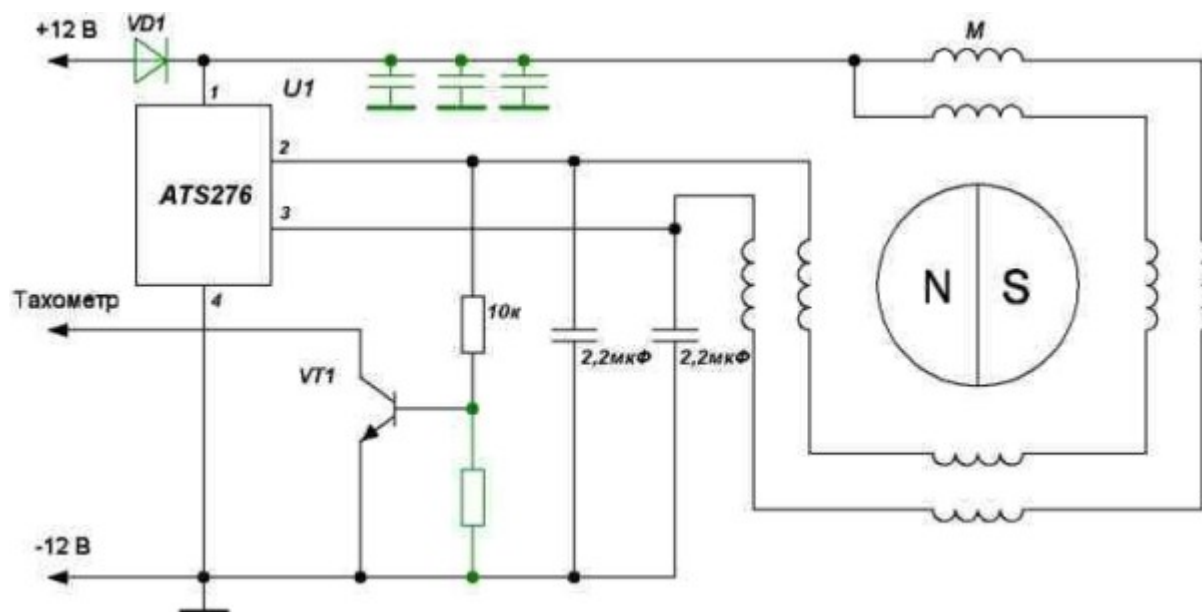


Рис. 4.3.1.1. "Родная" схема Thermaltake TT-1225 (A1225M12S)

Эта ИМС имеет выходные ключи, собранные по схеме с открытым коллектором. Для управления магнитным полем индуктора управляющая схема поочередно подключает то одну, то другую обмотку к источнику питания.

На транзисторе **VT1** собран тахометр.

В этой схеме для "смягчения" коммутации в выходных цепях ИМС предусмотрены два конденсатора по 2,2 мкФ.

Однако часть элементов не распаяно. Они на схеме помечены зеленым цветом. Это диод **VD1**, защищающий мотор от переполюсовки питающего напряжения и уменьшающий уровень помех в цепи питания +12 В, три блокировочных конденсатора и резистор в базовой цепи транзистора **VT1**.

На следующем рисунке эти элементы на печатной плате помечены соответственно оранжевым, оранжевым и белым цветами.



Рис. 4.3.1.2. Печатная плата мотора

Кроме того, желтым цветом помечены элементы тахометра, красным – обмотки индуктора, коричневым ИМС **ATS276** и зеленым – "смягчающие" коммутацию конденсаторы.

В результате получилась следующая схема.

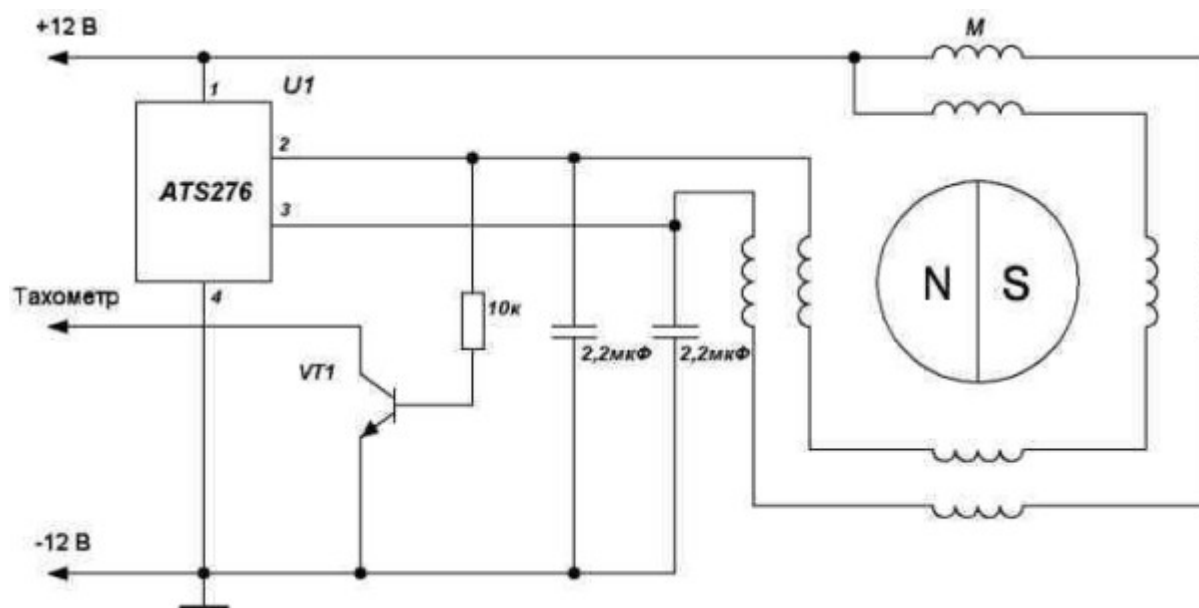


Рис. 4.3.1.3. Схема Thermaltake TT-1225 (A1225M12S)

Для большего "смягчения" коммутации в дальнейшем будем использовать интеграторы, собранные на транзисторах **VT2** и **VT3** с интегрирующими конденсаторами **C** (рис. 4). Без этих конденсаторов (при нулевой их емкости) интеграторы становятся просто инверторами. Для улучшения параметров интеграторов используются составные транзисторы **KT972A** с очень большим коэффициентом усиления. Эти транзисторы имеют так же в выходной цепи диоды, не позволяющие появляться отрицательному напряжению на коллекторе.

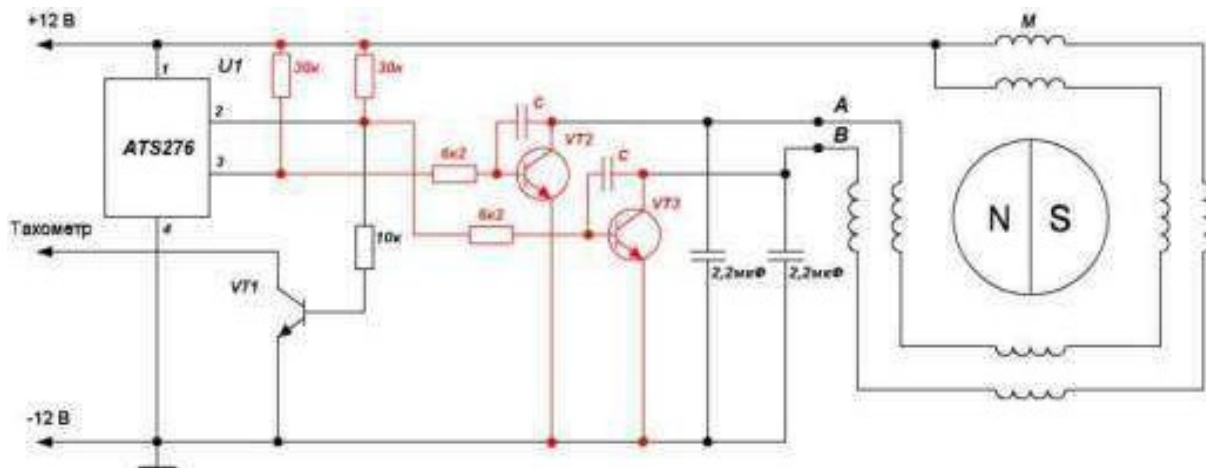


Рис. 4.3.1.4. Схема с интеграторами

Резисторы номиналами 30 кОм и 6,2 кОм обеспечивают режим работы интеграторов по постоянному току и симметрируют выходное напряжение. Необходимость симметрирования обусловлена резким изменением выходного сопротивления ключей, собранных по схеме с открытым коллектором.

Так как интеграторы не только "сглаживают" форму управляющих сигналов, но и меняют фазу их на противоположную, то пришлось подавать управляющий сигнал с вывода 2 ИМС уже не на верхний по схеме вывод индуктора, а на нижний. Аналогично управляющий сигнал с вывода 3 ИМС подается через интегратор не на нижний по схеме вывод индуктора, а на верхний.

За исходную форму управляющих сигналов на индукторе (на схеме точки А и В) примем форму сигналов при нулевой емкости (отсутствии) как интегрирующих конденсаторов **С**, так и смягчающих коммутацию конденсаторов емкостью по 2,2 мкФ.

В одном большом делении 5 В/Дел по вертикали и 5 мС/Дел по горизонтали. Для удобства рассмотрения выбросов линию развертки опустим вниз на три деления.

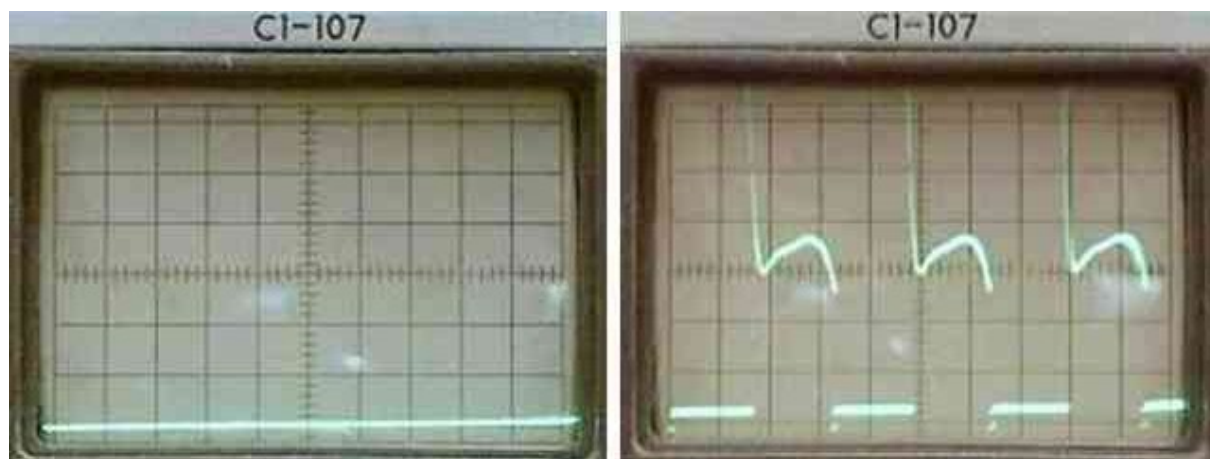


Рис. 4.3.1.5. Коммутирующие сигналы на выходах интеграторов при отсутствии в схеме конденсаторов

Как видно коммутирующие сигналы на индукторе (на схеме точки А и В) имеют очень крутые фронт и срез (рис. 5 справа) и значительные выбросы обратного напряжения (даже на экране целиком не помещаются). В нижней части импульсов выбросы обрезаются диодами, входящими в состав транзисторов КТ972.

Явно и громко слышны как треск, так и рокот мотора.

Установим в схему мотора штатные "смягчающие" коммутацию конденсаторы емкостью по 2,2 мкФ.

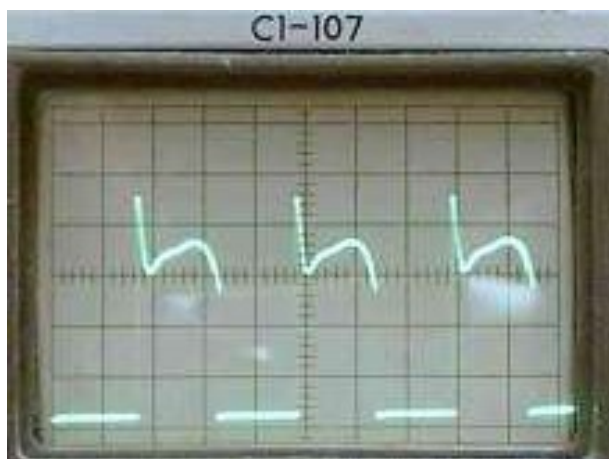


Рис. 4.3.1.6. Форма коммутирующих сигналов со штатными "смягчающими" конденсаторами емкостью 2,2 мкФ

Длительность фронта и среза коммутирующих сигналов практически не изменилась, хотя амплитуда выбросов обратного напряжения на катушках мотора значительно уменьшилась.

Треск уменьшился сильно, рокот только чуть-чуть. Гул крыльчатки не изменился.

Пойдем дальше и выясним, как влияют на форму коммутирующих сигналов интегрирующие конденсаторы. Для этого отключим штатные "смягчающие" коммутацию конденсаторы и подключим для начала интегрирующие конденсаторы емкостью всего 0,01 мкФ.

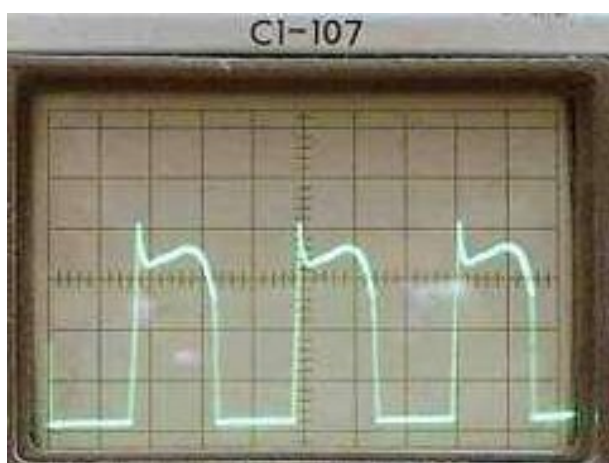


Рис. 4.3.1.7. Форма коммутирующих сигналов с интегрирующими конденсаторами емкостью всего 0,01 мкФ

Ого! Неожиданно!

Тут не только выбросы стали меньше. Главное в том, что явно и прилично возросли длительность фронта и среза. И результат не замедлил сказаться. Треск практически пропал, несколько уменьшился рокот, да и вроде немного гул крыльчатки.

Опять установим в схему мотора штатные смягчающие коммутацию конденсаторы емкостью по 2,2 мкФ. Может тут совместно с интегрирующими конденсаторами и будет нам счастье.

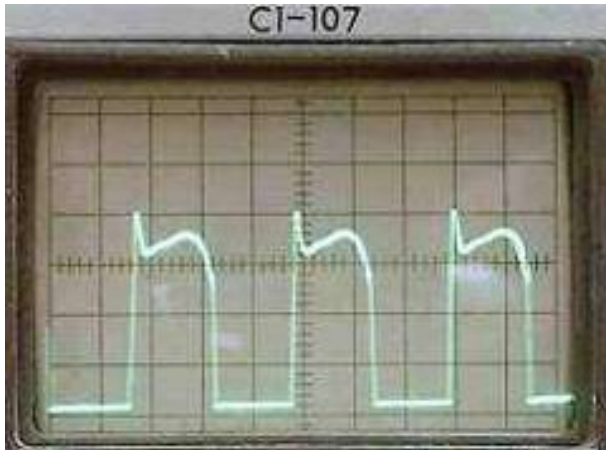


Рис. 4.3.1.8. Форма коммутирующих сигналов со штатными "смягчающими" конденсаторами емкостью 2,2 мкФ и с интегрирующими конденсаторами емкостью 0,01 мкФ

Да... Не тут-то было. Разницу в форме на глаз и заметить трудно. Если только чуть-чуть-чутьку уменьшилась амплитуда выбросов обратного напряжения.

А в шумах разница и вовсе незаметна.

Пойдем дальше. Опять отключим штатные "смягчающие" коммутацию конденсаторы и подключим интегрирующие конденсаторы теперь вначале емкостью 0,022 мкФ, потом 0,047 мкФ и затем 0,1 мкФ.

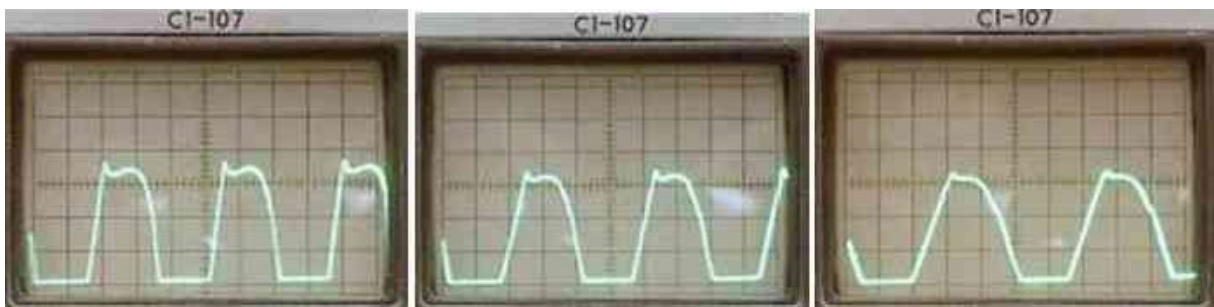


Рис. 4.3.1.9. Форма коммутирующих сигналов с интегрирующими конденсаторами емкостью 0,022 мкФ, потом 0,047 мкФ и затем 0,1 мкФ соответственно

Опять явно возросли длительность фронта и среза.

Однако снижаются обороты на 12, 20 и 25 процентов соответственно.

На 17, 24 и 32 процента растет потребляемый ток. Начинают теплеть обмотки индуктора.

Треска нет.

Соответственно с ростом емкости уменьшается рокот мотора. При емкости 0,022 мкФ работа мотора с трудом улавливается с расстояния в десяток-другой сантиметров, а при емкости 0,047 мкФ практически полностью маскируется гулом крыльчатки и шелестом воздуха.

Сглаживание формы коммутирующих сигналов и солидное падение оборотов при емкости в 0,1 мкФ приводит к резкому уменьшению гула крыльчатки.

Теперь гул крыльчатки настолько тих, что надо прислушиваться, чтобы различить его на фоне шелеста воздуха и шумов подшипников. А рокот мотора чуть различим только при прослушивании вентилятора прижатого торцом корпуса вплотную к уху.

Мотор при интегрирующих емкостях в (0,047...0,1) мкФ работает очень и очень тихо.

Однако обмотки горячают.

Попробуем опять проверить влияние штатных "смягчающих" коммутацию конденсаторов емкостью по 2,2 мкФ. Может теперь совместно с интегрирующими конденсаторами в 0,1 мкФ от них будет толк (рис. 10).

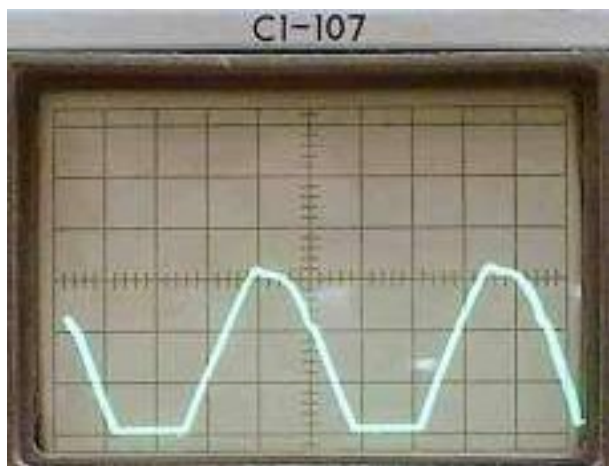


Рис. 4.3.1.10. Форма коммутирующих сигналов со штатными "смягчающими" конденсаторами емкостью 2,2 мкФ и с интегрирующими конденсаторами емкостью 0,1 мкФ

Нет, надежды напрасны. При наличии интегрирующих конденсаторов толку от штатных "смягчающих" конденсаторов нет. Отключаем их и больше к ним не возвращаемся.

Попробуем теперь подключить интегрирующие конденсаторы емкостью 0,22 мкФ (рис. 11).

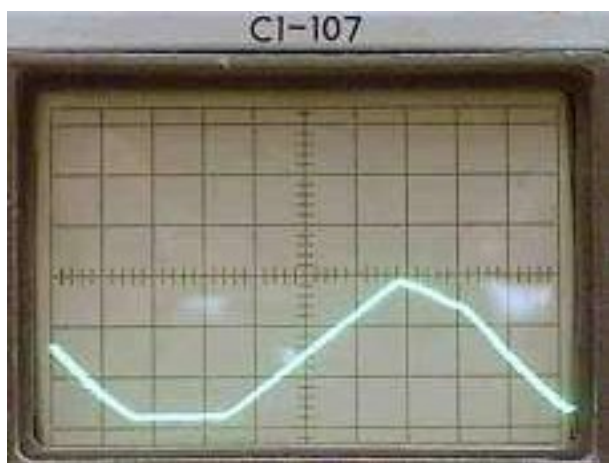


Рис. 4.3.1.11. Форма коммутирующих сигналов с интегрирующими конденсаторами емкостью 0,22 мкФ

Обороты упали на 64 процента (почти втрое). Шума нет, но потребляемый ток возрос в полтора раза и обмотки нагрелись настолько, что рука еле-еле терпит. Негоже это.

Для удобства сравнения и выбора решения о номиналах элементов результаты исследований сведены в таблицу (правда, уровни шумов отсутствуют, измерять нечем).

Примечание. Все исследования проводились при номинальном напряжении питания вентиляторов 12 В. Во время поведения всех экспериментов заметного роста температуры конденсаторов и транзисторов замечено не было.

Таблица 2 Сводная таблица результатов.

Емкость интегрирующих конденсаторов, мкФ	Емкость "смягчающих" конденсаторов, мкФ	Ток, потребляемый вентилятором I , мА	Обороты n , об/мин	Уменьшение оборотов Δn , %	Обороты относительно исходного значения (n-Δn)/n , %
0	0	240	1935	0	100
0	2,2	242	1923	0,6	99,4
0,01	0	242	1923	0,6	99,4
0,01	2,2	242	1920	0,8	99,2
0,022	0	282	1695	12,4	87,6
0,047	0	300	1530	20,9	79,1
0,1	0	320	1260	34,9	65,1
0,1	2,2	310	1300	32,8	67,2
0,22	0	365	696	64	36

4.3.1.1. Модернизация мотора Thermaltake TT-1225 (A1225M12S) в картинках

Итак, имеем вентилятор Thermaltake TT-1225 (A1225M12S).

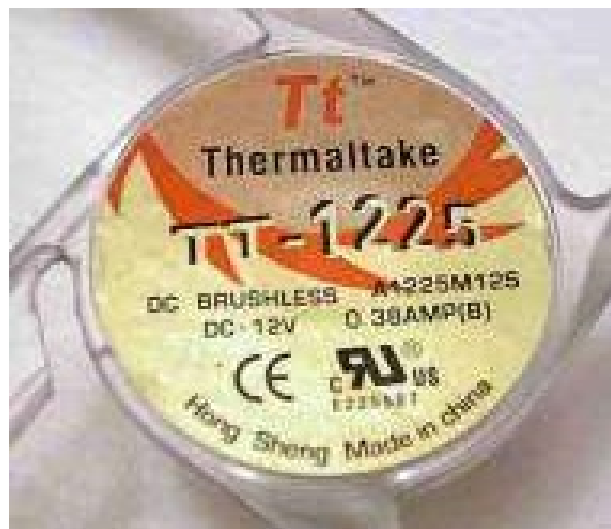


Рис. 4.3.1.1.1. Thermaltake TT-1225 (A1225M12S)

Первым делом убеждаемся, что моторы собраны на ИМС ATS276. Ее можно разглядеть в щёлке между крыльчаткой и основанием корпуса, на котором крепится мотор вентилятора.



Рис. 4.3.1.1.2. ИМС AT276

Разборка такого типа вентиляторов уже была рассмотрена ранее. Вот она основа мотора – уже знакомая ИМС AT276.

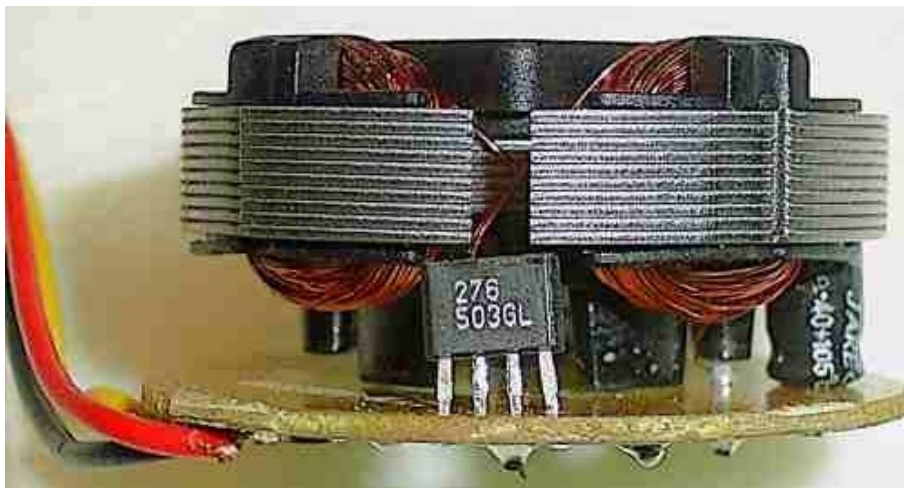


Рис. 4.3.1.1.3. Опять ИМС AT276

А вот так выглядит мотор с отсоединенными цепями подсветки.



Рис. 4.3.1.1.4. Мотор с отсоединенными цепями подсветки

Мотор двухобмоточный. Перед началом переделок проверим на всякий случай у моторов сопротивление обмоток.

Сопротивление каждой из обмоток должно быть около 25 Ом. Разброс в 10...15 % вполне приемлем.

Модернизацию следует начать с заготовки дополнительных элементов согласно рассмотренной уже схемы.



Рис. 4.3.1.1.5. Дополнительные элементы

Далее на печатной плате следует, как на рисунке ниже, перерезать проводники.



Рис. 4.3.1.1.6. Подготовка печатной платы

Потом на печатной плате распаиваются два конденсатора по 47 нФ и два резистора по 6,2 кОм. Причем конденсаторы по 47 нФ взамен штатных "смягчающих" коммутацию конденсаторов емкостью по 2,2 мкФ. Распайка резисторов показана на рисунках.

Один из них распаивается между одним из выводов конденсатора на 47 нФ и третьим выводом ИМС ATS276.

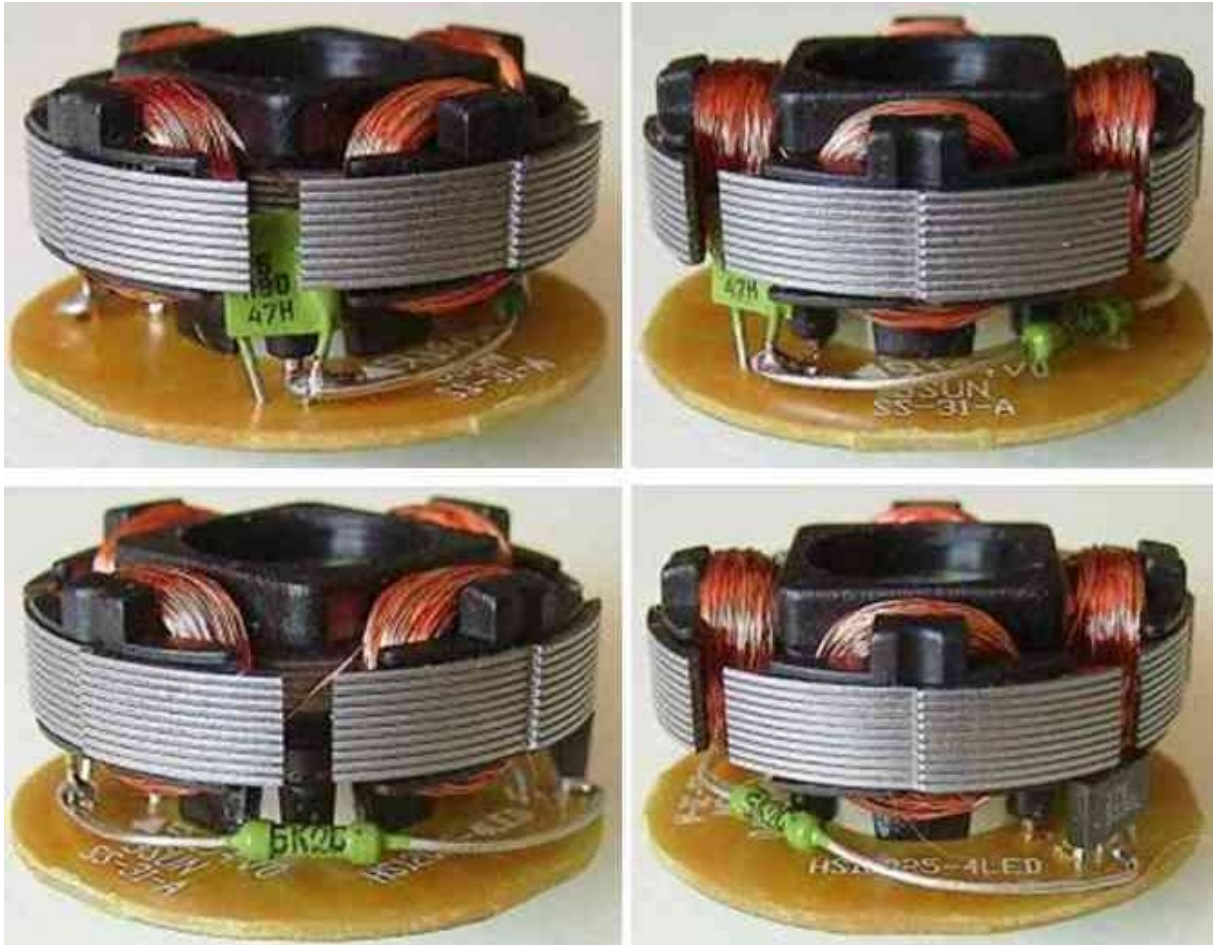


Рис. 4.3.1.1.7. Монтаж

Другой резистор аналогично распаивается между выводом другого конденсатора на 47 нФ и вторым выводом ИМС ATS276.



Рис. 4.3.1.1.8. Тоже монтаж

Для этого около ИМС ATS276 "проковыривается" отверстие. Можно и просверлить, но я, например, именно проковырял его острым трехгранным шилом, что проще и быстрее.



Рис. 4.3.1.1.9. Продолжение монтажа

Затем на печатной плате распаиваются два транзистора КТ972 и два резистора по 30 кОм.



Рис. 4.3.1.1.10. Окончание монтажа

И, наконец, распаиваются провода от разъема и "провода подсветки".



Рис. 4.3.1.1.11. Распайка проводов

Осталось установить мотор на место, собрать вентилятор.



Рис. 4.3.1.1.12. Готовый результат

И наслаждаться тишиной творенья рук своих....

4.4. Виброизоляция (амортизация) мотора

Амортизация или виброизоляция - это ослабление вибрации и ударов.

В традиционных конструкциях компьютерных вентиляторов с бесконтактной коммутацией вращение ротора (крыльчатка) вызывается импульсами магнитного поля, создаваемого при протекании электрического тока через обмотки мотора.

При каждом изменении направленности магнитного поля, между статором (мотором), закрепленным на корпусе вентилятора и магнитом-ротором (крыльчаткой) резко изменяются силы взаимодействия. В результате, как крыльчатка, так и рамка-корпус испытывают ощутимый рывок, приводящий к возникновению вибраций в конструктивных элементах вентилятора.

И здесь интуитивно ясно, что если от мотора на рамку вентилятора и на крыльчатку передаются колебательные силы, возбуждающие колебания в этой конструкции, то *для уменьшения этих колебаний статор (мотор) на втулке с подшипниками надо закреплять не жестко, а с помощью какого-либо упругого элемента или амортизатора.*

Амплитуда передаваемых колебаний зависит как особенностей конструкции такого крепления, так и от применяемых материалов и уменьшается с увеличением:

- массы и жесткости корпуса и крыльчатки, на которые передаются колебания;
- эластичности упругого элемента;
- частоты колебаний.

В общем случае в амортизаторах могут использоваться различные пружины, а также резиновые, каучуковые, резинометаллические, силиконовые и другие упругие элементы.

Чем мягче, эластичнее материал упругих элементов, тем лучше подавляются структурные шумы.

Однако слишком мягкие подвесы или деформирующиеся со временем элементы крепления не обеспечивают надежного механического крепления.

На основе этих соображений была произведена модернизация вентилятора GT12025-SDLA1 с весьма звонкой и трескучей крыльчаткой.

Суть ее в пересадке нелеченного мотора с внутренним посадочным диаметром 12 мм от вентилятора JACKYTECH JT12025L12SA (~70 руб в местном НИКСе) на рамку от вентилятора GT12025-SDLA1 со втулкой имеющей диаметр 10 мм через эластичную прокладку.

Этот метод особенно пригоден для "механиков не дружащих с паяльником".

Итак, донором мотора выступал JACKYTECH JT12025L12SA. Все остальное от GT12025-SDLA1 с весьма звонкой и трескучей крыльчаткой.

Сначала для проверки "родная" крыльчатка на вентиляторе JT12025L12SA была заменена на крыльчатку от GT12025-SDLA1.

При этом был явно слышен треск. Правда, несколько поменьше, чем от штатного вентилятора GT12025-SDLA1. Но у JT12025L12SA и мотор получше, с конденсаторами.

Затем мотор с JT12025L12SA с внутренним посадочным диаметром 12 мм был пересажен на рамку GT12025-SDLA1 с втулкой имеющей диаметр 10 мм. В качестве прокладки использовался 1 виток мягкого (с основой типа поролона) двустороннего скотча толщиной 1мм.

Сверху было подмотано несколько витков обычного тонкого прозрачного скотча. Вот так.



Рис. 4.4.1. Подмотка на втулке

Подмотка сделана, во-первых, чтобы мотор не прилипал к втулке, а, во-вторых, подмотка позволила точно подогнать диаметр втулки для плотной посадки мотора.

Затем осторожно, чтобы не подмять скотч, на втулку надевается мотор и вентилятор собирается.

В результате такой модернизации треск пропал совсем. Рокот мотора тоже оказался ослаблен, но в меньшей степени, чем при лечении перепайкой.

Получился вентилятор типа GT12025-SDLA1, только без треска, с практически вдвое большими максимальными оборотами и стартующий при куда меньшем напряжении, чем со штатным мотором.

Итоги такой модернизации:

- просто, быстро, достаточно эффективно и, главное, без паяльника;
- однако из двух вентиляторов получается только один.

Приложение А

ТЕРМИНОЛОГИЯ

A1 Шум

ШУМ - беспорядочные колебания различной физической природы, отличающиеся сложностью временной и спектральной структуры.

В быту под шумом понимают звуки, слившиеся в нестройное, обычно громкое звучание, а также разного рода нежелательные акустические помехи и вообще любые звуки мешающие отдыху или работе.

Шум, независимо от физической природы, характеризуется случайным изменением мгновенных значений величин, описывающих данный процесс, чем он и отличается от периодических колебаний.

◇ Однако часто шум представляет собой смесь **случайных и периодических колебаний**.

Источниками шума могут служить любые колебания в твёрдых, жидких и газообразных средах; в технике основные источники шума - различные двигатели и механизмы.

◇ **Повышенная шумность машин и механизмов часто является признаком наличия в них неисправностей или нерациональности конструкций.**

◇ Точное изготовление деталей, их подгонка и динамическое уравнивание всех движущихся частей приводят к ослаблению шума и, как правило, ведут к уменьшению износа деталей, к увеличению срока их службы и точности работы.

Особенности ощущения шума органами слуха и организма в целом зависят от его интенсивности и спектрального состава.

Еще в 30-х годах нашего века ученые-акустики Лэйрд и Койе заметили, что ощущение громкости, в общем, не соответствует утомляющему, травмирующему действию звуков и шумов. Если ощущение громкости достигает максимума где-то в районе от 1 до 3--5 килогерц, то действие звука на нервную систему тем больше, чем выше его частота (вплоть до границы ультразвука). Чем выше частота звука, тем меньший звуковой уровень требуется для создания равного по силе раздражающего действия на человека.

A2 Звук

ЗВУК, в широком смысле - колебательное движение частиц упругой среды, распространяющееся в виде волн в газообразной, жидкой или твёрдой средах. В узком смысле - явление, субъективно воспринимаемое специальным органом чувств человека и животных.

Человек слышит звук с частотами от 16 Гц до 20 кГц. Упругие волны с частотами до 16 Гц называют инфразвуком, с частотами 20 кГц - 1 ГГц - ультразвуком.

A2.1 Источники звука

Источниками звука могут быть любые явления, вызывающие местное изменение давления или механическое напряжение.

Обычно это колебания твёрдых тел (например, диффузоров громкоговорителей и телефонов, струн и дек музыкальных инструментов, деталей механизмов и т.д.) на границах которых с газовой средой, вибрация (шум) и звук трансформируются друг в друга, а человек непосредственно воспринимает возникающие звуки. *В вентиляторах таким источником может быть практически любой конструктивный элемент. К "особо злобным" источникам относятся крыльчатка и корпус.*

Для возбуждения колебаний источников звука на них должны воздействовать какие-то динамические (изменяющиеся во времени) силы. Это воздействие может быть непрерывным, периодическим, ударным. В паузах между периодическими или ударными воздействиями наблюдаются *затухающие колебания ("звон") на собственных (резонансных) частотах источника звука или составляющих его конструктивных элементов. В вентиляторах такое происхождение имеет треск мотора.*

Источниками звука могут служить и колебания ограниченных объёмов самой воздушной среды (например, воздуха в органных трубах, свистках и т.п.). *В вентиляторах шумы и вибрации аэродинамического происхождения вызываются пульсациями давления и скорости потока воздуха в проточной части вентилятора и в примыкающих объемах воздуха, возбуждаются при обтекании элементов воздушного тракта потоком воздуха за счёт образования и отрыва вихрей и т.д. Так как силы, возбуждающие вибрации, возникают при взаимодействии воздушного потока с лопастями крыльчатки, с внутренней поверхностью корпуса и спицами крепления мотора к рамке корпуса вентилятора, то звуковые волны возбуждаются как самостоятельно, так и за счет воздействия сил на подвижные и/или неподвижные части вентилятора.*

A3 Вибрация

ВИБРАЦИЯ [лат. vibratio] - механические колебания, создаваемые или испытываемые каким-либо механизмом или телом.

Итак, в основе и шума и вибраций лежат колебания.

A4 Колебания

КОЛЕБАНИЯ (колебательные движения) — движения или изменения состояния, обладающие той или иной степенью повторяемости во времени.

Колебания называются периодическими, если значения физических величин, изменяющихся в процессе колебаний, повторяются через равные промежутки времени: положение маятника в часах, планет относительно Солнца и т. п.

По своей физической природе различают колебания: механические, электромагнитные, электромеханические.

По отношению к воздействию внешних сил колебания бывают: вынужденные, совершаемые при постоянном воздействии внешних сил, и собственные или свободные, происходящие при отсутствии внешних сил, когда система, после первоначального воздействия внешней силы, предоставляется самой себе.

Разнообразные по природе, колебания имеют общие закономерности, описываются однотипными математическими формулами и характеризуются периодом T , частотой $f = 1/T$, круговой частотой $\omega = 2\pi f$, амплитудой колебаний A , фазой колебаний φ , начальной фазой φ_0 .

Наиболее простые и в то же время наиболее распространённые колебания, при которых физическая величина изменяется с течением времени по закону синуса или косинуса, называются гармоническими.

Графически гармонические колебания, отображаются кривой - синусоидой или косинусоидой.

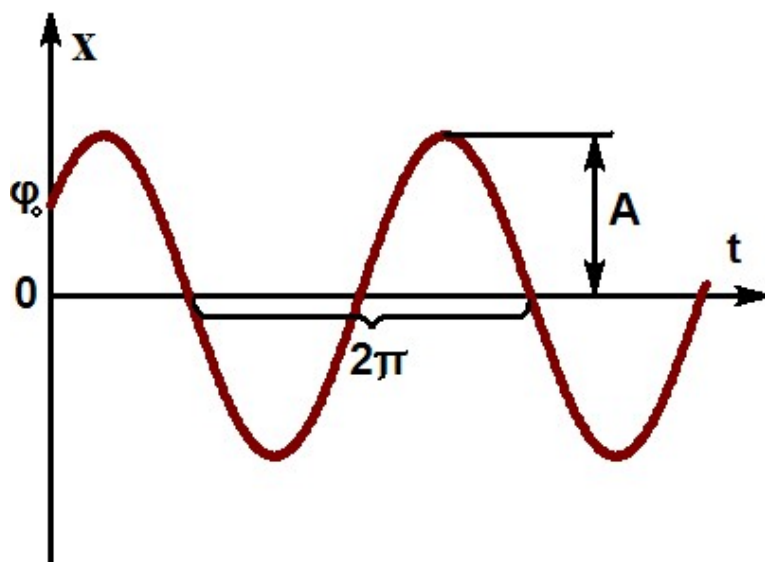


Рис. А.4.1 Гармонические колебания

Математически они могут быть записаны в форме:

$$\mathbf{x(t) = A \sin(\omega t + \varphi_0)} \text{ или } \mathbf{x(t) = A \cos(\omega t + \varphi_0)},$$

где:

$\mathbf{x(t)}$ - значение колеблющейся величины в данный момент времени \mathbf{t} (для механических гармонических колебаний, например, смещение или скорость, для электрических гармонических колебаний - напряжение или сила тока),

\mathbf{A} - амплитуда колебаний,

ω - угловая частота колебаний,

$(\omega t + \varphi_0)$ - фаза колебаний,

φ_0 - начальная фаза колебаний.

Гармонические колебания занимают среди всех разнообразных форм колебаний важное место, оно определяется двумя обстоятельствами.

Во-первых, в природе и в технике очень часто встречаются колебательные процессы, по форме близкие к гармоническим колебаниям.

Во-вторых, большинство негармонических колебаний можно разложить на сумму ряда простых гармонических колебаний характеризующихся частотой, фазой и амплитудой.

Гармонические колебания - единственный, тип колебаний, форма которых не искажается при прохождении через любую линейную систему.

Колебания любых физических величин почти всегда связаны с попеременным превращением одного вида энергии в другой, например потенциальной в кинетическую и наоборот.

При наличии трения или других сил сопротивления происходит рассеяние, потеря энергии. Амплитуда колебаний уменьшается с каждым последующим периодом. Такие колебания называются затухающими.

Незатухающие колебания представляют собой идеализированный случай. *Реальные колебания — затухающие.*

Гармоническое звуковое колебание часто называют простым тоном.

A5 Тон

ТОН [греч. tonos] в акустике - звук определённой высоты; физическая характеристика звука, определяемая в основном его частотой.

Он может быть либо чистым синусоидальным колебанием данной частоты (чистый или простой тон), либо содержать составляющие нескольких частот.

Тон, который создаёт система, когда колеблется с самой низшей возможной для неё частотой, называется основным или главным тоном.

A6 Обертон

ОБЕРТОН (нем. oberton, от ober - верхний, главный и ton - тон) - составляющая сложного колебания (механического, в т.ч. звукового, электрического) с частотой, более высокой, чем частота самого низшего (т.н. основного или главного) тона f_0 .

Главный тон определяет тональность или высоту звуков.

Обертоны, частоты которых относятся к частоте f_0 как целые числа 1:2:3 и т.д., называются гармоническими или гармониками.

При этом основной тон называется первой гармоникой **F1**, обертон с частотой $2f_0$ - второй гармоникой **F2** и т.д.

Состав обертонов музыкального звука определяет его тембр.

A7 Гармоника

ГАРМОНИКА (от греч. harmonikos - соразмерный) – колебание, описываемое простейшей периодической функцией вида $x(t) = A \sin(2\pi f t + \varphi_0)$, где: **A** - амплитуда, **f** - частота, **φ_0** - начальная фаза.

Термин «гармоника» чаще всего используют в гармоническом анализе для обозначения членов разложения сложной периодической функции в ряд Фурье - сумму ряда простых гармонических колебаний характеризующихся частотой, фазой и амплитудой.

Первая гармоника называется основной, остальные - высшими.

A8 Гармонический анализ

ГАРМОНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ - разложение периодических (т. е. повторяющихся во времени) колебаний на гармонические колебания.

Основная задача гармонического анализа состоит в расщеплении периодической функции на простейшие гармонические составляющие (гармоники), т. е. в представлении периодической функции в виде ряда Фурье.

Применяются при исследовании динамики работы механизмов, для виброакустической диагностики машин, анализа производимого ими шума и решения аналогичных задач.

В акустике обычно используется частотный анализ звука, когда звуковой сигнал представляется суммой гармонических составляющих, характеризующихся частотой, фазой и амплитудой.

Частотный анализ звука позволяет получить распределение амплитуд составляющих по частотам - так называемые амплитудно-частотные спектры, реже - распределение фаз составляющих по частотам (фаза-частотные спектры).

А9 Спектр

СПЕКТР (от лат. spectrum - представ - представление, образ) - совокупность всех значений, которые может принимать физическая величина, характеризующая какую-либо систему или процесс.

Наиболее часто понятие «спектр» используют применительно к колебательным процессам, понимая под ним совокупность простых гармонических колебаний, на которые может быть разложен сложный колебательный процесс.

А9.1 Спектр звука

СПЕКТР ЗВУКА - совокупность простых гармонических волн, на которые можно разложить звуковую волну.

Спектр звука выражает его частотный (спектральный) состав и получается в результате гармонического анализа звука.

Спектр звука представляют обычно на координатной плоскости, где по оси абсцисс отложена частота f , а по оси ординат — амплитуда A или интенсивность гармонической составляющей звука с данной частотой.

Итак, периодические колебания могут быть представлены в виде спектра. В нем может быть одна составляющая (гармонический сигнал), несколько или много колебаний.

Если сигнал представляет собой простейшее гармоническое колебание, то на его спектральном представлении четко как частоту, так и амплитуду сигнала.

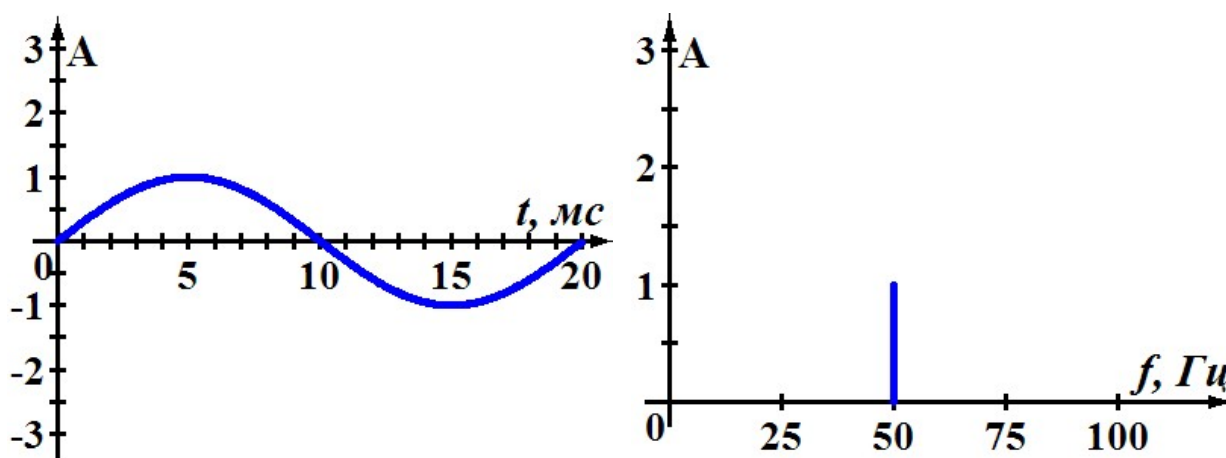


Рис. А.9.1.1 Периодическое колебание с частотой 50Гц и амплитудой 1 (слева временная развертка, справа спектр)

а)

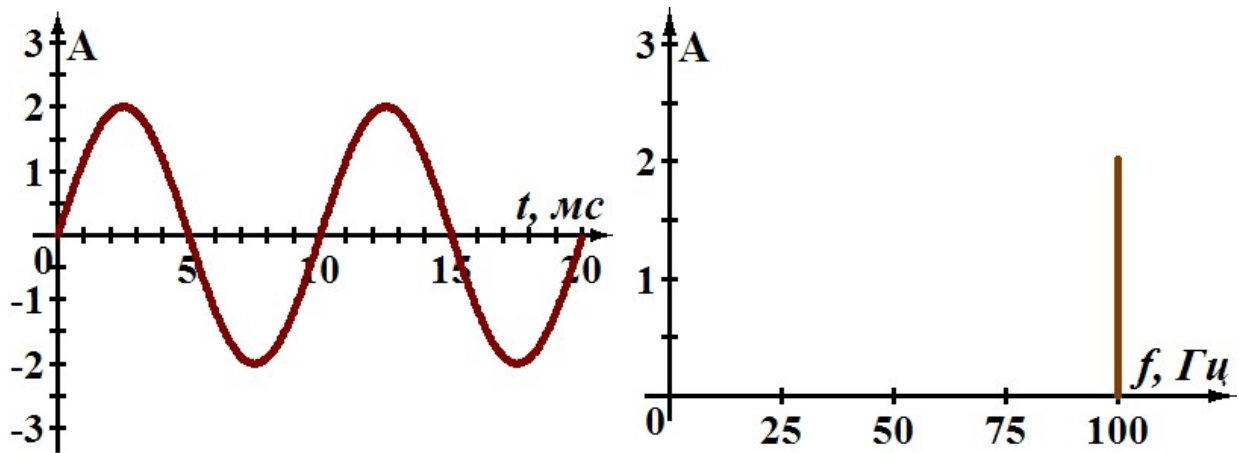


Рис. А.9.1.2 Периодическое колебание с частотой 100Гц и амплитудой 2 (слева временная развертка, справа спектр)

◇ По временной же развертке (изображению на экране осциллографа) сигнала, состоящего из суммы нескольких гармонических колебаний не так-то просто разобраться с тем, какие именно колебания представлены и какова их амплитуда. А вот в представлении их в виде спектра четко видно и частоты отдельных сигналов, и их амплитуды.

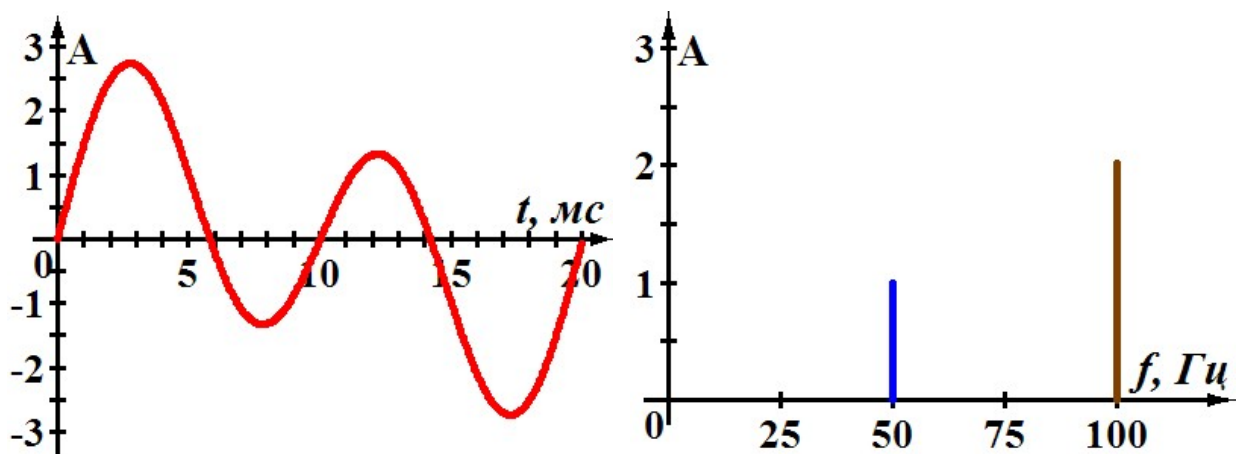


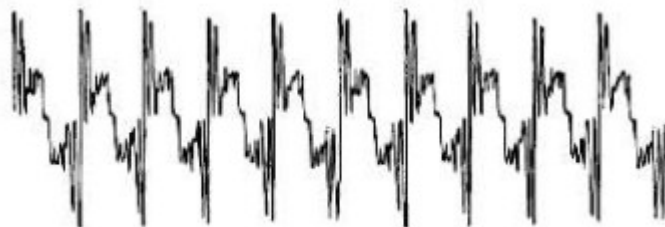
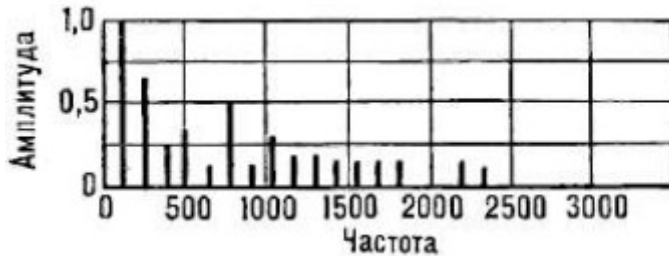
Рис. А.9.1.3 Сумма двух периодических колебания с частотами 50 и 100 Гц и амплитудами соответственно 1 и 2 (слева временная развертка, справа спектр)

◇ Очевидно, что чистые тона, звуки с периодической формой волны, а также полученные при сложении нескольких периодических волн, обладают линейчатыми или дискретными спектрами в виде совокупности дискретных частотных составляющих.

Линейчатым спектром с кратными частотами, например, обладают музыкальные звуки.



Рояль



Кларнет

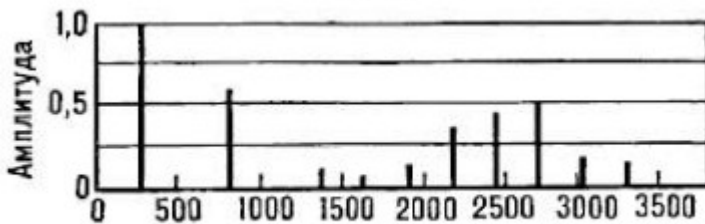


Рис. А.9.1.4 Форма колебаний и амплитудно-частотные спектры звуков рояля (основная частота 128 Гц) и кларнета (275 Гц)

Звук с дискретным спектром воспринимается как тональный сигнал. Причем основная частота определяет при этом воспринимаемую на слух высоту звука, а набор гармонических составляющих - тембр звука.

♦ А вот у акустических шумов, одиночных импульсов, затухающих звуков энергия звуковых колебаний непрерывно распределена в более или менее широкой области частот. Такие звуки (шумы) часто называют широкополосными, они имеют сплошной или непрерывный спектр.

Звук со сплошным спектром воспринимается как шум, например, шелест деревьев под ветром, лязг и звуки работающих механизмов.

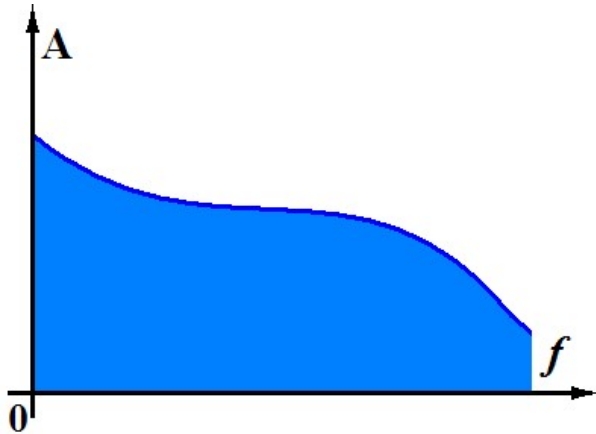


Рис. А.9.1.5 Сплошной спектр

Комбинированные спектры характерны для шумов некоторых механизмов и, в частности вентиляторов, где, например, работа двигателя и вибрации крыльчатки дают отдельные частотные составляющие, наложенные на сплошной спектр шумов воздушного потока.

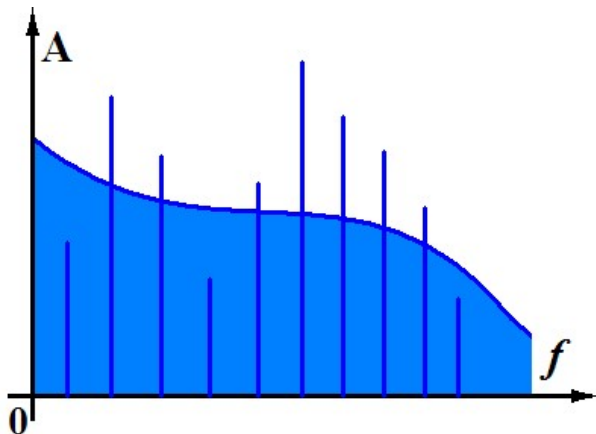


Рис. А.9.1.6 Комбинированный спектр

Зная звуковой спектр, например, двигателя автомобиля, т.е. зная частоты и амплитуды его гармоник, можно рассчитать конструкцию глушителя. Знание спектров речевых и музыкальных сигналов позволяет правильно рассчитать частотную характеристику передающих трактов, чтобы обеспечить необходимое качество воспроизведения.

Для получения спектров используют специальные приборы.

АНАЛИЗАТОР СПЕКТРА ЧАСТОТ - измерительный прибор лабораторного применения для исследования частотных спектров, наблюдаемых на экране электроннолучевой трубки.

АНАЛИЗАТОР ЗВУКА - прибор для анализа звука (разложения сложных звуковых сигналов на элементарные составляющие).

А10 Распространение шума

Вентилятор один из самых шумных компонентов компьютера. Шум от него может распространяться как по воздуху, так и по конструктивным элементам системного блока. Соответственно различают две составляющих шума – воздушную и структурную.

Процесс возникновения и распространения воздушного шума выглядит приблизительно так. Работающий вентилятор приводит в колебательные движения частицы воздуха внутри корпуса как за счет вибраций конструктивных элементов, так и за счет пульсаций давления и скорости потока воздуха в проточной части вентилятора и в примыкающих объемах воздуха.

Частично эти колебания частиц воздуха проникают наружу компьютерного корпуса через отверстия в стенках и воспринимаются органами слуха как шум. Частично колебания частиц воздуха достигают стенок компьютерного корпуса и вызывают их колебательные движения.

Колебания стенок корпуса (вторичного источника звука) вызывают колебательные движения частиц воздуха снаружи корпуса, которые также воспринимаются органами слуха как шум.

Воздушный шум (airborne acoustics) — это звук, создаваемый компонентом и передаваемый по воздуху.

♦ *Производители измеряют только воздушные шумы жестких дисков. И именно их значение приводится в спецификациях на компонент.*

Вторая часть шума — вибрации, передаваемые от работающего вентилятора через непосредственный контакт и крепеж на стенки корпуса и другие его конструктивные элементы, на блок питания, радиатор CPU, материнскую плату и т.д., и т.п.

Эти элементы начинают вибрировать и сами создавать воздушный шум внутри корпуса, т.е. превращаются во вторичные источники шума внутри корпуса (о возникновении и распространении воздушного шума см. выше). А вибрации стенок корпуса вызывают колебательные движения частиц воздуха снаружи корпуса, воспринимаются органами слуха как шум.

Структурный шум (structure-borne sound) - шум, возникающий при непосредственном контакте вибрирующего вентилятора с конструктивными элементами системного блока. Он порождается всей конструкцией изделия, его структурой, распространяется непосредственно по элементам конструкции корпуса и излучается на всем пути своего распространения.

♦ *Т.о. при наличии структурного шума практически все конструктивные элементы системного блока превращаются во вторичные источники звука. А весь системник как бы в рупор или громкоговоритель!!!*

Исследования показывают, что, если вентилятор жестко закреплен на корпусе, радиаторе, HDD и т.д., то на малых и средних оборотах доминирующими являются именно структурные шумы, а собственные (воздушные) шумы значительно меньше влияют на общий уровень шумов системы. Воздушные же шумы начинают доминировать только на больших оборотах, когда "вой" крыльчатки заглушает все остальное. Но до таких оборотов вентиляторы в малошумящих системах и не раскручивают.

Приложение Б

УСТРОЙСТВО, ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ВЕНТИЛЯТОРОВ И СХЕМОТЕХНИКА ИХ МОТОРОВ

ВЕНТИЛЯТОР (лат. ventilator, букв. - веельщик, от ventilo - вею, махаю, дую) представляет собой устройство, предназначенное для перемещения воздуха и создающее избыточное давление воздуха или др. газа.

♦ *В общем случае вентилятор преобразует кинетическую энергию вращающегося колеса (крыльчатки или пропеллера) в кинетическую и потенциальную энергию перемещаемого объема воздуха.*

В компьютерной технике вентиляторы используются как в системе общего охлаждения для принудительной вентиляции корпусов, так и для индивидуального охлаждения горячих компонентов либо путем непосредственного их обдува, либо в составе кулеров.

Как правило, используются осевые вентиляторы с бесщеточными моторами, имеющими четырехполюсные индукторы.

◇ Поэтому что далее речь пойдет именно о таких вентиляторах как самых распространенных в настоящее время вентиляторах, позволяющих осуществить комплексное охлаждение всех компонентов системного блока.

Б1 Устройство вентилятора

Осевые вентиляторы получили своё название из-за направления перемещения воздуха – вдоль оси вращения крыльчатки (пропеллера, лопаток). При вращении крыльчатки вентилятора воздух захватывается лопастями и перемещается в осевом направлении. Перемещение же воздуха в радиальном направлении практически отсутствует.

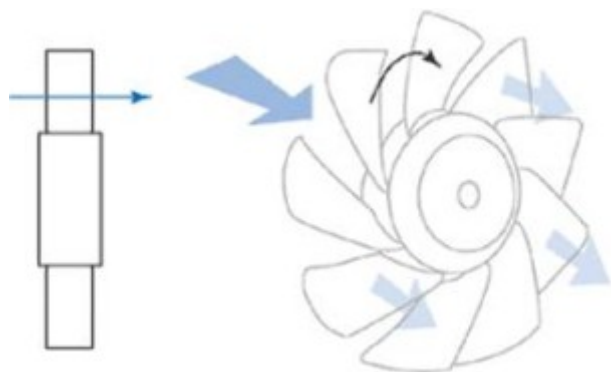


Рис. Б1.1 Прохождение воздушного потока через осевой вентилятор

◇ Простейший тип осевых вентиляторов - *пропеллерные вентиляторы*. Они имеют открытую, свободно вращающуюся крыльчатку.



Рис. Б1.2 Пропеллерные вентиляторы

◇ *Вентиляторы этого типа характеризуются весьма малым давлением создаваемого воздушного потока и поэтому имеют очень низкую эффективность*

$$\eta = P \cdot Q / W$$

где:

P – статическое давление создаваемое вентилятором (Па);

Q – производительность вентилятора или его расход воздуха (м³/час);

W – потребляемая мощность (Вт).

Однако в случаях, когда важен расход воздуха и низкий шум, а создаваемым давлением можно пренебречь, такие вентиляторы очень неплохи.

Недаром вот уже много лет **Intel** использует подобные вентиляторы практически во всех своих кулерах. А в последнее время и другие производители пошли по этому же пути для создания малошумящих кулеров.



Рис. Б1.3 Пропеллерные вентиляторы в кулерах

◇ Для повышения эффективности большинство осевых вентиляторов имеют цилиндрический кожух (корпус или рамку), расположенный вокруг крыльчатки.



Рис. Б1.4 Вентиляторы с корпусом

◇ В этом случае за счет более высокого давления создаваемого вентилятором рост его эффективности может достигать 75 процентов. Но возрастают и создаваемые вентилятором шумы.

Такие вентиляторы наиболее широко и используются в компьютерной технике для вентиляции корпусов и блоков питания, для индивидуального обдува горячих компонентов, а так же в составе кулеров.



Рис. Б1.5 Использование корпусных вентиляторов

Эффективность вентилятора повышается еще процентов на 10, если непосредственно за крыльчаткой расположить направляющие лопасти.



Рис. Б1.6 Корпусной вентилятор с направляющими лопастями

Такие вентиляторы используются в серверах, где важны расход и давление, а до шума и вибраций вовсе дела нет.

Внешне различные вентиляторы, несмотря на некоторые отличия в конструкции и размерах, весьма похожи. Крыльчатка, корпус да выводы. И *в общем случае компьютерный вентилятор охлаждения включает в себя следующие элементы.*

1. Крыльчатку

Это главный элемент любого вентилятора. Именно с помощью крыльчатки преобразуется энергия мотора в кинетическую и потенциальную энергию перемещаемого объема воздуха.

♦ Тут надо отметить особо, что *кинетическая энергия, в конце концов, и определяет величину воздушного потока, а потенциальная – избыточное давление, создаваемое вентилятором.*

А вот уж, какая часть энергии мотора переходит в кинетическую, а какая в потенциальную энергию воздушного потока, определяется при прочих равных условиях конструктивными особенностями крыльчатки.

Опять же геометрия крыльчатки и используемый материал оказывают влияние на общий уровень шумов и вибраций вентилятора.

В последнее время получили распространения вентиляторы со встроенной подсветкой. Их крыльчатки выполняются, как правило, из прозрачных или цветных материалов.

Поэтому *в зависимости от того, на каких скоростях работает вентилятор и каким свойствам или сочетанию свойств отданы предпочтения, нужна ли подсветка и т.д. существует большое разнообразие крыльчаток отличающихся как числом лопастей и их геометрией, так и используемыми материалами.*



Рис. Б1.7 Конструкции крыльчаток

В центре крыльчатки расположена ступица или стакан где "прячутся" электромотор и подшипники. Там же располагается ось вращения или вал, на котором и вращается крыльчатка.

2. Мотор

Предназначен для вращения крыльчатки. При прочих равных условиях мощность его определяет производительность вентилятора.

◇ Современные вентиляторы имеют бесколлекторные моторы с бесконтактной коммутацией обмоток. Они состоят из индукторной машины и схемы управления.

Индукторная машина включает в себя *ротор* и *статор*.

Ротором является кольцевой постоянный магнит с четырьмя полюсами (N-S-N-S) запрессованный в стальное кольцо - *ядро*, замыкающее магнитный поток. Ротор туго вставляется или клеивается в ступицу крыльчатки. В результате крыльчатка вентилятора вместе с ротором образуют единый конструктивный узел.



Рис. Б1.8 Ротор

Статором служит, как правило, четырехполюсный индуктор, представляющий сложной формы магнитопровод с обмотками.



Рис. Б1.9 Статор

Магнитопровод посередине имеет отверстие, которым и насаживается на втулку с подшипниками внутри.



Рис. Б1.10 Пластина магнитопровода

В них и вращается вал крыльчатки. Этим достигается соосность статора и ротора.



Рис. Б1.11 "Мотор", втулка и подшипник

Коммутация тока в обмотках статора осуществляется электронной схемой управления. Плата со схемой управления и статор объединены в один конструктивный узел. Его часто и называют "мотором", упуская из вида то, что ротор расположен на крыльчатке.

Поскольку мощность электродвигателей вентиляторов невелика, то схеме управления, как правило, не нужны мощные полупроводниковые приборы. Это позволяет использовать в качестве основы для создания схем управления специализированные ИМС, включающие в себя практически все необходимые компоненты для схемы управления мотором от датчика Холла, определяющих момент переключения токов в обмотках мотора, до выходных усилителей непосредственно коммутирующих обмотки.

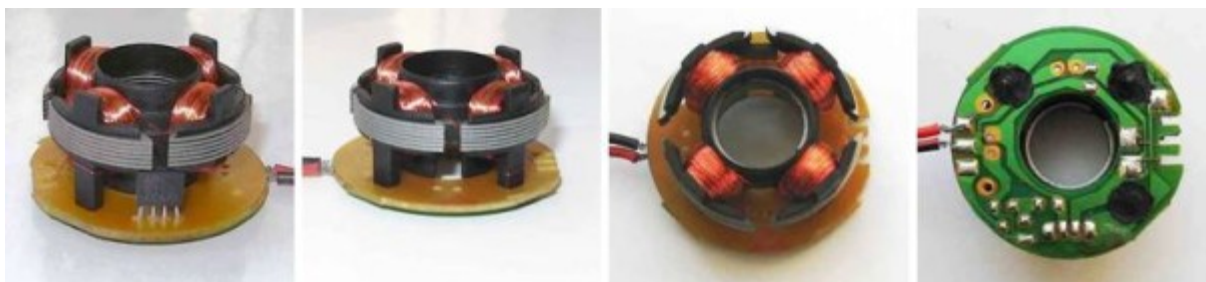


Рис. Б1.12 "Мотор" на ИМС APX9140

Часто ИМС имеют встроенные тахогенераторы, а так же различные системы защиты (от коротких замыканий в нагрузке и/или от перегрузки при принудительной остановке крыльчатки и/или от перегрева).

Некоторые ИМС предусматривают подключение внешнего термодатчика, что дает возможность регулировать скорость вращения ротора (крыльчатки) в зависимости от температуры воздуха или температуры непосредственно охлаждаемого компонента.

3. Подшипники

Они обеспечивают беспрепятственное вращение крыльчатки.

♦ От качества и типа используемых подшипников, а также самой оси крыльчатки непосредственно зависят как издаваемый ими шум, так и срок службы вентилятора.

В рассматриваемых осевых вентиляторах традиционно используются два типа подшипников – подшипники скольжения (втулки) и подшипники качения (шарикоподшипники) или их комбинация (один скольжения и один качения). Сейчас комбинация подшипников используется весьма редко и по этой причине особо останавливаться на ней не стоит.



Рис. Б1.13 Подшипники (слева во втулке шарикоподшипник, справа - подшипник скольжения)

Каждый из применяемых типов подшипников имеет свои преимущества и недостатки: шарикоподшипники обычно более долговечные и одновременно более шумными, существенно выше и их стоимость; втулочные подшипники меньше шумят, но срок их службы в разы ниже шариковых.

Скольжение в подшипниках скольжения обеспечивает находящееся в зазоре между бронзовой или латунной втулкой и стальным валом масло, которое за счет капиллярного эффекта образует масляную пленку, защищающую детали от непосредственного контакта.

Но смазка имеет свойство вытекать и высыхать. Отсюда необходимость пробок, сальников и других уплотнителей, призванных удержать масло во втулке.



Рис. Б1.14 Крепление крыльчатки в вентиляторах с подшипником скольжения

Однако такая конструкция позволяет в какой-то степени удерживать масло только при достаточно плотной подгонке деталей. А на практике, увы.... То шайб-сальников не хватает, то подшипник миллиметров на несколько короче нужного размера. Потому для продления службы подшипников приходится периодически смазывать их.

Шарикоподшипники используют принцип качения, а не скольжения трущихся поверхностей. Для таких подшипников потеря смазки в ходе эксплуатации менее критична, да и ее количества, заложенного при сборке, как правило, хватает на весь срок длительной службы подшипника.

Система крепления крыльчатки в случае использования шарикоподшипника предполагает наличие дополнительных пружин и прокладок, обеспечивающих поджим подшипников. В результате люфты (и осевой, и радиальный) выбираются осевым смещением внутреннего и наружного кольца подшипника относительно друг друга с помощью пружины.



Рис. Б1.15 Крепление крыльчатки в вентиляторах с подшипником качения

Такое крепление обуславливает независимость эксплуатационных качеств вентилятора от его положения в пространстве (вертикально или горизонтально, крыльчаткой вверх, или вниз). *Это важнейшее преимущество шарикоподшипников перед подшипниками скольжения.*

В последнее время получила распространение такая разновидность подшипников скольжения как *гидроподшипники*, в которых вращение оси ротора происходит в полости, заполненной маслом.

Собранная в один герметичный (и потому неразборный!) узел система различных полостей во втулке и канавок на оси, призванных удерживать масло во втулке, составляет суть гидроподшипников, которые сочетают в себе лучшие качества шариковых и втулочных подшипников.

4. Корпус

Повышает эффективность вентилятора.

По углам корпуса обычно располагаются крепежные отверстия для саморезов. Для уменьшения структурных шумов вместо саморезов могут использоваться эластичные силиконовые виброизоляторы.



Рис. Б1.16 Крепеж

В центре корпуса (рамки) на стойках (спицах) расположена площадка, закрывающая ступицу и предохраняющая от механических повреждений плату схемы управления. А в центре площадки - втулка с подшипниками, на которую одевается "мотор".



Рис. Б1.17 Корпуса

В зависимости от геометрии крыльчатки, того, на каких скоростях работает вентилятор и каким свойствам или сочетанию свойств отданы предпочтения, нужна ли подсветка и т.д. корпуса отличаются профилем внутренней поверхности, числом стоек, геометрией и наклоном их, а так же используемыми материалами.

Одна из стоек потолще других и имеет желобок для укладки выводов от схемы управления. В площадке же для выводов обычно имеется отверстие или прорезь.

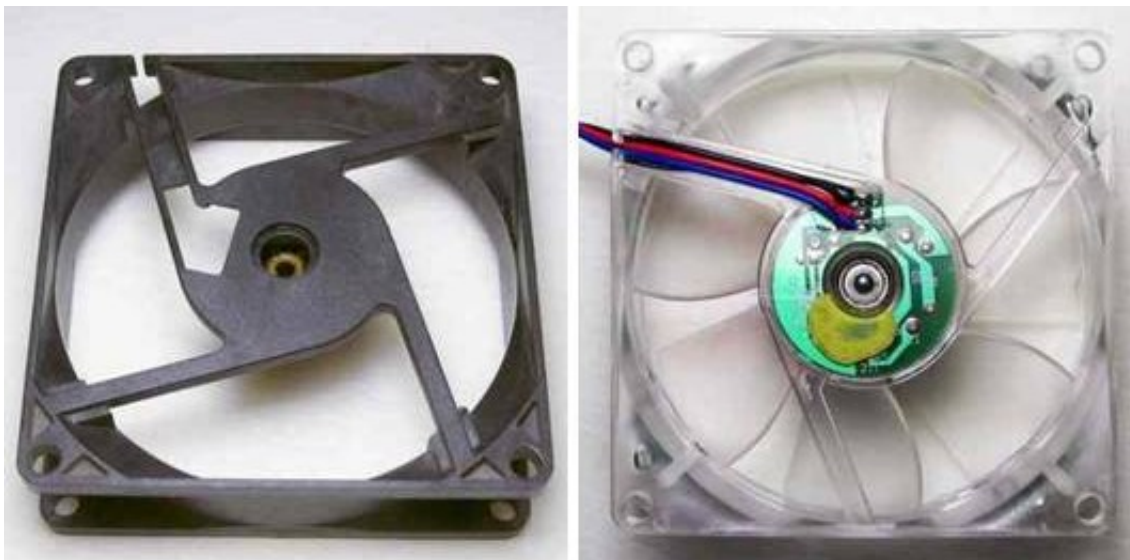


Рис. Б1.18 Укладка выводов

В некоторых вентиляторах для снижения шума используются облегченные или неполные корпуса. У них либо толщина меньше толщины крыльчатки, либо они не сплошные, а в виде своеобразной сетки. **Эффективность таких вентиляторов занимает промежуточное значение между пропеллерными и корпусными вентиляторами.**



Рис. Б1.19 Вентиляторы с облегченными корпусами

В настоящее время в компьютерной технике наиболее часто используются вентиляторы с размерами корпуса 40x40, 45x45, 50x50, 60x60, 70x70, 80x80, 92x92 и 120x120мм. При этом в зависимости от размера толщина корпуса обычно бывает 6, 8, 10, 15, 20, 25, 32 или 38мм.



Рис. Б1.20 Вентиляторы разных типоразмеров

Часто *типоразмер вентилятора* указывается как **длина x ширина x толщина** корпуса в миллиметрах. Например, 120x120x25 означает размеры вентилятора: длина 120мм, ширина 120мм, толщина 25мм.

Выводы:

1. В компьютерной технике вентиляторы используются как в системе общего охлаждения для принудительной вентиляции корпусов, так и для индивидуального охлаждения горячих компонентов либо путем непосредственного их обдува, либо в составе кулеров.

2. Как правило, используются *осевые вентиляторы с бесщеточными моторами*, имеющими *четырёхполюсные индукторы*.

3. Простейший тип осевых вентиляторов - *пропеллерные вентиляторы*. Они имеют открытую, свободно вращающуюся крыльчатку, поэтому эффективность их $\eta = P \cdot Q / W$ невелика. Однако в случаях, когда важен расход воздуха и низкий шум, а создаваемым давлением можно пренебречь, такие вентиляторы очень неплохи.

4. Крыльчатка главный элемент любого вентилятора. Именно с помощью нее преобразуется энергия мотора в кинетическую и потенциальную энергию перемещаемого объема воздуха.

Кинетическая энергия определяет величину воздушного потока, а потенциальная – избыточное давление, создаваемое вентилятором. Соотношение этих энергий при прочих равных условиях определяется конструктивными особенностями крыльчатки.

5. В зависимости от того, на каких скоростях работает вентилятор и каким свойствам или сочетанию свойств отданы предпочтения, нужна ли подсветка и т.д. существует большое разнообразие крыльчаток отличающихся как числом лопастей и их геометрией, так и используемыми материалами.

6. Для повышения эффективности большинство осевых вентиляторов имеют цилиндрический кожух (корпус или рамку), расположенный вокруг крыльчатки. В этом случае за счет более высокого давления создаваемого вентилятором рост его эффективности может достигать 75 процентов.

В зависимости от геометрии крыльчатки, того, на каких скоростях работает вентилятор и каким свойствам или сочетанию свойств отданы предпочтения, нужна ли подсветка и т.д. корпуса отличаются профилем внутренней поверхности, числом стоек, геометрией и наклоном их, а так же используемыми материалами.

7. Современные вентиляторы имеют бесколлекторные моторы с бесконтактной коммутацией обмоток. Они состоят из индукторной машины и схемы управления.

При прочих равных условиях мощность мотора определяет производительность вентилятора.

8. Как правило, в качестве основы для создания схем управления используются специализированные ИМС, включающие в себя практически все необходимые компоненты для схемы управления мотором от датчика Холла, определяющих момент переключения токов в обмотках мотора, до выходных усилителей непосредственно коммутирующих обмотки.

Часто такие ИМС имеют встроенные тахогенераторы, а так же различные системы защиты (от коротких замыканий в нагрузке и/или от перегрузки при принудительной остановке крыльчатки и/или от перегрева).

9. От качества и типа используемых подшипников, а также самой оси крыльчатки непосредственно зависят как издаваемый ими шум, так и срок службы вентилятора.

Б1.1 Разборка вентилятора

Технический уход и обслуживание вентиляторов, не говоря уже о различных обсуждаемых способах модификации и улучшения параметров, в большинстве случаев требуют разборки данного устройства.

Разборка позволит заглянуть внутрь вентилятора и поможет более подробно познакомиться с его конструктивными особенностями.

♦ Однако, не все вентиляторы можно разобрать. К числу неразборных конструкций относятся, например, вентиляторы на гидроподшипниках.

Примечание. Далее для обобщения собраны фотографии сделанные в процессе разборки разных вентиляторов.

Конструктивно вентилятор обычно легко разделяется на два узла.

- Крыльчатку с кольцевым магнитом, ярмом и осью вращения.
- Корпус (рамку) с "мотором" и, в зависимости от конструкции, одним или двумя подшипниками.

Последовательность работ для наиболее распространенных конструкций вентиляторов такова.

1) Открыть подшипниковый узел вентилятора.

Отклеить круглую этикетку на корпусе вентилятора. Отклеивать нужно аккуратно, с тем чтобы потом в процессе сборки ее можно было наклеить обратно.

Подковырнуть и снять резиновую (иногда пластмассовую) пробку, закрывающую подшипник. Она герметизирует отверстие и предохраняет подшипник от загрязнения и вытекания смазки.

У многих дешевых вентиляторов пробка отсутствует. Ее роль выполняет наклейка. А зря. Пробка лучше.

Иногда для снятия пробки сначала ее нужно повернуть, а потом аккуратно подковырнуть и вытащить.

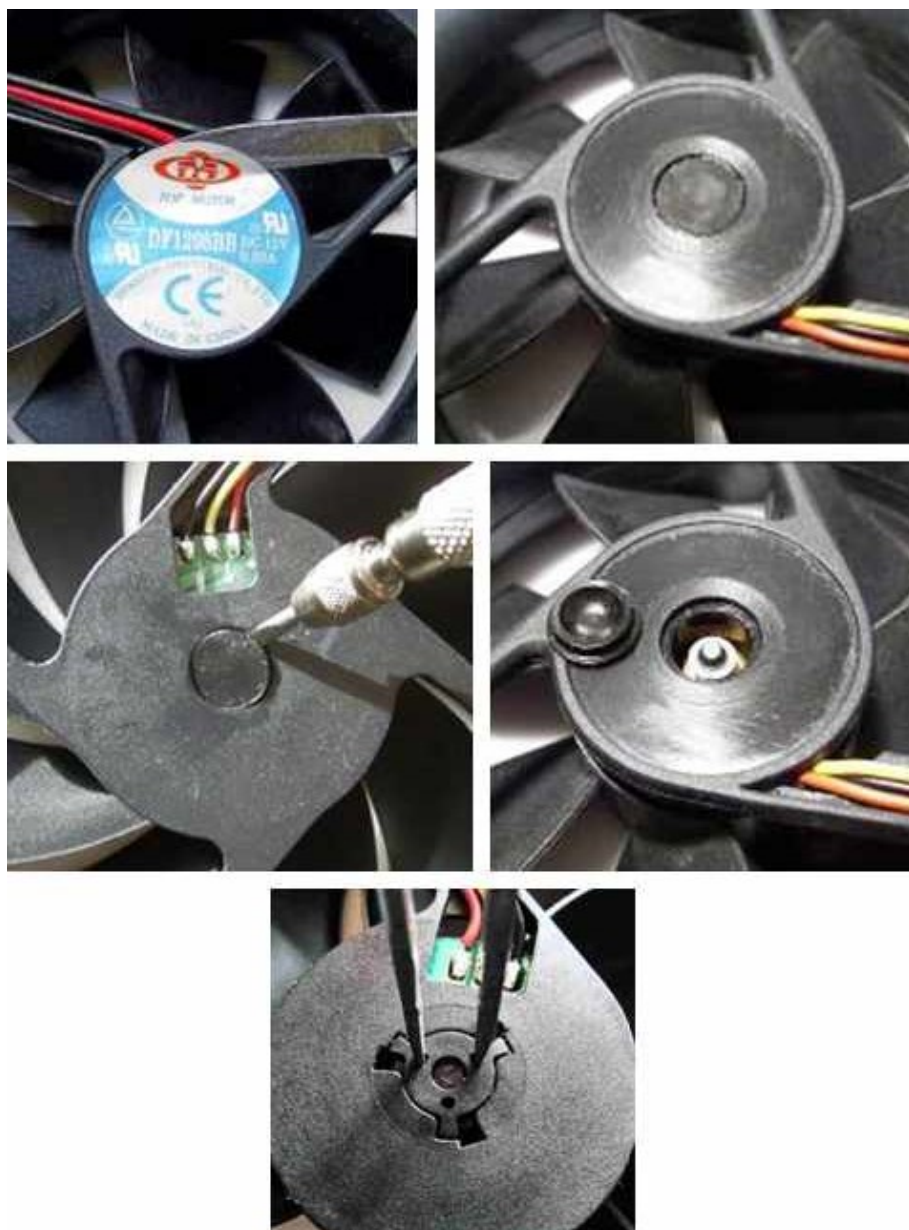


Рис. Б1.1.1 Снятие наклейки и пробки

2) Снять фиксатор с оси крыльчатки и освободить ее.

Для крепления крыльчатки обычно используется разрезная пластиковая или металлическая подковообразная шайба, надетая на ось.

Осторожно!!! Разрезная шайба вне зависимости от ее исполнения чрезвычайно шустрa и прыгуча, и при снятии все время норовит улететь в неизвестном направлении...

Эта операция требует некоторой сноровки, и поначалу на нее уходит немало времени. Поэтому далее подробно.

Сначала для исключения проворачивания крыльчатки подложить под нее, например, рулончик изоленты, стирательную резинку и т.п.



Рис. Б1.1.2 Стопорение крыльчатки

Скальпелем, шилом или тоненькой отверткой (на рисунках используется шило) придержать от вращения маленькую пластиковую разрезную подковообразную шайбу (обычно – белого цвета).

Другим аналогичным инструментом (на рисунках используется тонкая отвертка) подцепить шайбу в районе разреза и немножко приподнять один ее конец так, чтобы шайба зафиксировалась в этом полуснятом положении.

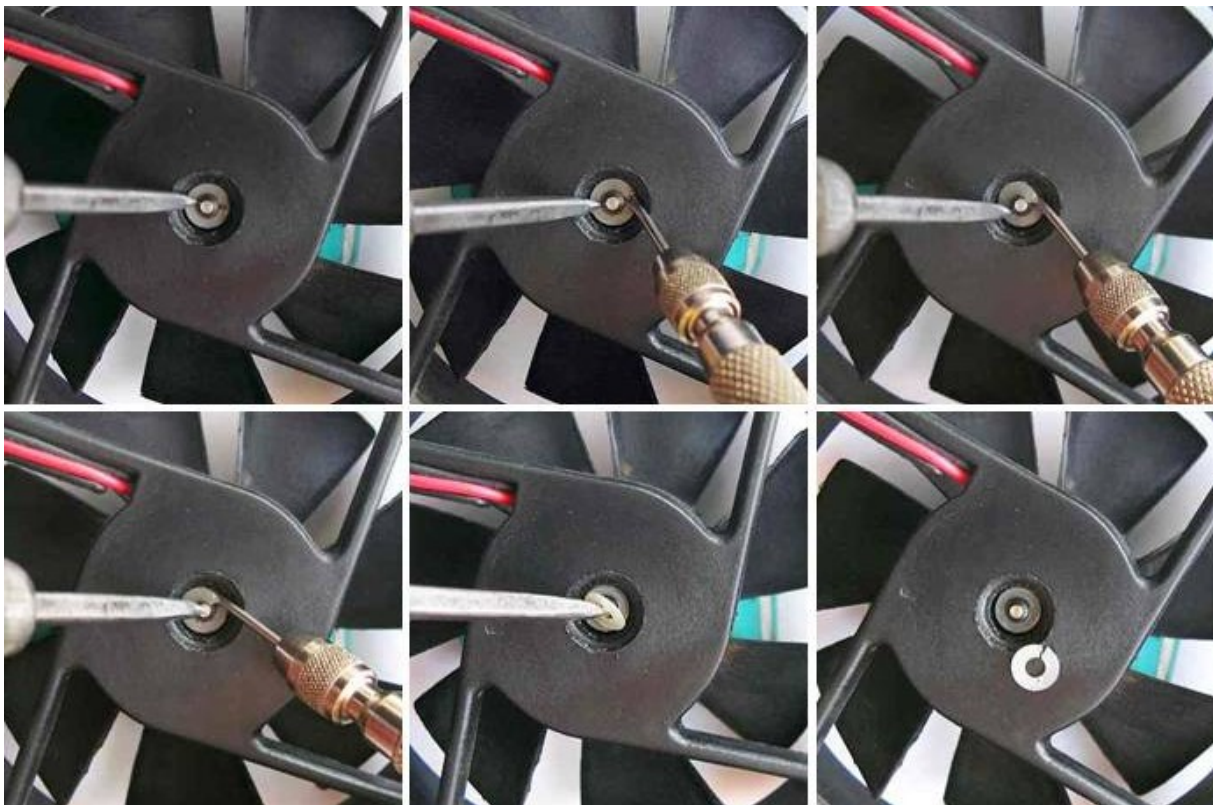


Рис. Б1.1.3 Снятие пластиковой разрезной шайбы

Аккуратно, не отрывая острия шила от оси крыльчатки переместить его на торец оси.

Приподнимать отверткой шайбу далее, пока она не перепрыгнет с оси крыльчатки на шило. Снять шайбу с шила.

У некоторых вентиляторов шайба металлическая. Она снимается аналогично.



Рис. Б1.1.4 Снятие металлической разрезной шайбы

Надавить на ось и вытащить крыльчатку. Она держится только силами магнита, ну и еще, может быть маленьким резиновым колечком, которое находится на валу крыльчатки под снятой шайбой (у некоторых вентиляторов резиновое колечко отсутствует). Иногда между разрезной шайбой и резиновым колечком может находиться еще одна или две шайбы.

Если в конструкции используется шарикоподшипник, то крыльчатка может держаться еще и трением между валом крыльчатки и внутренним кольцом подшипника.



Рис. Б1.1.5 Извлечение крыльчатки

В зависимости от исполнения вентилятора на оси крыльчатки могут остаться резиновое колечко или подшипник и пружина. При желании их тоже можно снять.



Рис. Б1.1.6 Снятые крыльчатки

Итак, вентилятор разделен на две части. Во-первых, это корпус (рамка), в центре которого на стойках расположен "мотор" и подшипник (подшипники), во-вторых, крыльчатка с кольцевым магнитом плотно разместившемся в замыкающем магнитный поток ярме. Кроме того, в крыльчатке закреплена ось (вал) вращения.

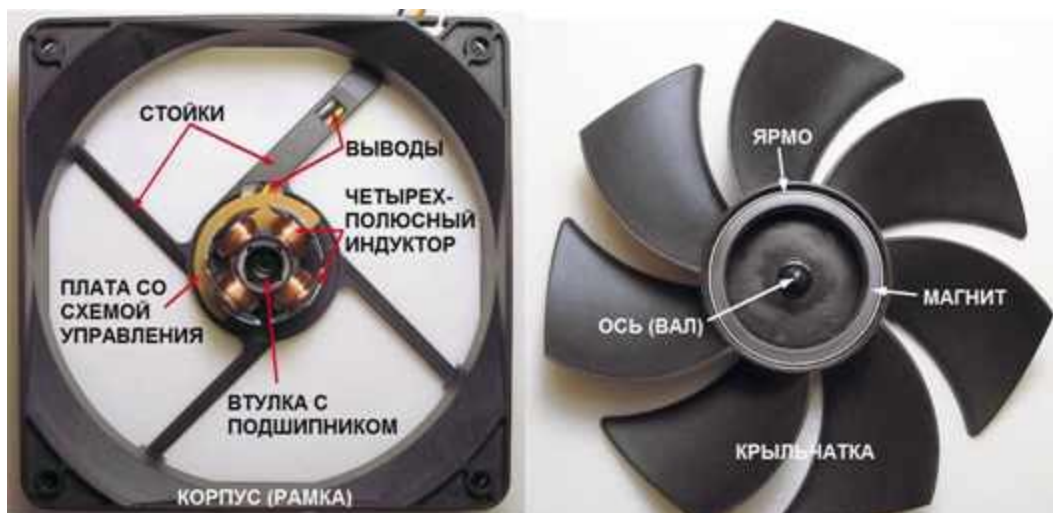


Рис. Б1.1.7 Корпус с "мотором" и крыльчатка

3) Снять мотор.

Так как этот процесс требует усилия двух рук, то реально сфотографировать его не удалось.

Для начала следует высвободить проволочные выводы. Потом необходимо одной рукой удерживать основание вентилятора, на котором закреплен мотор, а другой, раскачивая

мотор, вращательными движениями вправо-влево снять его с посадочного места (оси). Для облегчения работы, исключения повреждения рук и мотора желательно обмотать индуктор жестким кожаным ремнем, можно просто свернутым в кольцо куском плотной кожи или жесткой резины.

Осторожно!!! Это самая сложная и червеватая поломками операция. Индуктор мотора устройство очень нежное. Его недолго и раздавить. Некоторые моторы посажены на клей. В этом случае недолго и сломать пластиковое основание, на котором и закреплен мотор.

Кроме того, снять мотор без использования каких-либо инструментов получается далеко не всегда.



Рис. Б1.1.8 Обмотка индуктора жестким кожаным ремнем

При использовании же обычных пассатижей или плоскогубцев с регулируемым раскрытием губок, что удобнее, обмотка мотора не просто желательна, а скорее обязательна.



Рис. Б1.1.9 "Мотор" снят (слева во втулке шарикоподшипник, справа - подшипник скольжения)

Теперь мотор и корпус разделены. Дальнейшая разборка обычно не требуется.

Хотя иногда приходится снять магнит.

4) Снять магнит с ярмом.

Для снятия магнита удобно пользоваться простейшим приспособлением, изготовленным из проволоки спицы или, наконец, гвоздя.



Рис. Б1.1.10 Приспособление для снятия магнита

Приспособление представляет собой крючок с расклепанным и, чтобы не повредить магнит, сглаженным концом.

Расклепанный конец приспособления вставляется под магнит. Проворачивая крыльчатку, и используя приспособление как рычаг, потихоньку вытаскиваем магнит.



Рис. Б1.1.11 Использование приспособления для снятия магнита

Если хода рычага не хватает для снятия магнита, то под рычаг следует что-нибудь подложить, например, толстую шайбу или гайку.



Рис. Б1.1.12 Магнит снят

На этом, как правило, разборка заканчивается.

Сборка вентилятора происходит в обратном порядке.

Внимание!!! Клейкий кружок, который мы отклеили в самом начале разборки, может и не приклеится обратно. Но залепить дырку, которую он закрывал - нужно, особенно если отсутствует пробка. Например, скотчем.

Б2 Принцип действия

В отличие от коллекторных двигателей постоянного тока, где при вращении ротора переключение тока в обмотках производится с помощью щеток, здесь для переключения тока в обмотках используется специальная *схема управления. Основа ее – датчик Холла чувствительный к магнитному полю.*

Обычно датчик магнитного поля (датчик Холла) внешне напоминает транзистор и имеет три вывода.

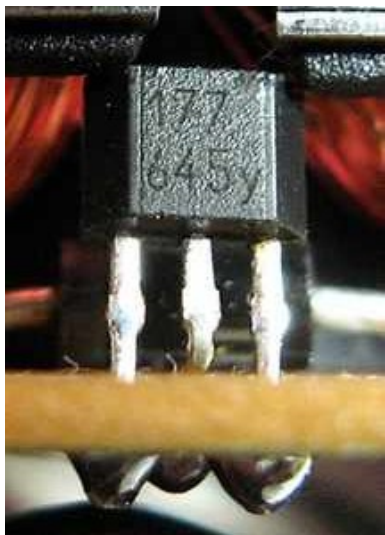


Рис. Б2.1 Датчик Холла - ИМС AT5177

На два из них подается напряжение от источника питания, а с третьего снимается выходной сигнал.

Но существуют датчики Холла и с четырьмя выводами. У них два выхода, на которых формируются противофазные сигналы.

В вентиляторах, как правило, используются датчики, выходной сигнал которых носит импульсный характер, т.е. изменяется скачком при некоторых пороговых уровнях напряженности магнитного поля.

◇ Для вращения ротора (крыльчатки с кольцевым магнитом) нужно последовательно в строго определенные моменты переключать обмотки статора. Так вот *положение ротора определяется датчиком Холла, который и определяет эти самые моменты переключения обмоток.*

В зависимости от того, каким образом изменяется магнитное поле в индукторе, различают моторы:

- двухобмоточные;
- однообмоточные.

Суть работы от количества обмоток не меняется. Просто в двухобмоточных моторах направление магнитного поля в индукторе на противоположное изменяется при поочередном подключении к источнику питания то одной, то другой обмотки намотанных в противоположных направлениях. А в однообмоточных – при изменении полярности напряжения на одной и той же обмотке.

Однако двухобмоточные получили большее распространение из-за более простой реализации схем коммутации обмоток индуктора.

Для примера рассмотрим работу типовой схемы двухобмоточного мотора, приведенной в документации на ИМС **ATS177** с датчиком Холла.

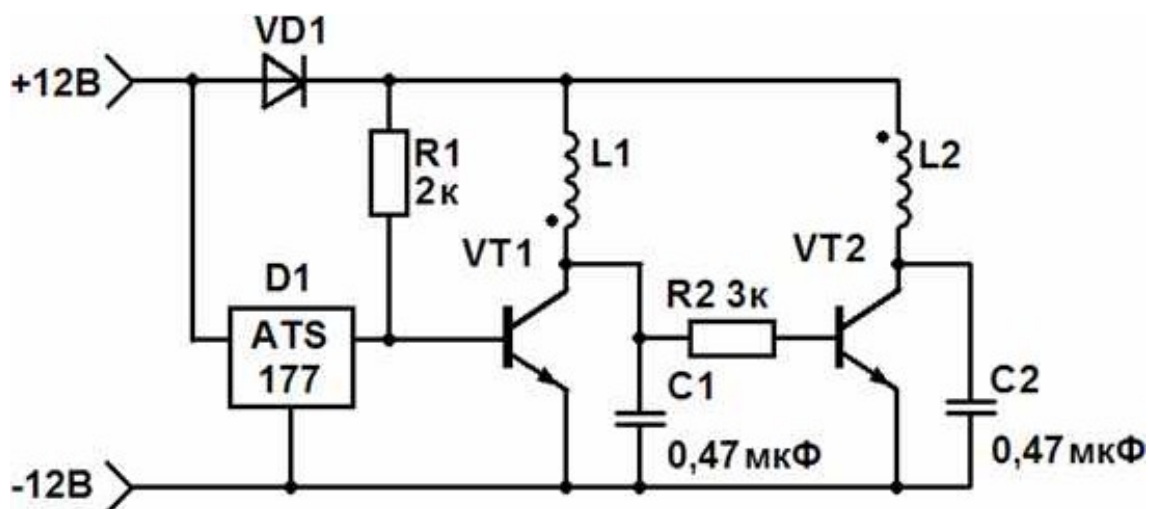


Рис. Б2.2 Типовая схема мотора на **ATS177**

Состав схемы и назначение элементов.

Мотор питается от источника напряжения $U_{пит} = 12 \text{ В}$.

Основой схемы является ИМС **ATS177** с датчиком Холла. Она определяет положение ротора и, следовательно, моменты переключения обмоток.

Транзисторы **VT1** и **VT2** – ключевые элементы, последовательно коммутирующие (подключающие к напряжению $U_{пит}$ обмотки мотора **L1** и **L2**.

Обмотки мотора **L1** и **L2** наматываются на четырехполюсный сердечник из пластин электротехнической стали в два провода (одновременно) и соединяются последовательно. Конец одной катушки соединяется с началом другой (точка на схеме обозначает начало катушки). Примерно так.

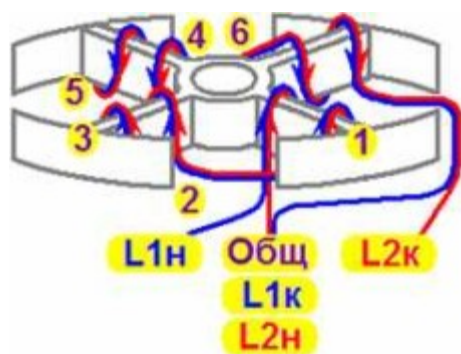


Рис. Б2.3 Схема укладки проводов

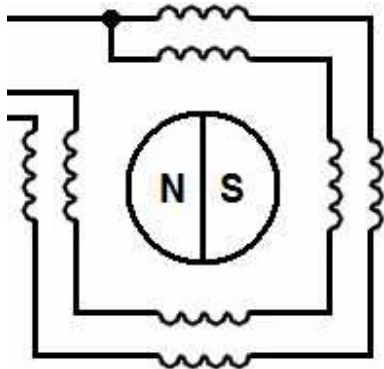
Конец провода с первого полюса (точка 1) соединяется с началом провода на втором полюсе (точка 2) и так далее. Т.е. точка 3 с точкой 4, а точка 5 с точкой 6.

Сопротивление каждой из обмоток в зависимости от мощности мотора бывает от (10...15) Ом до (100...150) Ом.

На принципиальных схемах индукторная машина может изображаться либо упрощенно в виде двух последовательно соединенных обмоток, либо в виде индукторной машины включающей в себя четырехполюсный статор и ротор-магнит.



а) упрощенно



б) в виде четырехполюсного статора и ротора-магнита

Рис. Б2.4 Изображения индукторной машины

Точка рядом с обмоткой указывает на начало катушки.

VD1 – защитный диод, предохраняющий **VT1** и **VT2** от выхода из строя при переполюсовке питающего напряжения.

R1 и **R2** – резисторы смещения, задающие токи базы, достаточные для полного открывания (для просвещенных - перехода в режим насыщения) транзисторов **VT1** и **VT2** соответственно.

C1 и **C2** – сглаживающие конденсаторы, в некоторой степени “сглаживающие” импульсы напряжения-тока, подаваемые на катушки индуктора **L1** и **L2**. Это предохраняет мотор от высокочастотного треска. Они же уменьшают амплитуду выброса обратного напряжения и предохраняют транзисторы **VT1** и **VT2** от пробоя.

*Почему же ИМС **ATS177** не датчик Холла, а ИМС с датчиком Холла?*

Да потому, что в состав самой ИМС входит не только сам датчик Холла, но и диод, защищающий ИМС от переполюсовки питающего напряжения, стабилизатор питающего напряжения, усилитель сигнала с датчика Холла, пороговая схема мгновенно, скачком меняющая состояние при плавном изменении сигнала с датчика Холла и выходной каскад – транзистор с открытым коллектором.

Примечание. Включение транзистора по схеме с открытым коллектором применяется практически во всех рассматриваемых далее ИМС применяемых для построения схем управления моторами.

Транзистор **n-p-n**, а именно такие и используются в ИМС схем моторов, включается эмиттером к минусу источника питания, на базу относительно эмиттера подается управляющий сигнал, а коллектор остается не подключенным (висит в воздухе).

Выделим отдельно в ИМС **ATS177** такой транзистор, который при мгновенном изменении состояния пороговой схемы так же скачком переходит из открытого состояния в закрытое и наоборот.



Рис. Б2.5 Транзистор по схеме с открытым коллектором в ИМС ATS177

Какую же роль этот выходной транзистор может выполнять?

Ну конечно роль ключа-выключателя. Открыт - замкнут, закрыт - разомкнут. А вот управляется состояние этого ключа, в конечном счете, магнитным полем.



Рис. Б2.6 Представление выходного транзистора ИМС ATS177 в виде ключа

♦ Вне зависимости от того, что там происходит внутри ИМС, главное тут в том, что состояние выходного транзистора, в конечном счете, управляется магнитным полем.

Обычно такие выходные транзисторы в отличие от всех остальных элементов микросхем обладают повышенной нагрузочной способностью и могут коммутировать довольно большие токи во внешней цепи.

Так вот тем, кто не хочет лезть в дебри электроники, можно так и представлять ИМС **ATS177** - ключ управляемый магнитным полем.

Ну а теперь пора вернуться к типовой схеме мотора.

По сути, схема представляет собой два последовательно включенных транзисторных ключа. Первый нормально замкнутый, второй нормально разомкнутый. Они формируют на своих нагрузках – обмотках мотора противофазные напряжения.

Положение ротора определяется датчиком Холла микросхемы **ATS177**, которая в нужные моменты производит переключение состояний ключей.

Для упрощения схемы представим, как это делали чуть выше, транзисторы **VT1** и **VT2** в виде ключей, а все второстепенные элементы просто исключим из схемы. Пунктирными стрелками покажем, что состоянием **VT1** (замкнут-разомкнут) управляет ИМС **ATS177**, а состояние транзистора **VT2** определяется состоянием **VT1** и противоположно ему. Причем, если выходной транзистор ИМС **ATS177** разомкнут (закрыт), то транзистор **VT1** замкнут (открыт), а **VT2** разомкнут (закрыт) и наоборот.

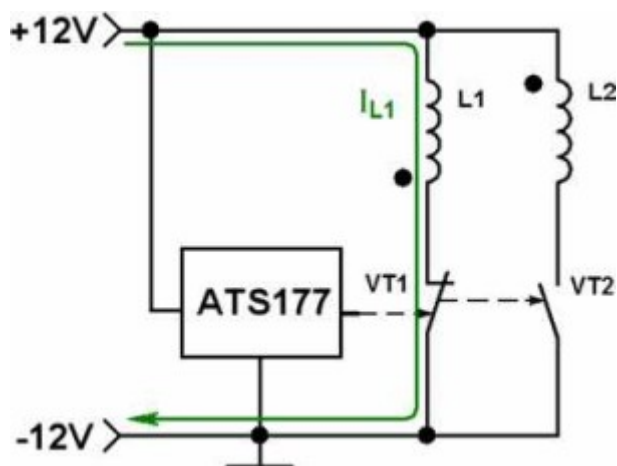


Рис. Б2.7 Упрощенная схема №1

Работа схемы

Рассмотрим работу упрощенной схемы вовсе не углубляясь в физическую сущность процессов.

Раз уж ротор представляет собой кольцевой постоянный магнит с четырьмя полюсами **N-S-N-S**, а статором — четырехполюсный индуктор, то до подачи питающего напряжения на схему управления ротор может занимать одно из четырех устойчивых состояний.

Если несколько раз крутануть крыльчатку и дождаться ее остановки, то эти положения ротора определятся сами собой.

Положение ИМС **ATS177** с датчиком Холла выбирается между полюсами индуктора.



Рис. Б2.8 Положение ИМС ATS177 с датчиком Холла

Поэтому по включении питания выходной транзистор может оказаться соответственно или закрыт, или открыт. А при вращении крыльчатки выходной транзистор соответственно будет проходить четыре последовательных состояния. Например, либо закрыт → открыт → закрыт → открыт, либо открыт → закрыт → открыт → закрыт.

Предположим, что в исходном состоянии транзистор закрыт. И с этого начнем рассматривать работу упрощенной схемы №1.

Итак, если выходной транзистор ИМС **ATS177** закрыт, то транзистор **VT1** будет открыт, а **VT2** закрыт. Тогда обмотка **L1** оказывается через замкнутый транзистор **VT1** подключена к источнику питания $U_{пит} = 12$ вольт.

В результате через эту обмотку по цепи:

+12В → L1 → открытый VT1 → -12В

потечет ток I_{L1} . В обмотке **L1** возникает магнитное поле, которое начинает поворачивать и ускорять ротор-магнит вместе с крыльчаткой.

Это состояние длится до тех пор, пока крыльчатка с ротором-магнитом не сделает около четверти оборота.

По мере поворота крыльчатки меняется вектор магнитной индукции, создаваемый кольцевым магнитом и в некоторый момент выходной транзистор ИМС **ATS177** открывается, тогда соответственно **VT1** закрывается, а **VT2** открывается. При этом **L1** отключается от источника питания $U_{пит} = 12$ вольт, а **L2** подключается к нему. Теперь далее ускорять ротор-магнит вместе с крыльчаткой продолжает магнитное поле обмотки **L2**.

Так длится еще четверть оборота. Происходит очередное переключение обмоток. Схема меняет состояние на противоположное (уже рассмотренное чуть выше).

Далее физические процессы в схеме повторяются. Крыльчатка набирает обороты до тех пор, пока аэродинамические силы сопротивления не уравновесят ускоряющие силы, создаваемые мотором.

♦ Таким образом, каждая из обмоток подключается к источнику питания дважды за каждый оборот крыльчатки. Т.е. коммутация обмоток происходит с частотой вдвое выше частоты вращения крыльчатки $F_{вр}$. Эта частота обычно называется коммутационной частотой или частотой коммутации $F_k = 2 * F_{вр}$.

Просто?

Просто. Но только недостаточно как для дальнейшего изложения материала по особенностям схем различных моторов, так и для изложения материала по устранению треска мотора.

Дело осложняется тем, что если еще сопротивление закрытого транзистора в первом приближении и можно принять за бесконечно большое, то в открытом состоянии каждый транзистор имеет вполне ощутимое сопротивление от десятых долей до единиц Ом. А уж пренебрегать сопротивлением обмоток в десятки Ом и вовсе негоже.

Рассмотрим работу с учетом внутренних сопротивлений обмоток **L1, **L2** и транзисторов-ключей **VT1**, **VT2**.**

Эти сопротивления соответственно включены последовательно со своими обмотками и транзисторами (см. упрощенную схему №2).

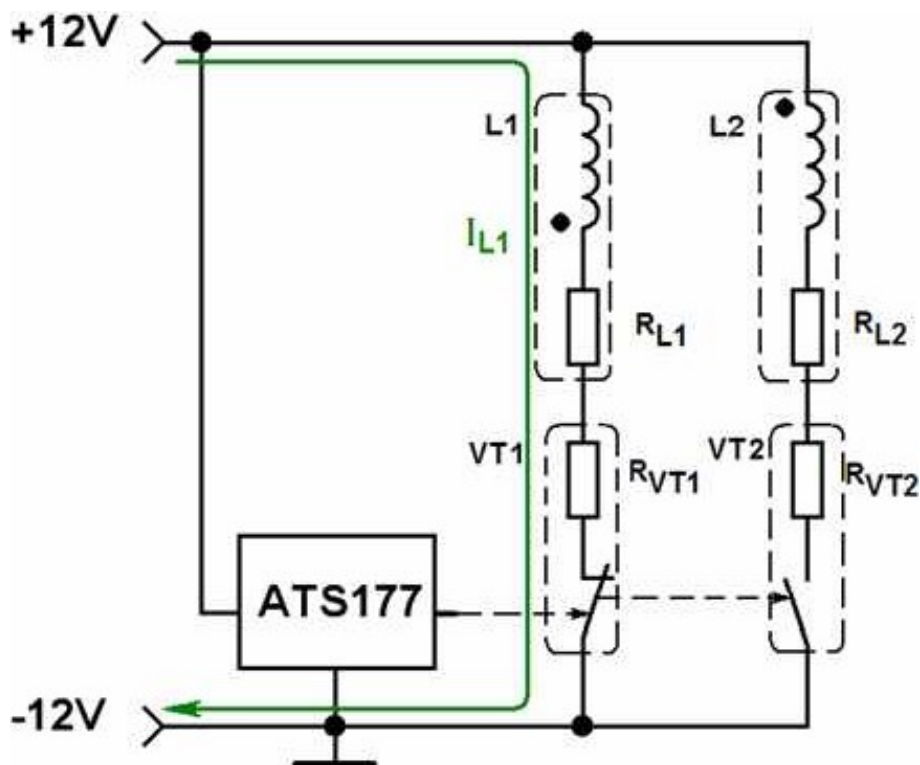


Рис. Б2.9 Упрощенная схема №2

Кроме того, наличие обмоток **L1** и **L2** - индуктивных элементов, обладающих способностью накапливать? а потом и отдавать энергию магнитного поля, приводит к возникновению переходных процессов при коммутации.

А внесет ли это для нас что-нибудь принципиально новое в работу мотора?

Да и очень важное.

1. Поскольку максимальный ток через обмотку **I_L** по закону Ома определяется отношением напряжения питания **U_{пит}** к суммарному сопротивлению последовательно включенных сопротивлений обмотки и открытого транзистора

$$I_L = U_{\text{пит}} / (R_L + R_{VT}),$$

А так как сопротивление обмотки мотора **R_L** в десятки и сотни раз превышает сопротивление открытого транзистора **R_{VT}**, то

$$I_L \approx U_{\text{пит}} / R_L .$$

Этот ток при прочих равных условиях и определяет значение создаваемого обмоткой магнитного поля, сил взаимодействия между статором и ротором, да и мощность мотора тоже.

*А мощность мотора определяет скорость вращения крыльчатки **f_{вр}**.*

Почему?

Тут надо поподробнее.

Если не учитывать незначительные силы трения в подшипниках, то в момент включения вся мощность мотора расходуется на ускорение крыльчатки. С увеличением скорости вращения крыльчатки растут аэродинамические силы сопротивления вращению, требуется все большая мощность мотора на их преодоление. *В конце концов, наступает момент, когда вся мощность мотора будет расходоваться на преодоление этих сил и ускорение крыльчатки прекратится.*

И еще.

◇ Поскольку геометрия и применяемые материалы индукторов в вентиляторах одного типоразмера обычно практически одинаковые, то отличаются моторы, по сути, только обмотками (числом витков, диаметром провода). А чем мощней мотор, тем больший ток он потребляет, тем более толстым проводом наматываются обмотки, тем меньше их сопротивление. Следовательно, *именно потребляемый ток или сопротивление обмоток практически и определяет мощность моторов вентиляторов одного типоразмера и, следовательно, скорость вращения крыльчатки $f_{вр}$.*

2. Наличие обмоток **L1** и **L2** - индуктивных элементов, обладающих способностью накапливать или отдавать энергию магнитного поля, приводит к возникновению переходных процессов при коммутации. *Не особо углубляясь в физическую сущность этих процессов, рассмотрим, что они вносят в работу мотора.*

Так как при переключении транзисторов происходят аналогичные процессы, то рассмотрим переходные процессы при переключении только одного из транзисторов, например, **VT1**, .

В момент t_1 при запираии транзистора **VT1** обмотка **L1** отключается от источника питания и ток через нее и сам транзистор начинает резко уменьшаться. *Скорость этого процесса определяется в основном быстродействием транзистора.*

Однако согласно законам коммутации ток через катушку индуктивности мгновенно изменяться не может и в обмотке возникает напряжение самоиндукции, препятствующее уменьшению тока, а в коллекторной цепи транзистора **VT1** появляется выброс обратного напряжения.

◇ Амплитуда его зависит от скорости уменьшения тока через обмотку и может многократно превышать напряжение питания мотора.

По мере рассеивания энергии накопленной в обмотке (в основном на вращение мотора) выброс быстро уменьшается.

Упрощенные эпюры и осциллограммы напряжений и токов в различных точках схемы приведены на рисунке.

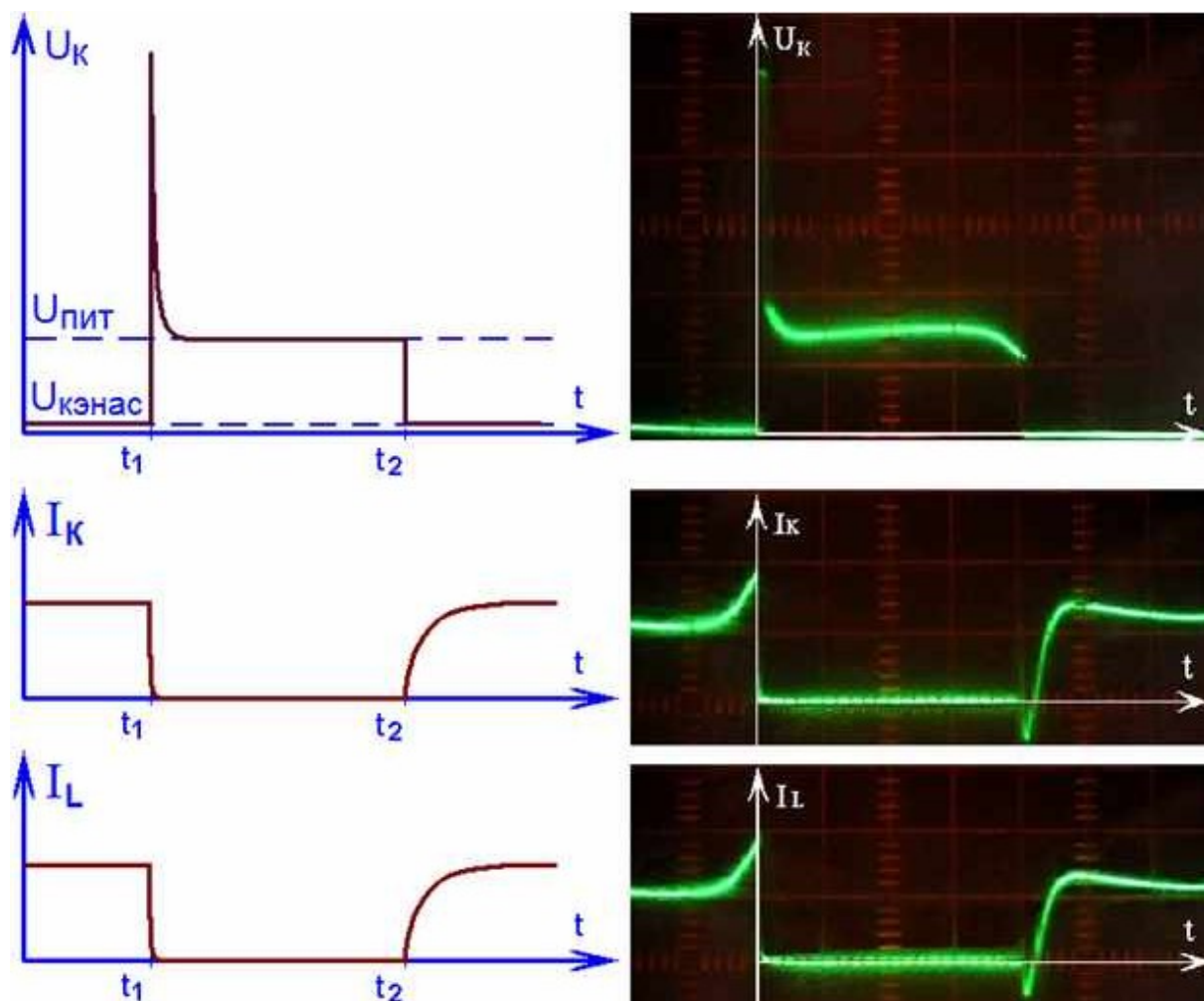


Рис. B2.10 Упрощенные эпюры (слева) и осциллограммы (справа) напряжений и токов

Примечания:

- Осциллограммы напряжений и токов были сняты в схеме мотора вентилятора **ZALMAN ZM-F3**. Эта схема за мелкими исключениями фактически идентична рассматриваемой типовой схеме мотора (см. ниже).
- Отличия упрощенных эпюр с плоскими вершинами импульсов и осциллограмм изменяющейся амплитуде напряжений и токов на вершинах импульсов связаны с наличием взаимоиндукции между обмотками **L1** и **L2** индуктора. А отличия эпюр и осциллограмм токов в момент **t₂** связаны с физическими процессами рассасывания носителей заряда в транзисторе. Мы в дебри этих процессов не полезем, тем более, что на шумы и вибрации вентиляторов они практически не влияют.

◇ Выброс обратного напряжения явление весьма пренеприятное, оно может закончиться пробоем коммутирующего транзистора. Поэтому в реальных схемах предусматриваются определенные меры для ограничения их амплитуды.

Таким образом, важнейшей особенностью процесса размыкания является очень высокая скорость уменьшения тока через обмотку, и, следовательно, магнитного поля, создаваемого индуктором, а в результате и сил взаимодействия между статором и ротором мотора.

◇ Поэтому при каждом таком размыкании, крыльчатка испытывает ощутимый рывок, приводящий к возникновению вибраций в конструктивных элементах вентилятора.

После окончания переходного процесса ток через обмотку **L1** практически прекращается, т.к. сопротивление закрытого транзистора очень и очень велико.

В момент t_2 транзистор **VT1** практически мгновенно открывается, однако согласно законам коммутации ток через обмотку **L1** (ток коллектора) мгновенно не появляется, а довольно медленно возрастает по экспоненциальному закону.

Скорость нарастания определяется постоянной времени $\tau_H = L_1/R_{L1}$ и через время, составляющее около пяти τ_H , ток через обмотку **L1** практически достигает своего максимального значения, которое определяется отношением напряжения питания $U_{пит}$ к сопротивлению обмотки

$$I_{L1} \approx U_{пит} / R_{L1} .$$

Таким образом, важнейшей особенностью процесса замыкания является небольшая относительно процесса размыкания скорость увеличения тока через обмотку.

♦♦ Поэтому рывки крыльчатки при замыканиях слабее, чем при размыканиях.

Вернемся к полной типовой схеме мотора.

Что же еще не рассмотрено?

А вот что. В составе схемы имеются смягчающие конденсаторы **C1** и **C2**, играющие важную роль в ослаблении рывков крыльчатки и предохранении мотора от высокочастотного треска. Добавим их в упрощенную схему.

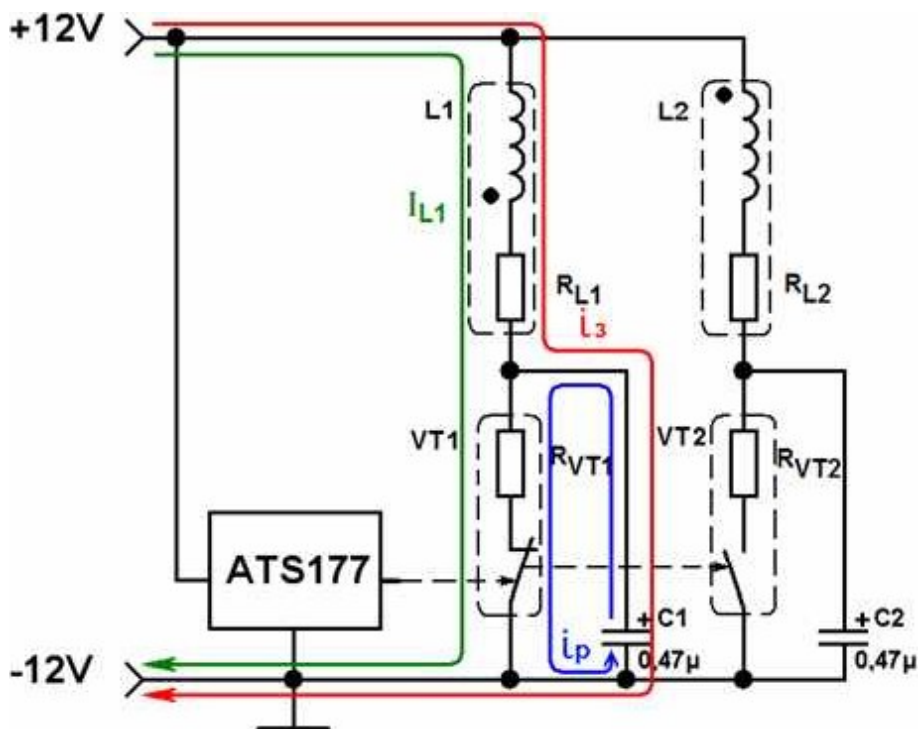


Рис. Б2.11 Упрощенная схема №3

И опять же внесет ли это что-нибудь принципиально новое в работу мотора?

Внесет. И снова очень важное.

Опять же не особо углубляясь в физическую сущность рассмотрим переходные процессы при переключении одного из транзисторов, например, **VT1**.

◇ Действительно теперь в момент t_1 при запираии транзистора **VT1** ток через обмотку **L1** мгновенно не прерывается. Некоторое время через нее протекает плавно убывающий ток заряда конденсатора **C1**.

◇ Скорость этого процесса определяется так называемой постоянной заряда, которая практически равна произведению емкости **C1** на внутреннее сопротивление обмотки **R_{L1}**

$$\tau_3 = C1 * R_{L1}.$$

Через время, составляющее около пяти τ_3 , ток через обмотку **L1** практически прекращается.

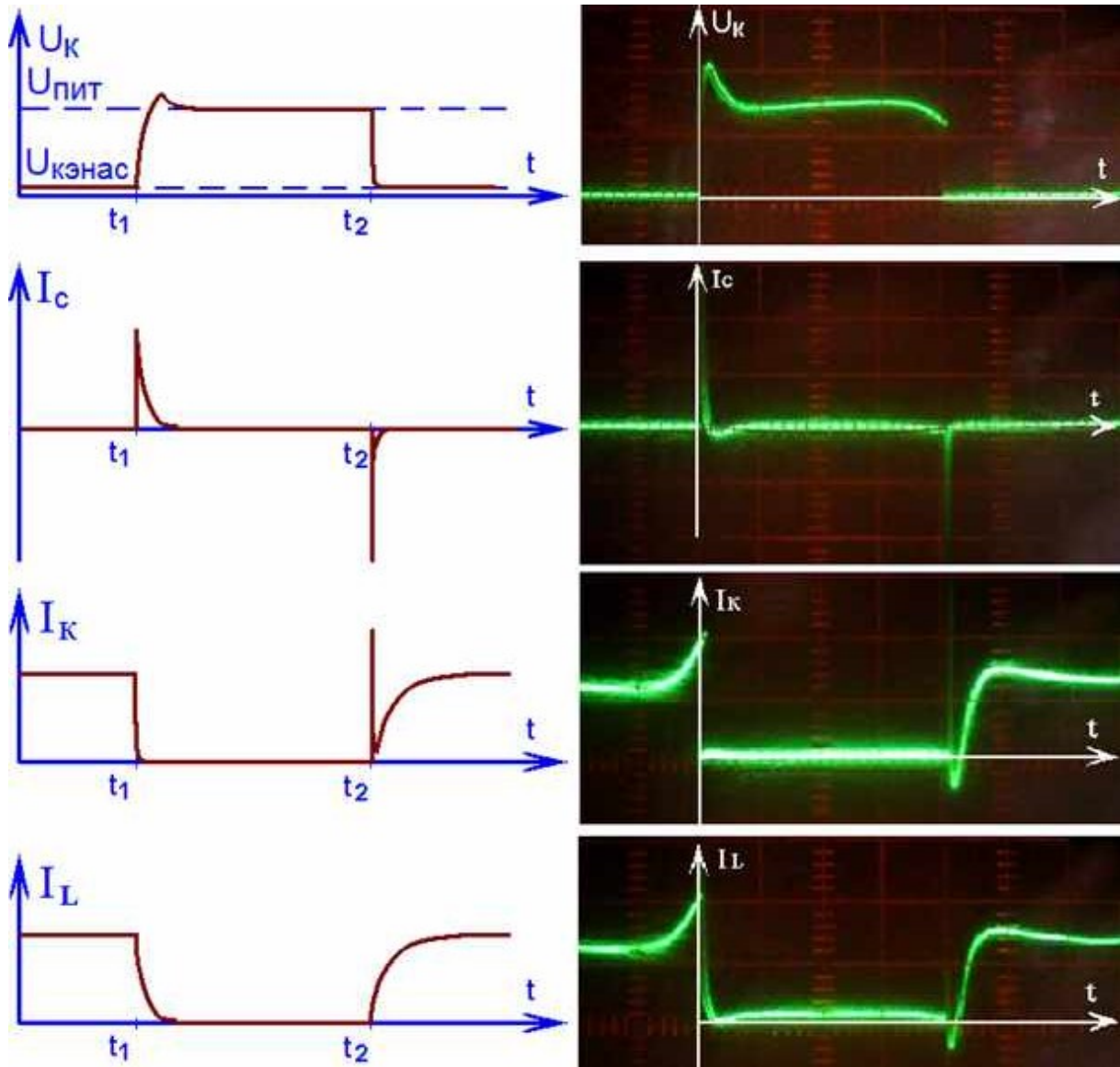


Рис. Б2.12 Упрощенные эпюры (слева) и осциллограммы (справа) напряжений и токов при наличии смягчающих конденсаторов

Примечания.

- Осциллограммы напряжений и токов были сняты в схеме мотора вентилятора **ZALMAN ZM-F3**. Эта схема за мелкими исключениями фактически идентична рассматриваемой типовой схеме мотора (см. ниже).
- Отличия упрощенных эпюр с плоскими вершинами импульсов и осциллограмм изменяющейся амплитуде напряжений и токов на вершинах импульсов связаны с

наличием взаимоиндукции между обмотками **L1** и **L2** индуктора. А отличия эпюр и осциллограмм токов в момент **t₂** связаны с физическими процессами рассасывания носителей заряда в транзисторе. Мы в дебри этих процессов не полезем, тем более, что на шумы и вибрации вентиляторов они практически не влияют.

Ввиду малой скорости изменения тока возникающее в обмотке напряжение самоиндукции, препятствующее уменьшению тока тоже невелико.

Поэтому:

- во-первых, резко уменьшается амплитуда выброса обратного напряжения формирующегося в коллекторной цепи транзистора **VT1**;
- во-вторых, при каждом таком плавном размыкании рывки сил взаимодействия между статором и ротором мотора так же резко уменьшаются, что значительно уменьшает возникающие в конструктивных элементах вентилятора вибрации.

В момент **t₂** при замыкании того же транзистора **VT1** конденсатор **C1** очень быстро разряжается через него.

Скорость этого процесса определяется так называемой постоянной разряда, которая равна произведению емкости **C1** на очень малое внутреннее сопротивление открытого транзистора **R_{VT1}**

$$T_p = C1 * R_{VT1}.$$

Время разряда составляет около пяти **T_p**.

♦♦ В моторах реальных вентиляторов при использовании смягчающих конденсаторов емкостью от десятых долей до единиц микрофард постоянная времени разряда конденсатора **T_p = C1 * R_{VT1}** оказывается значительно меньше постоянной времени нарастания тока **T_H = L1/R_{L1}** через обмотку **L1**.

♦ Поэтому при замыкании транзистора наличие смягчающего конденсатора на плавность изменения сил взаимодействия между статором и ротором мотора практически не влияет.

Поэтому для уменьшения скорости нарастания напряжения на обмотке, а, следовательно, и тока через нее необходимо значительно увеличить постоянную разряда конденсатора **T_p = C1 * R_{VT1}**.

Однако увеличение емкости конденсатора **C1** приводит к увеличению накапливаемой им энергии и, следовательно, мощности рассеиваемой на транзисторе из-за разряда через него конденсатора на величину

$$P = U_{пит}^2 * C1 * f_{вр}.$$

♦ При увеличении емкости до десятков микрофард и более это может приводить к значительному перегреву транзистора и выходу его из строя.

Опять вернемся к полной типовой схеме мотора.

Что же еще не рассмотрено?

А вот что.

1. **VD1** – защитный диод, предохраняющий **VT1** и **VT2** от выхода из строя при переплюсовке питающего напряжения.

2. **R1** и **R2** – резисторы смещения, задающие токи базы, достаточные для полного открывания (перехода в режим насыщения) транзисторов **VT1** и **VT2** соответственно.

Теперь можно приступать к рассмотрению работы по типовой схеме мотора.

Рассмотрим работу начиная с некоторого момента после подачи напряжения питания $U_{пит}$, при таком положении магнита ротора, когда выходной транзистор ИМС **ATS177** закрыт.

Тогда через резистор смещения **R1** протекает ток базы **VT1** по цепи:

+12В → VD1 → R1 → база-эмиттер VT1 → -12В.

Сопротивление **R1** выбирается так, что транзистор **VT1** оказывается открыт и насыщен. Его коллекторный ток протекает через обмотку мотора **L1** по цепи:

+12В → VD1 → L1 → коллектор-эмиттер VT1 → -12В.

Возникающее в обмотке **L1** магнитное поле, начинает поворачивать ротор-магнит вместе с крыльчаткой.

Так как транзистор **VT1** открыт и насыщен, то конденсатор **C1** практически разряжен. Напряжение на нем равно напряжению на коллекторе насыщенного транзистора $U_{кэ\text{ нас}}$, которое обычно не превышает (0,1...0,3)В.

Этого напряжение через **R2** подается на базу **VT2**, но его недостаточно для его открывания транзистора. Транзистор **VT2** закрыт и ток через обмотку **L2** не протекает. Напряжение на транзисторе **VT2** и включенном параллельно ему **C2** практически равно +12В за разницей падения напряжения на защитном диоде **VD1**.

Это состояние длится до тех пор, пока крыльчатка с ротором-магнитом не сделает около четверти оборота. По мере поворота крыльчатки меняется вектор магнитной индукции, создаваемый кольцевым магнитом и в некоторый момент выходной транзистор ИМС **ATS177** скачком открывается, замыкая цепь базы транзистора **VT1** на -12В.

Теперь ток через резистор смещения **R1** начинает протекать по цепи:

+12В → VD1 → R1 → коллектор-эмиттер выходного транзистора ИМС ATS177 → -12В.

VT1 скачком закрывается. Однако ток через обмотку **L1** на этом не прекращается. Он протекает еще некоторое время, необходимое для заряда конденсатора **C1** по цепи:

+12В → VD1 → L1 → C1 → -12В.

По мере заряда конденсатора ток заряда, протекающий через обмотку **L1**, плавно уменьшается и в течение пяти $t_3 = C1 * R_{L1}$, ток через обмотку **L1** практически прекращается.

С плавным уменьшением тока через обмотку **L1** плавно уменьшается формируемое ею магнитное поле. Ввиду малой скорости изменения тока возникающее в обмотке напряжение самоиндукции, препятствующее уменьшению тока тоже невелико.

Кроме того при достижении напряжением на конденсаторе **C1** значения порядка **0,7В** начинает открываться транзистор **VT2**. В цепи базы появляется ток, протекающий по цепи:

+12В → VD1 → L1 → R2 → база-эмиттер VT2 → -12В.

По мере заряда **C1** напряжение на нем и, следовательно, ток базы **VT2** нарастают. Соответственно появляется и растет ток коллектора **VT2** протекающий через обмотку **L2** по цепи:

+12В → VD1 → L2 → коллектор-эмиттер VT2 → -12В.

Скорость нарастания определяется постоянной времени $t_H = L2/R_{L2}$ и через время, составляющее около пяти t_H , ток через обмотку **L2** практически достигает своего

максимального значения, которое определяется отношением напряжения питания $U_{пит}$ к сопротивлению обмотки

$$I_{L2} \approx U_{пит} / R_{L2} .$$

Теперь магнитное поле плавно возникает в обмотке **L2** и продолжает ускорять-поворачивать ротор-магнит вместе с крыльчаткой.

Кроме того конденсатор **C2** очень быстро разряжается через открывающийся транзистор **VT2**.

С окончанием переходных процессов конденсатор **C2** оказывается практически полностью разряженным. Напряжение на нем будет равно напряжению на коллекторе насыщенного транзистора $U_{кэ\ насы}$, которое обычно не превышает (0,1...0,3)В.

Это состояние длится до тех пор, пока крыльчатка с ротором-магнитом не сделает четверть оборота. По мере поворота крыльчатки меняется вектор магнитной индукции, создаваемый кольцевым магнитом и в некоторый момент выходной транзистор ИМС **ATS177** скачком закрывается.

Теперь ток через резистор смещения **R1** опять протекает в цепи базы **VT1** по цепи:

$$+12В \rightarrow VD1 \rightarrow R1 \rightarrow \text{база-эмиттер } VT1 \rightarrow -12В.$$

Транзистор **VT1** резко открывается. В цепи:

$$+12В \rightarrow VD1 \rightarrow L1 \rightarrow \text{коллектор-эмиттер } VT1 \rightarrow -12В$$

возникает и начинает расти коллекторный ток транзистора **VT1**.

Скорость нарастания этого тока определяется постоянной времени $\tau_n = L1/R_{L1}$ и через время, составляющее около пяти τ_n , ток через обмотку **L1** практически достигает своего максимального значения, которое определяется отношением напряжения питания $U_{пит}$ к сопротивлению обмотки

$$I_{L1} \approx U_{пит} / R_{L1} .$$

В обмотке **L1** опять возникает магнитное поле, которое продолжает раскручивать ротор-магнит вместе с крыльчаткой.

Кроме того конденсатор **C1** очень быстро разряжается через открытый транзистор **VT1**.

С окончанием переходных процессов конденсатор **C1** оказывается практически полностью разряженным. Напряжение на нем будет равно напряжению на коллекторе насыщенного транзистора $U_{кэ\ насы}$, которое обычно не превышает (0,1...0,3)В.

Так как напряжение на коллекторе насыщенного транзистора **VT1** уменьшилось до (0,1...0,3)В, то транзистор **VT2** закрывается, а конденсатор **C2** плавно заряжается через **L2**.

Далее физические процессы в схеме повторяются. Крыльчатка набирает обороты до тех пор, пока аэродинамические силы сопротивления не уравновесят ускоряющие силы, создаваемые мотором.

Недостатком рассмотренной схемы является отсутствие тахогенератора, позволяющего контролировать скорость вращения крыльчатки.

Выводы:

1. В бесщеточных моторах для переключения тока в обмотках используется специальная схема управления. *Основа ее – датчик Холла чувствительный к магнитному полю.* Он определяет положение ротора и, следовательно, моменты переключения обмоток.

2. Для коммутации обмоток и формирования различного рода выходных каскадов в схемах управления широко используются транзисторы, включенные по схеме с открытым коллектором. Они исполняют роль электронных ключей, имеющих два состояния: открытое или замкнутое и закрытое или разомкнутое.

3. Работа схемы управления заключается в периодической (через четверть оборота) коммутации обмоток мотора.

4. Чем мощней мотор, тем больший ток он потребляет, тем более толстым проводом наматываются обмотки, тем меньше их сопротивление. Следовательно, *при прочих равных условиях именно потребляемый ток или сопротивление обмоток практически и определяет мощность моторов вентиляторов одного типоразмера и, следовательно, скорость вращения крыльчатки $f_{вр}$.*

5. Наличие обмоток **L1** и **L2** - индуктивных элементов, обладающих способностью накапливать или отдавать энергию магнитного поля, приводит к возникновению переходных процессов при коммутации.

6. В момент размыкания выходного ключа ток через обмотку практически мгновенно прекращается. *Высокая скорость уменьшения тока через обмотку, и, следовательно, уменьшения магнитного поля, создаваемого индуктором, приводит к резкому изменению сил взаимодействия между статором и ротором мотора.*

Поэтому *при каждом таком размыкании, крыльчатка испытывает ощутимый рывок, приводящий к возникновению вибраций в конструктивных элементах вентилятора.*

7. Резкое уменьшение тока через обмотку приводит к возникновению в обмотке напряжения самоиндукции, препятствующее уменьшению тока.

В коллекторной цепи выходного транзистора появляется выброс обратного напряжения. Амплитуда его зависит от скорости уменьшения тока через обмотку и может многократно превышать напряжение питания мотора.

8. *Для уменьшения рывков крыльчатки и исключения пробоя коммутирующих транзисторов скорость уменьшения тока через обмотки ограничивается с помощью сглаживающих конденсаторов.*

При наличии их в момент запирающего транзистора ток через обмотку мгновенно не прерывается. *Некоторое время через нее еще протекает плавно убывающий ток заряда сглаживающего конденсатора. Через время, составляющее около пяти $t_3 = C1 * R_{L1}$, ток через обмотку практически прекращается.*

Поэтому, во-первых, *резко уменьшается амплитуда выброса обратного напряжения формирующегося в коллекторной цепи транзистора VT1, во-вторых, при каждом таком плавном размыкании рывки сил взаимодействия между статором и ротором мотора так же резко уменьшаются, что значительно уменьшает возникающие в конструктивных элементах вентилятора вибрации.*

9. В момент замыкания выходного ключа ток через обмотку мгновенно не появляется, а довольно медленно возрастает по экспоненциальному закону в течение пяти постоянных времени нарастания тока $t_H = L/R_L$.

Таким образом, *при замыкании выходного ключа скорость увеличения тока через обмотку относительно процесса размыкания небольшая.*

Поэтому *рывки крыльчатки при замыканиях слабее, чем при размыканиях.*

10. Сглаживающий конденсатор при замыкании коммутирующего транзистора очень быстро разряжается через него.

Скорость этого процесса определяется так называемой постоянной разряда $\tau_p = C1 * R_{VT}$. А время заряда составляет около пяти τ_p .

11. В моторах реальных вентиляторов при использовании смягчающих конденсаторов емкостью от десятых долей до единиц микрофарад постоянная времени разряда конденсатора $\tau_p = C1 * R_{VT}$ оказывается значительно меньше постоянной времени нарастания тока $\tau_H = L/R_L$ через обмотку.

Поэтому при замыкании транзистора наличие смягчающего конденсатора на плавность изменения сил взаимодействия между статором и ротором мотора практически не влияет.

12. Для уменьшения скорости нарастания напряжения на обмотке, а, следовательно, и тока через нее необходимо значительно увеличить постоянную разряда смягчающего конденсатора $\tau_p = C * R_{VT}$.

Однако увеличение емкости смягчающего конденсатора приводит к увеличению накапливаемой им энергии и, следовательно, мощности рассеиваемой на транзисторе из-за разряда через него конденсатора на величину

$$P = U^2_{пит} * C * f_{вр}.$$

При увеличении емкости до десятков микрофарад и более это может приводить к значительному перегреву транзистора и выходу его из строя.

Поэтому емкость смягчающих конденсаторов обычно не превышает единиц микрофарад и на скорость нарастания напряжения на обмотке практически не влияет.

13. Недостатком рассмотренной схемы является отсутствие тахогенератора, позволяющего контролировать скорость вращения крыльчатки.

Б3 Разновидности схем двухобмоточных моторов

Схемы управления двухобмоточных моторов могут выполняться как на дискретных компонентах, так и на интегральных микросхемах (ИМС).

В документации специализированные ИМС могут называться следующим образом:

- "Complementary Output Hall Effect Sensor" - датчик на эффекте Холла с комплементарными (противофазными) выходами;
- "Complementary Output Hall Effect Latch" – триггер Шмитта с датчиком на эффекте Холла и комплементарными (противофазными) выходами;
- "Two Phase Hall Effect Latch With FG Output" – двухфазный триггер Шмитта с датчиком на эффекте Холла и выходом тахогенератора;
- "2-phase half-wave motor driver" – двухфазный одноктактный привод мотора;
- "2-Phase Unipolar Brushless Motor Drivers" - двухфазный униполярный (одноктактный) бесщёточный (с бесконтактной коммутацией обмоток) привод мотора;
- "One Chip Fan Driver" - привод мотора в одной ИМС;
- "1 CHIP DC FAN MOTOR DRIVER" - привод электродвигателя постоянного тока в одной ИМС;
- "Integrated Hall BLDC Motor Driver ICs" – ИМС привода бесщёточного электродвигателя постоянного тока с интегрированным датчиком на эффекте Холла;
- "Two Coil Fan Driver" – привод двухобмоточного электродвигателя вентилятора;
- "Two-Coil Low Noise Fan Driver" – привод двухобмоточного электродвигателя вентилятора с низким уровнем шума;

- "Hall-Effect Smart Fan Driver" – интеллектуальный привод электродвигателя вентилятора с датчиком на эффекте Холла;
- "HALL-EFFECT SMART FAN MOTOR CONTROLLER" – интеллектуальный контроллер мотора вентилятора с датчиком на эффекте Холла;
- "Low Voltage Hall-Effect Smart Fan Motor Controller" – низковольтный интеллектуальный контроллер мотора вентилятора с датчиком на эффекте Холла;
- "2 PHASE DC MOTOR DRIVE IC" – ИМС двухфазного привода мотора постоянного тока;

Б3.1 Моторы на дискретных элементах

Основу таких моторов составляет рассмотренная выше типовая схема. Отличия главным образом заключаются в наличии тахогенератора.

Поскольку в бесколлекторных двигателях постоянного тока положение ротора, представляющего собой магнит с четырьмя полюсами **N-S-N-S**, определяется датчиком Холла, то:

- во-первых, отдельный датчик для тахометра, в общем-то, и не нужен (можно использовать датчик Холла);
- во-вторых, при прохождении полюсов мимо датчика Холла, он вырабатывает два импульса за один оборот ротора.

♦ Так как датчика Холла вырабатывает два импульса за один оборот ротора, то частота следования импульсов тахометра вдвое больше частоты вращения крыльчатки.

Этот же датчик управляет коммутацией обмоток мотора. На них формируются две противофазных последовательности импульсов с частотой в два раза большей, чем частота вращения ротора.

Поэтому для формирования тахосигнала обычно и используется либо сигнал с датчика Холла, либо сигнал с любой из обмоток или с коллекторов коммутирующих транзисторов.

Так вот схема мотора вентилятора **ZALMAN ZM-F3** фактически представляет собой рассмотренную типовую схему мотора, но с тахогенератором.

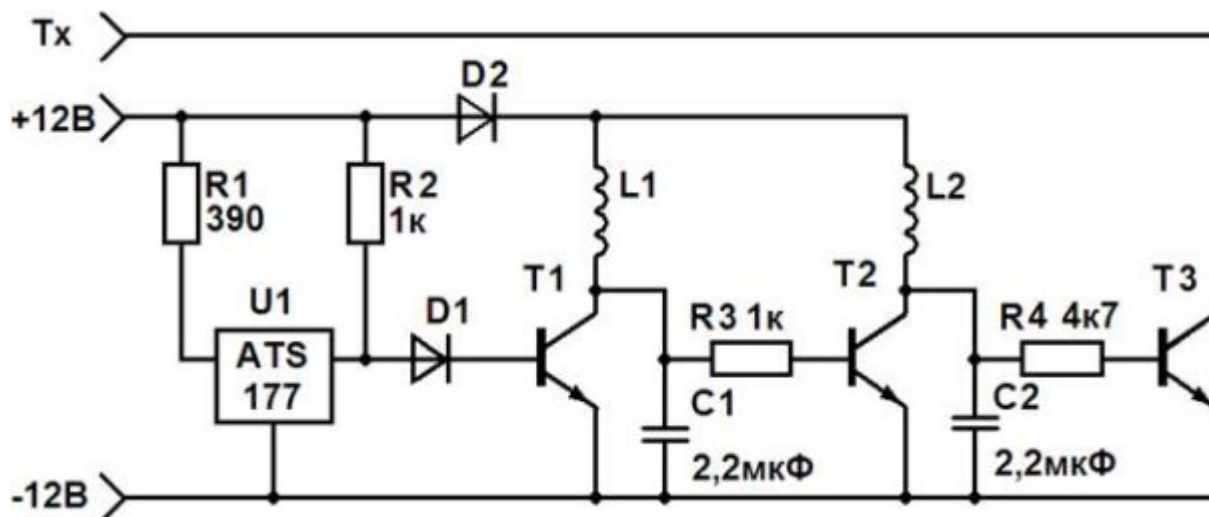


Рис. Б3.1.1 Схема мотора вентилятора ZALMAN ZM-F3

Самое значительное отличие это дополнительный ключ на транзисторе с открытым коллектором **VT3** и резистором смещения **R4**. Он представляет собой тахогенератор и предназначен для выработки тахосигнала. А так как состоянием его управляет

коммутирующий ключ на транзисторе **VT2**, то транзистор **VT3** формирует тахосигнал с частотой в два раза большей, чем частота вращения вентилятора.

Кроме того, появился ограничительный резистор **R1** в цепи питания ИМС **ATS177**, а в цепи базы **VT1** появился свой защитный диод. Да еще для более плавной коммутации емкость сглаживающих конденсаторов **C1** и **C2** увеличена до 2,2 мкФ.



Рис. БЗ.1.2 Конструкция мотора вентилятора ZALMAN ZM-F3

В остальном ни состав схемы, ни работа ее практически не отличается от состава и работы типовой схемы мотора, приведенной в документации на ИМС **ATS177** с датчиком Холла.

Подобные схемы требуют большого количества дискретных элементов. Поэтому гораздо большее распространение получили схемы на ИМС с интегрированными в них коммутирующими ключами.

БЗ.2 Моторы на ИМС ATS276 и ее аналогах

Такие ИМС, как и рассмотренный ранее датчик магнитного поля (датчик Холла), внешне напоминает транзистор, но имеют не три, а четыре вывода.



Рис. БЗ.2.1 ATS276

Они представляют собой по сути ту же ИМС **ATS177** с датчиком Холла, у которой не один, а два выходных (коммутирующих) транзистора с повышенной нагрузочной способностью.

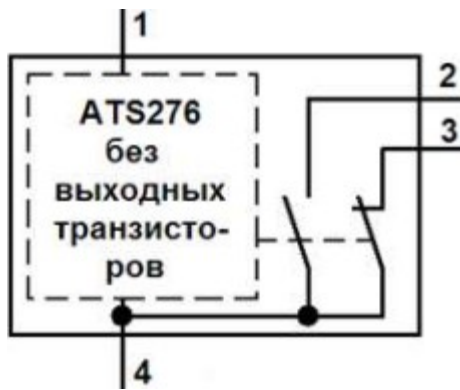


Рис. Б3.2.2 Представление выходных транзисторов ИМС ATS276 в виде ключей

♦ Они работают в противофазе (если один замкнут, то другой разомкнут и наоборот) и способны непосредственно коммутировать обмотки мотора.

Типовая схема мотора, приведенная в документации на ИМС **ATS276**, имеет вид.

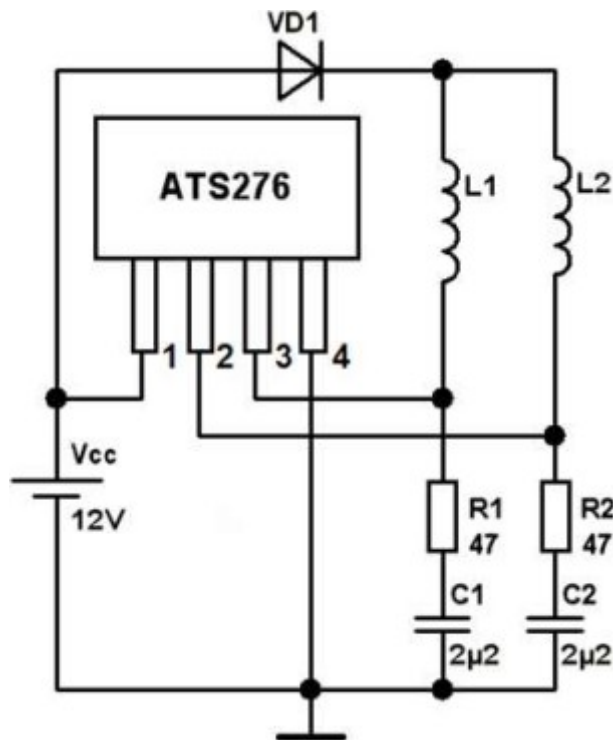


Рис. Б3.2.3 Типовая схема мотора на ATS276

Что же это такое?

Да все то же самое, что и уже рассмотренная типовая схема мотора на **ATS177**. Просто большинство элементов разместилось в ИМС.

Состав схемы и назначение элементов.

Мотор питается от источника напряжения $V_{cc} = 12$ В.

Основой схемы является ИМС **ATS276** с датчиком Холла. Она определяет положение ротора и, следовательно, моменты переключения обмоток. В составе ИМС содержатся два выходных транзистора с повышенной нагрузочной способностью.

L1 и **L2** обмотки мотора.

VD1 – защитный диод, предохраняющий коммутирующие транзисторы ИМС от выхода из строя при переплюсовке питающего напряжения и уменьшающего уровень помех от коммутационных выбросов на обмотках в цепи питания +12 В.

C1R1 и **C2R2** – сглаживающие RC цепи, в некоторой степени “сглаживающие” импульсы напряжения-тока, на катушках индуктора **L1** и **L2**. Это предохраняет мотор от высокочастотного треска. Номинальные значения **R** и **C** определяются параметрами обмоток.

Кроме того резисторы **R1** и **R2** ограничивают ток разряда **C1** и **C2** соответственно чем и предохраняют выходные транзисторы ИМС от выхода из строя при напряжениях питания мотора более 12 вольт.

Работа схемы.

Работа схемы заключается в периодической (через четверть оборота) коммутации обмоток мотора. Происходящие при этом физические процессы в коллекторных цепях коммутирующих транзисторов были уже неоднократно рассмотрены.

Недостатком схем моторов на ИМС **ATS276** является отсутствие встроенного тахогенератора, позволяющего контролировать скорость вращения крыльчатки.

Поэтому тахометр делают на дискретных элементах, например, как в моторе вентилятора **Thermaltake TT-1225 A1225M12S**.

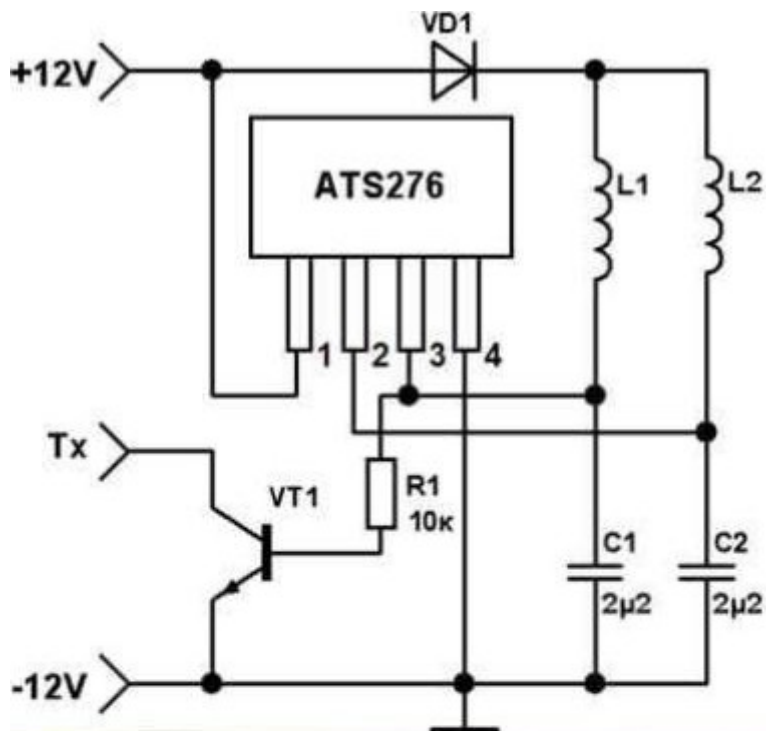


Рис. Б3.2.4 Мотор вентилятора Thermaltake ТТ-1225 А1225М12S

В некоторых других моторах защитный диод отсутствует. Иногда для более надежного запирающего транзистора тахометра между базой и эмиттером его впаивают резистор сопротивлением (4,7...10) кОм.

Часто встречаются схемы и без защитного диода.

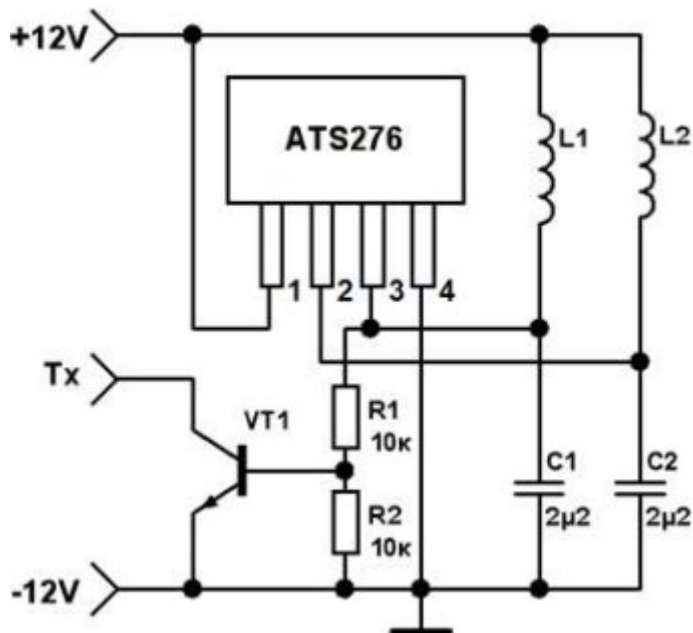


Рис. Б3.2.5 Часто встречающаяся схема моторов на ИМС **ATS276**

По аналогичным схемам строятся моторы на ИМС **APX9140**, **APX9141**, **ATS236**, **ATS277**, **S76A**, **UTC H654** и т.д.

◇ Кстати в документации на ИМС **S76A** есть интересное примечание.

- При сопротивлении обмоток не менее 40 Ом для 12 вольтовых вентиляторов или не менее 20 Ом для 5 вольтовых вентиляторов защитный диод может отсутствовать.
- При наличии защитного диода сопротивление обмоток должно быть не менее 20 Ом для 12 вольтовых вентиляторов или не менее 10 Ом для 5 вольтовых вентиляторов.

Б3.3 Моторы на ИМС **ATS278**

Типовая схема мотора, приведенная в документации на ИМС **ATS278**, имеет вид.

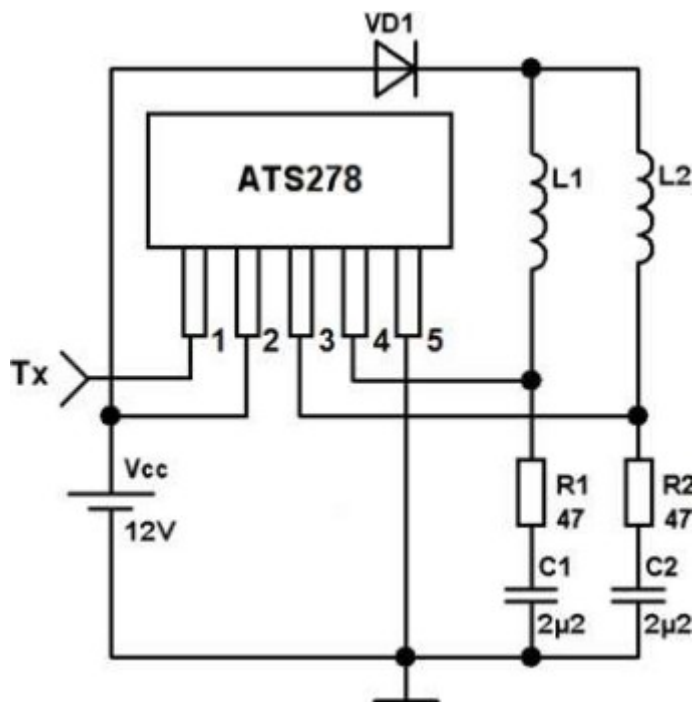


Рис. Б3.3.1 Типовая схема мотора на ATS278

Такие ИМС в отличие от рассмотренных ранее ИМС **ATS276** и ее аналогов имеют не четыре, а пять выводов, и содержат встроенный тахометр. На этом все отличия и заканчиваются.

На ИМС **ATS278** собран довольно трескучий мотор вентилятора **Cooler Master SAF-B83-E1-GP**. Правда без элементов смягчающих импульсы напряжения, подаваемые на катушки индуктора **L1** и **L2** и предохраняющие мотор от высокочастотного треска.

Б3.4 Моторы на ИМС ES211

Эта ИМС тоже имеет тахометр, но в отличие от **ATS276** выводов у нее четыре.

Типовая схема мотора, приведенная в документации на ИМС **ES211**, имеет вид.

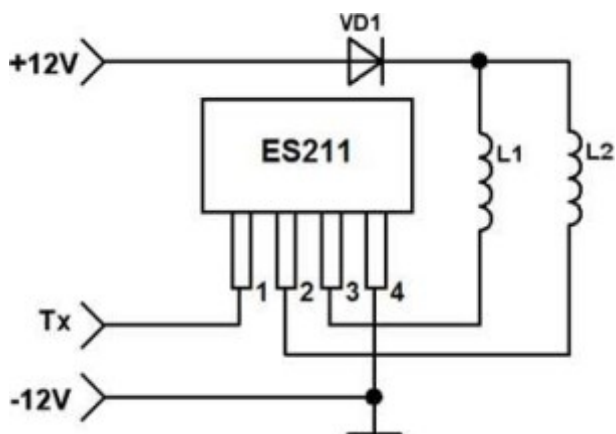


Рис. Б3.4.1 Типовая схема мотора на ES211

Как видно из схемы у **ES211** нет вывода непосредственно соединенного с плюсом источника напряжения. Питание ИМС осуществляется через обмотки мотора. В остальном ИМС не отличается от рассмотренных ранее ИМС.

♦ В типовой схеме мотора, приведенной в документации на ИМС **ES211**, отсутствуют элементы, смягчающие коммутацию и предохраняющие мотор от высокочастотного треска.

Нередко, наверное, из экономии из схемы исключается защитный диод.

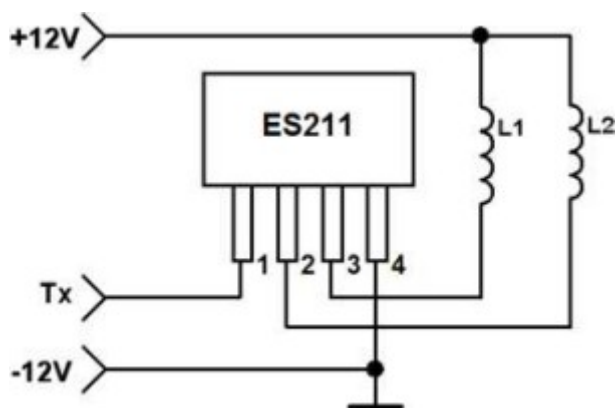


Рис. Б3.4.2 Схема мотора на ES211 без защитного диода

И именно по такой схеме собран трескучий мотор вентилятора **SilentBlade GT12025-SDLA1**.



Рис. Б3.4.3 Мотор вентилятора SilentBlade GT12025-SDLA1

Иногда моторы на ИМС **ES211** собираются со смягчающими конденсаторами. Например, мотор вентилятора **Titan TFD-12025M12B** или **JACKYTECH JT12025L12SA**.

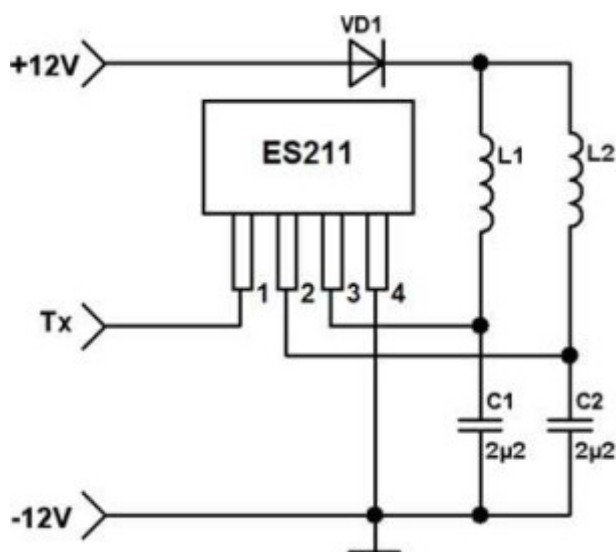


Рис. Б3.4.4 Мотор вентилятора Titan TFD-12025M12B

Такие моторы обычно трещат поменьше, чем моторы без смягчающих элементов.

Б3.5 Двухобмоточные моторы на ИМС с отдельными датчиками Холла

В таких моторах, как правило, используются датчики Холла с четырьмя выводами. У них два выхода, на которых формируются противофазные сигналы. Эти сигналы носят импульсный характер, т.е. изменяются скачком при некоторых пороговых уровнях напряженности магнитного поля. Для усиления этих сигналов, формирования тахосигнала и коммутации обмоток мотора служат специализированные ИМС. Обычно такие ИМС обладают повышенной мощностью и имеют встроенную систему защиты как от перегрузки при принудительной остановке крыльчатки, так и от перегрева.

Например, типовая схема мотора на **LB1668M**, имеющей два выходных каскада с открытым коллектором, приведенная в документации на ИМС, имеет вид.

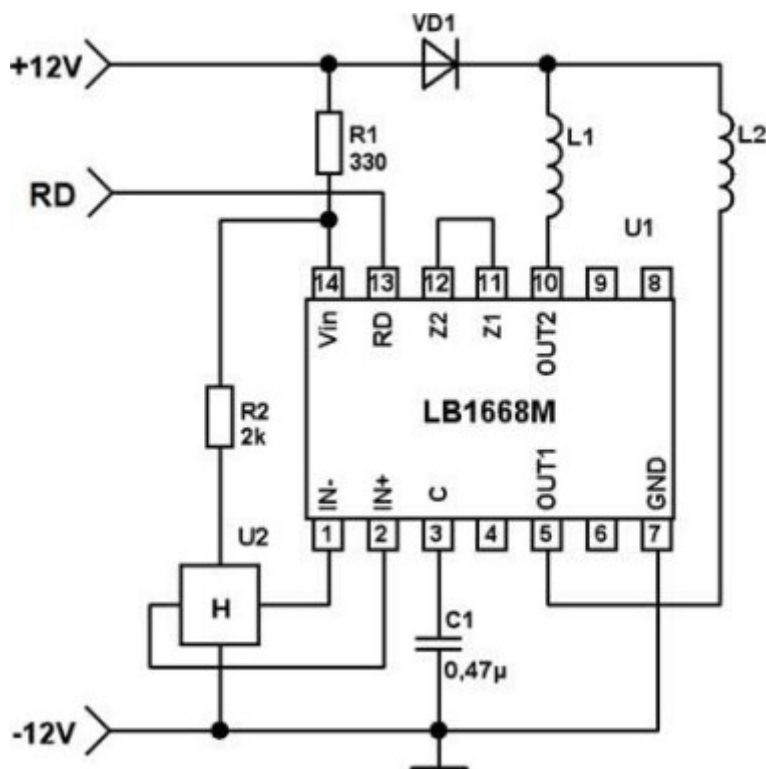


Рис. Б3.5.1 Типовая схема мотора на ИМС LB1668M

Состав схемы и назначение элементов.

Мотор питается от источника напряжения 12 В.

U1 – основа схемы управления мотором ИМС **LB1668M**.

U2 - датчик Холла. Он определяет положение ротора и, следовательно, моменты переключения обмоток.

Высокую эксплуатационную надежность мотору на ИМС **LB1668M** обеспечивают сразу несколько встроенных систем защиты:

- от замыкания обмоток мотора и перегрева;
- от перегрузки при принудительной остановке крыльчатки (номинал конденсатора **C1** определяет время задержки срабатывания этой защиты);
- от пробоя выбросами обратного напряжения на катушках мотора выходных транзисторов при их запираии (коммутация выводов **Z1** и **Z2** определяет напряжение выброса, при котором срабатывает защита).

L1 и **L2** - обмотки мотора.

VD1 – защитный диод, предохраняющий ИМС **LB1668M** от выхода из строя при переполюсовке питающего напряжения.

R1 и **R2** – резисторы, задающие режимы работы по напряжению питания ИМС **U1** и **U2** соответственно при различном напряжении питания мотора.

На выводе **RD** формируется сигнал контроля вращения крыльчатки. К выводу **RD** подключен транзистор с открытым коллектором. Этот транзистор замкнут, пока крыльчатка вентилятора вращается, и размыкается при принудительной остановке ее.

Сразу следует обратить внимание на отсутствие элементов, смягчающих коммутацию и предохраняющих мотор от высокочастотного треска.

Работа схемы.

Работа схемы заключается в периодической (через четверть оборота) коммутации обмоток мотора. Происходящие при этом физические процессы в выходных цепях ИМС были уже неоднократно рассмотрены.

Тахометры моторов, собранных на ИМС **LB1668M** выполняют на дискретных элементах как уже рассмотрено выше.

По такой схеме собран, например, мотор вентилятора **Cooler Master SAF-S84-E1-GP**. Естественно, что отсутствие элементов, смягчающих коммутацию приводит к вполне ощутимому треску мотора.

Типовая схема мотора, приведенная в документации на ИМС на **LB1667M**, имеет два выходных каскада с открытым коллектором и встроенный тахогенератор.

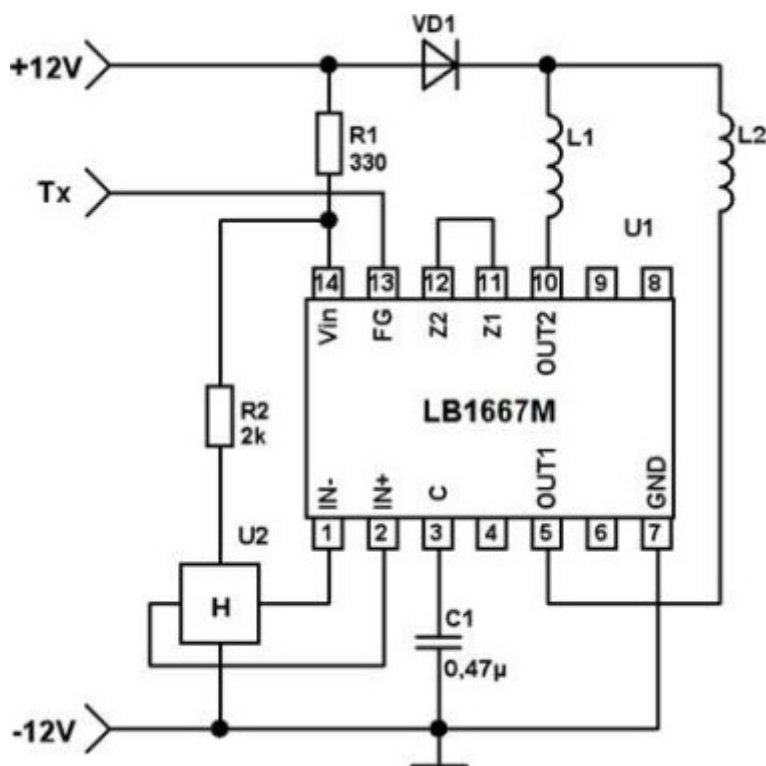


Рис. Б3.5.2 Типовая схема мотора на ИМС LB1667M

Она отличается от предыдущей схемы только тем, что вместо вывода контроля вращения крыльчатки имеется вывод сигнала тахогенератора **FG**. Как обычно к выводу **FG** подключен транзистор с открытым коллектором.

По аналогичным схемам строятся моторы на ИМС **BA6407AF**, **BA6811F**, **BA6813F**, **LB1663**, **LB1663M**, **LB1666**, **LB1667**, **LB1668**, **LB1868**, **TA8420**, **TA8421AF** и т.д. Они могут отличаться наличием или отсутствием некоторых встроенных систем защиты или интегрированного тахометра и т.д., но всем им присуще общее построение схемы:

Датчик Холла → ИМС → обмотки мотора.

Б.4 Разновидности схем однообмоточных моторов

В однообмоточных моторах магнитное поле в индукторе изменяется при изменении полярности напряжения на одной и той же обмотке. Для этого концы единственной обмотки противофазно коммутируются (подключаются) то к плюсу, то к минусу источника питания.

Например, если начало обмотки подключается к плюсу источника питания, то конец обмотки подключается к минусу источника питания и наоборот.

♦ Естественно по сравнению с двухобмоточными схемами такая коммутация сложнее, поэтому однообмоточные моторы получили меньшее распространение из-за более сложной реализации схем коммутации обмоток индуктора. По этой же причине такие моторы встречаются практически исключительно на основе специализированных ИМС.

В документации они могут называться следующим образом:

- "Single-phase full-wave motor driver" – однофазный двухтактный привод мотора;
- "Single-Phase Full-Wave Fan Motor Driver" – однофазный двухтактный привод вентиляторных моторов;
- "Single Phase Hall Effect Latch" - однофазный триггер Шмитта с датчиком на эффекте Холл;
- "Single-Phase Full-Wave Motor Driver for Fan Motor" - однофазный двухтактный привод моторов для вентиляторов.

Обычно в состав всех таких ИМС входят стабилизатор питающего напряжения, датчик Холла, усилитель сигнала с датчика Холла, пороговая схема мгновенно, скачком меняющая состояние при плавном изменении сигнала с датчика Холла и два выходных усилителя.

Некоторые ИМС имеют встроенные тахогенераторы, а так же различные системы защиты (от коротких замыканий в нагрузке и/или от перегрузки при принудительной остановке крыльчатки и/или от перегрева).

И если в двухобмоточных моторах для коммутации обмоток используется только два транзистора с открытым коллектором, то в однообмоточных моторах для коммутации всего одной обмотки требуется минимум **четыре** транзистора.

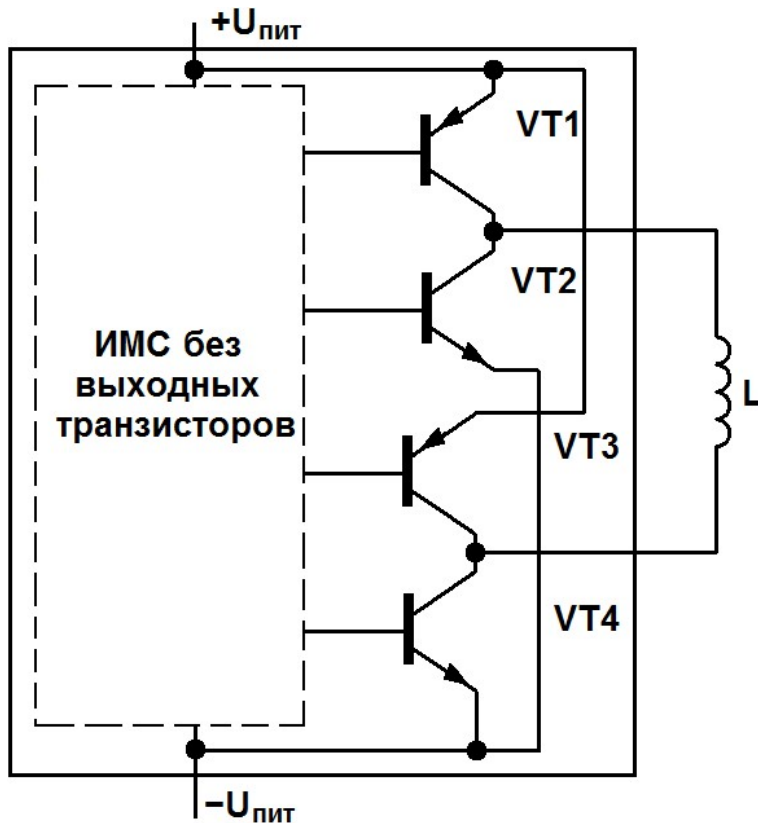


Рис. Б4.1 Типовые выходные цепи ИМС для однообмоточных моторов

Выходные транзисторы играют роль ключей-переключателей, состояние которых, в конечном счете, управляется магнитным полем. Обычно такие выходные транзисторы в отличие от всех остальных элементов микросхем обладают повышенной нагрузочной способностью и могут коммутировать довольно большие токи во внешней цепи.

Упрощенно ИМС для схем управления однообмоточными моторами можно представить как два переключателя управляемых магнитным полем.

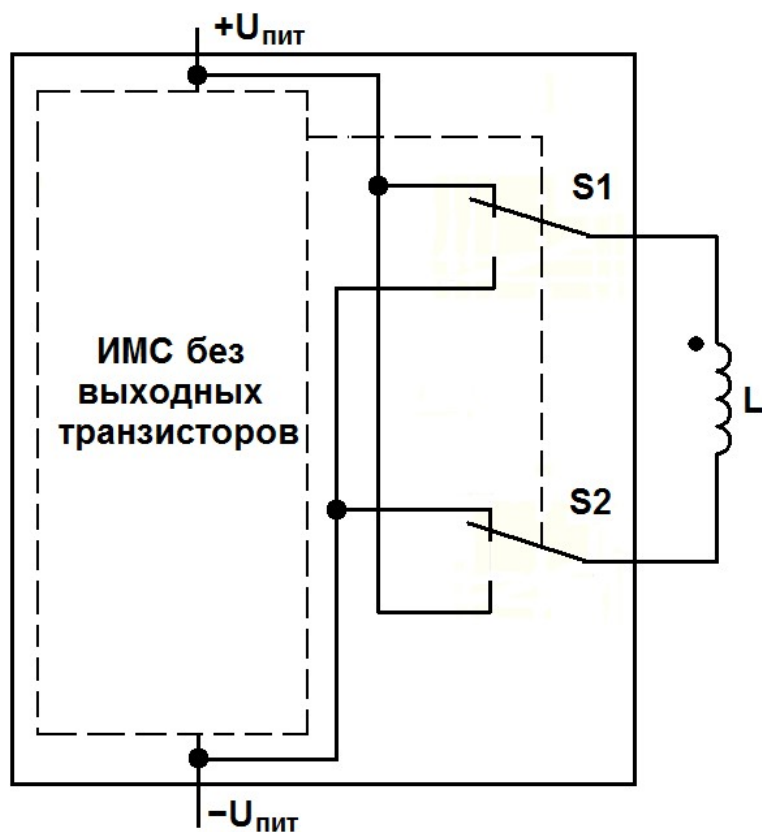


Рис. Б4.2 Упрощенное представление ИМС для однообмоточных моторов с выходными цепями в виде ключей

Положение ротора определяется датчиком Холла входящего в состав микросхемы, которая в нужные моменты и производит переключение состояний переключателей.

Работа схемы.

Как уже рассмотрено выше до подачи питающего напряжения на вентилятор ротор может занимать одно из четырех устойчивых состояний.

Так вот положение ИМС и, следовательно, датчика Холла выбрано между полюсами индуктора, поэтому в этих последовательных четырех устойчивых состояниях по включении питания выходные транзисторы могут оказаться соответственно в четырех последовательных состояниях, например, когда начало обмотки соответственно будет подключено к плюсу → минусу → плюсу → минусу источника питания.

Предположим к плюсу. И с этого начнем рассматривать работу по упрощенной схеме №1.

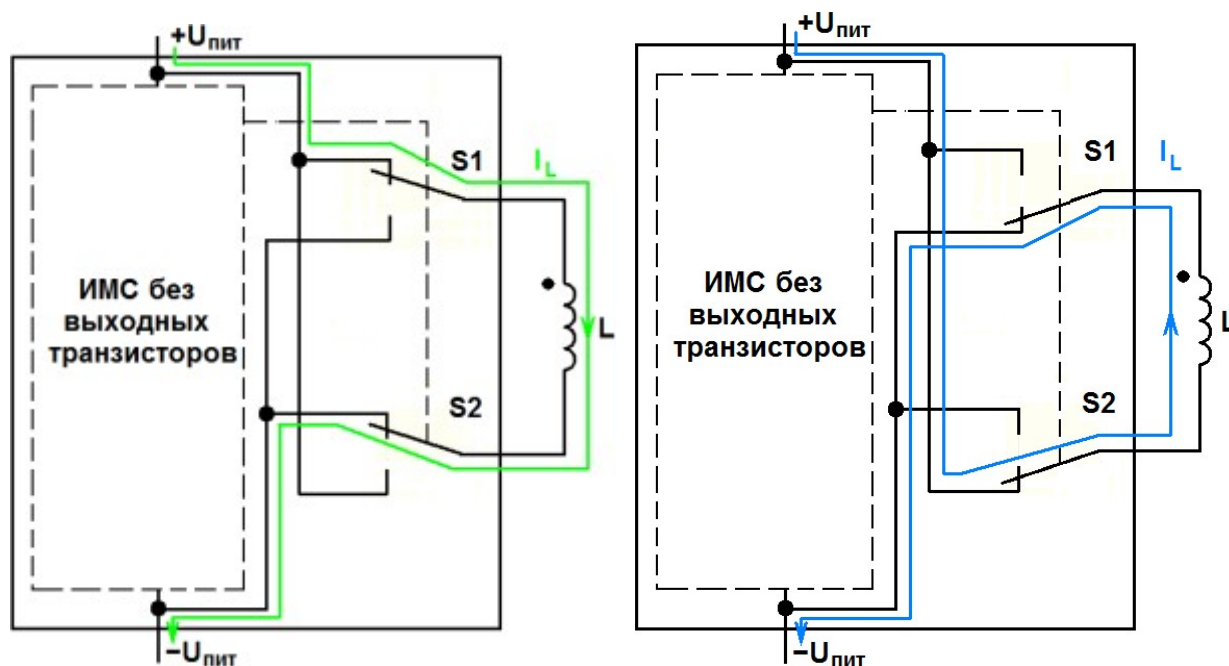


Рис. Б4.3 Токи в упрощенной схеме №1

Итак, если начало обмотки подключено к плюсу источника питания, то через нее по цепи:

+U_{пит} → ключ S1 → L → ключ S2 → -U_{пит}

начинает протекать ток I_L . В обмотке L возникает магнитное поле, которое начинает поворачивать-ускорять ротор-магнит вместе с крыльчаткой.

Это состояние длится до тех пор, пока крыльчатка с ротором-магнитом не сделает около четверти оборота.

По мере поворота крыльчатки меняется вектор магнитной индукции, создаваемый кольцевым магнитом и в некоторый момент состояние выходных транзисторов ИМС скачком меняется на противоположное. В результате начало обмотки будет подключено к минусу источника питания. Соответственно направление тока через обмотку I_L так же меняется на противоположное. Теперь ток через нее протекает в обратном направлении по цепи:

+U_{пит} → ключ S2 → L → ключ S1 → -U_{пит}

Направление магнитного поля в обмотке $L_{обм}$ так же меняется на противоположное. Ротор-магнит вместе с крыльчаткой и продолжают ускоряться.

Так длится еще четверть оборота. Происходит очередное переключение обмотки. Далее физические процессы в схеме повторяются.

Теперь, как делали и ранее, в упрощенную схему добавим внутренние сопротивления обмотки L и транзисторов-ключей. Эти сопротивления соответственно будут включены последовательно с обмоткой и транзисторами.

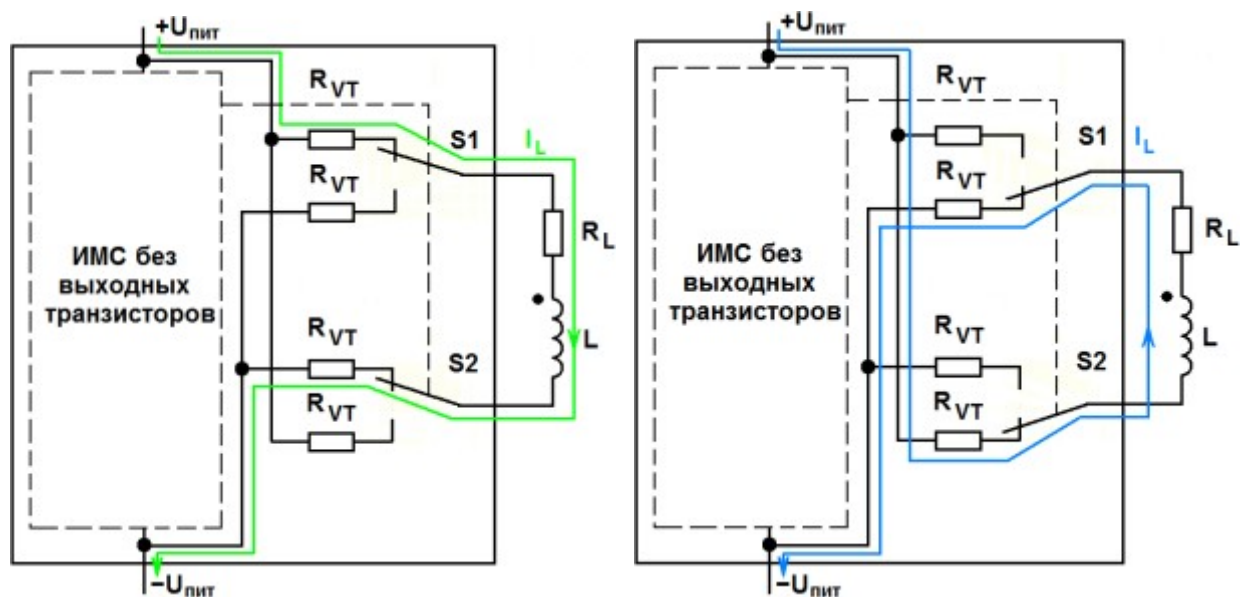


Рис. Б4.4 Упрощенная схема №2

Кроме того, наличие обмоток L - индуктивного элемента приводит к возникновению переходных процессов при коммутации.

Тогда необходимо учесть следующее.

1. Поскольку максимальный ток через обмотку I_L определяется отношением напряжения питания $U_{пит}$ к суммарному сопротивлению обмотки R_L и двух последовательно включенных открытых транзисторов $2 \cdot R_{VT}$

$$I_L = U_{пит} / (R_L + 2 \cdot R_{VT}),$$

а сопротивление обмотки мотора R_L в десятки и сотни раз превышает сопротивление открытого транзистора R_{VT} , то

$$I_L \approx U_{пит} / R_L.$$

Это и ограничивает значение создаваемого обмоткой магнитного поля, сил взаимодействия между статором и ротором, да и мощность мотора тоже.

А мощность мотора определяет скорость вращения крыльчатки $f_{вр}$.

2. Наличие обмотки L - индуктивного элемента, обладающих способностью накапливать, а потом и отдавать энергию магнитного поля, приводит к возникновению переходных процессов при коммутации. Не особо углубляясь в физическую сущность этих процессов, рассмотрим, что они внесут в работу мотора.

♦ В моменты переключения, определяемые датчиком Холла, выходные транзисторы ИМС практически мгновенно изменяют состояние, однако согласно законам коммутации ток через обмотку L мгновенно изменяться не может. Изменение происходит довольно медленно по экспоненциальному закону с постоянной времени $\tau_H = L/R_L$.

При этом происходит уменьшение тока от своего исходного значения $I_L \approx + U_{пит} / R_L$ до нуля, потом меняется его полярность и ток растет до нового установившегося значения $I_L \approx - U_{пит} / R_L$. На это требуется время, составляющее около пяти τ_H .

Через четверть оборота выходные транзисторы ИМС опять практически мгновенно изменяют состояние. Снова происходит изменение тока по экспоненциальному закону с постоянной времени $\tau_H = L/R_L$.

Теперь происходит уменьшение тока от своего нового исходного значения $I_L \approx -U_{пит} / R_L$ до нуля, потом меняется его полярность и ток растет до своего установившегося значения $I_L \approx +U_{пит} / R_L$. На это опять требуется время, составляющее около пяти T_H .

Поэтому при замыканиях, крыльчатка испытывает более слабые рывки, чем при размыканиях.

Выводы:

1. В однообмоточных моторах магнитное поле в индукторе изменяется при изменении полярности напряжения на одной и той же обмотке.

2. В однообмоточных моторах для коммутации всего одной обмотки требуется минимум **четыре** транзистора.

3. Работа схемы управления заключается в периодическом (через четверть оборота) изменении полярности напряжения на единственной обмотке мотора.

4. В моменты переключения, определяемые датчиком Холла, выходные транзисторы ИМС практически мгновенно изменяют состояние, однако согласно законам коммутации ток через обмотку L мгновенно изменяться не может. Изменение происходит довольно медленно по экспоненциальному закону с постоянной времени $T_H = L/R_L$.

При этом происходит уменьшение тока от одного своего установившегося значения до нуля, потом меняется его полярность и ток растет до нового установившегося значения. На это требуется время, составляющее около пяти T_H .

В результате при переключениях крыльчатка не испытывает таких резких рывков, как при размыкании ключей в двухобмоточных моторах.

5. При отсутствии мер дополнительно уменьшающих скорость изменения тока через обмотку такие моторы склонны к треску.

Ну, а теперь пора вернуться к реальным схемам однообмоточных моторов.

Б.4.1 Моторы на ИМС ATS477 и ее аналогах

Моторы на ИМС ATS477 представляют собой, по сути, типовые схемы однообмоточных моторов. ИМС ATS477 выпускается в двух корпусах. ИМС в корпусе SIP-4L имеет 4 вывода. В ней отсутствует вывод тахогенератора. ИМС в корпусе SOP 7 имеет 7 выводов. В ней присутствует вывод тахогенератора.

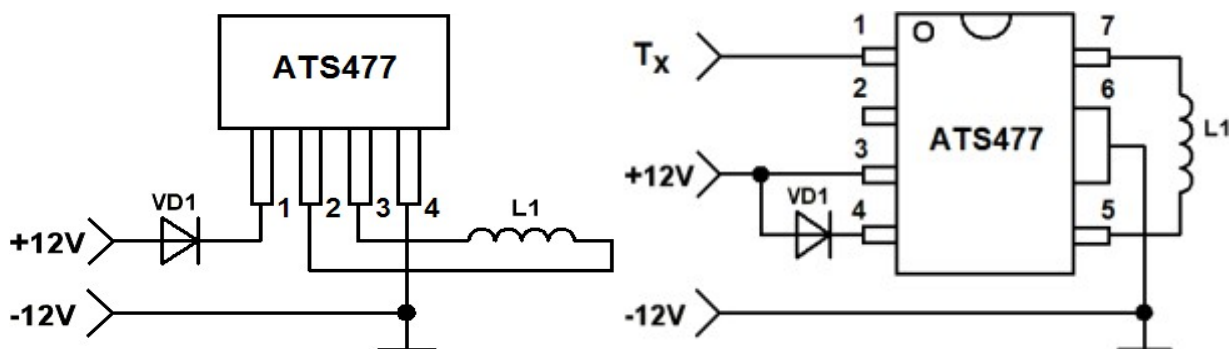


Рис. Б4.1.1 Типовые схемы моторов на ИМС ATS477

Состав схемы и назначение элементов.

Мотор питается от источника напряжения $V_{cc} = 12$ В.

Основой схемы является ИМС **ATS477** с датчиком Холла. Она определяет положение ротора и, следовательно, моменты переключения обмотки. В составе ИМС содержатся два двухтактных выходных ключа-переключателя с повышенной нагрузочной способностью.

L1 обмотка мотора.

VD1 – защитный диод, предохраняющий ИМС от выхода из строя при переплюсовке питающего напряжения.

Работа схемы.

Работа схемы заключается в периодическом (через четверть оборота) изменении полярности на обмотке мотора. Происходящие при этом физические процессы в выходных цепях ИМС были уже рассмотрены выше.

Недостатком схем моторов на ИМС **ATS477** в корпусе с 4 выводами является отсутствие встроенного тахогенератора, позволяющего контролировать скорость вращения крыльчатки.

Поэтому тахометр делают на дискретных элементах, например, как в моторах вентиляторов **GlacialTech SilentBlade GT1225EBDL-1** и **GT12252BDL-1**.

Эти довольно трескучие моторы собраны на ИМС **FS319** являющейся функциональным аналогом ИМС **ATS477** в корпусе с 4 выводами.

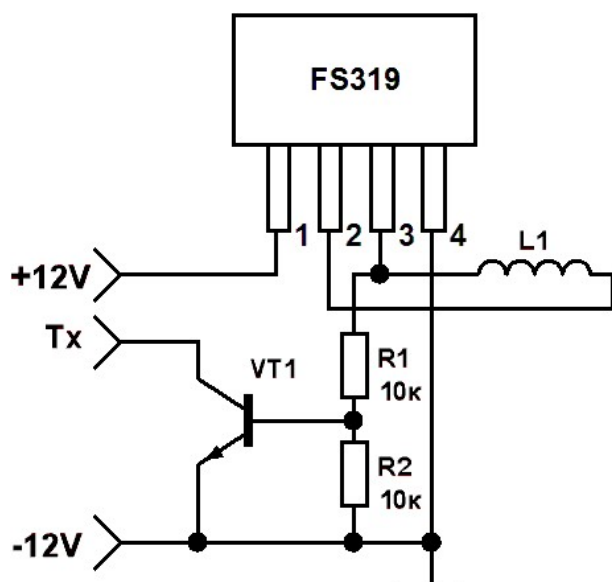


Рис. Б4.1.2 Схема мотора вентиляторов **SilentBlade GT1225EBDL-1** и **GT12252BDL-1**

Тахогенератор собран на дискретных компонентах.



Рис. Б4.1.3 Мотор вентиляторов **SilentBlade GT1225EBDL-1** и **GT12252BDL-1**

По аналогичным схемам строятся моторы на ИМС **АН477**, **АН480**, **US72**, **US73** и т.д.

Б.4.2 Однообмоточные моторы на ИМС с отдельными датчиками Холла

В таких моторах, как правило, используются датчики Холла с четырьмя выводами. У них два выхода, на которых формируются противофазные сигналы. Эти сигналы носят импульсный характер, т.е. изменяются скачком при некоторых пороговых уровнях напряженности магнитного поля. Для усиления этих сигналов, формирования тахосигнала и коммутации обмотки мотора служат специализированные ИМС. Обычно такие ИМС обладают повышенной мощностью и имеют встроенную систему защиты как от перегрузки при принудительной остановке крыльчатки, так и от перегрева.

Например, приведенная в документации типовая схема мотора на ИМС **BA6427F**, имеющей два двухтактных выходных каскада, имеет вид.

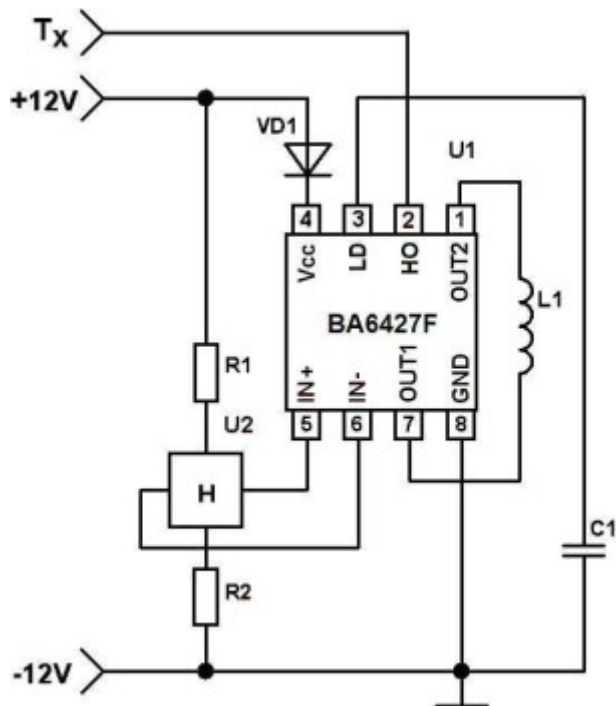


Рис. Б4.2.1 Мотор на ИМС BA6427F

Состав схемы и назначение элементов.

Мотор питается от источника напряжения 12 В.

U1 – основа схемы управления мотором ИМС **BA6427F**.

U2 - датчик Холла. Он определяет положение ротора и, следовательно, моменты коммутации обмотки.

Высокую эксплуатационную надежность мотору на ИМС **BA6427F** обеспечивают сразу несколько встроенных систем защиты:

- от перегрева;
- от перегрузки при принудительной остановке крыльчатки (номинал конденсатора **C1** определяет время задержки срабатывания этой защиты);
- имеется схема автоматического запуска при устранении блокировки мотора.

L - обмотка мотора.

VD1 – защитный диод, предохраняющий ИМС **BA6427F** от выхода из строя при реперолюсовке питающего напряжения.

R1 и **R2** – резисторы, задающие режимы работы по напряжению питания датчика Холла при различном напряжении питания мотора.

На выводе **HO** формируется сигнал тахогенератора. Как обычно к выводу **HO** подключен транзистор с открытым коллектором.

Работа схемы.

Работа схемы заключается в периодической (через четверть оборота) коммутации обмотки мотора. Происходящие при этом физические процессы в выходных цепях ИМС были уже рассмотрены.

По аналогичным схемам строятся моторы на ИМС **BA6427F**, **BA6908F** и т.д. Они могут отличаться наличием или отсутствием некоторых встроенных систем защиты или интегрированного тахометра и т.д., но всем им присуще общее построение схемы:

Датчик Холла → ИМС → обмотка мотора.

Б.5 Схемы моторов с пониженным уровнем шумов и вибраций

Схемы моторов с пониженным уровнем шумов и вибраций могут строиться как двухобмоточные, так и однообмоточные, как на одной специализированной ИМС, так и с отдельным датчиком Холла, но все они имеют общую особенность – наличие режима работы с "мягкой коммутацией".

♦ Сущность "мягкой коммутации" заключается в замедлении процесса коммутации обмоток мотора или плавном изменении напряжения на обмотках мотора при их коммутации. Это соответственно приводит к плавному изменению тока через обмотки, и, следовательно, плавному изменению сил взаимодействия между статором и ротором мотора. Поэтому в процессе коммутации, крыльчатка не испытывает резких рывков и амплитуда вибраций в конструктивных элементах вентилятора оказывается небольшой.

В документации они могут называться следующим образом:

"Two-Coil Low Noise Fan Driver" - привод двухобмоточных вентиляторов с низким уровнем шума;

"Two-Coil Low Noise Fan Driver High Output Current" - привод двухобмоточных вентиляторов с низким уровнем шума и большим выходным током (с повышенной нагрузочной способностью).

"Low Noise & Low voltage Single-Coil Fan/Motor Driver" – низковольтный привод однообмоточных моторов/вентиляторов с низким уровнем шума;

Б.5.1 Двухобмоточные моторы

Типовая схема мотора, приведенная в документации на ИМС **US65**, имеет вид.

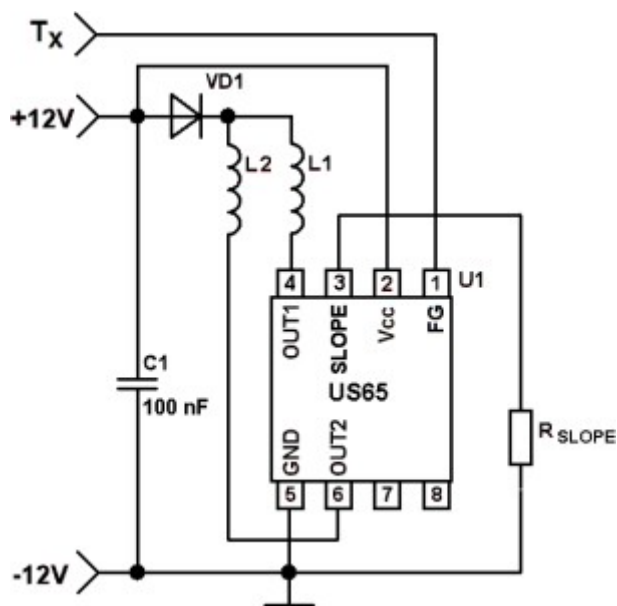


Рис. Б5.1.1 Мотор на ИМС US65

Состав схемы и назначение элементов.

Мотор питается от источника напряжения $V_{cc} = 12\text{ В}$.

Основой схемы является ИМС **US65** с датчиком Холла. Она определяет положение ротора и, следовательно, моменты переключения обмоток. В составе ИМС содержатся два двухтактных выходных ключа-переключателя с повышенной нагрузочной способностью.

L1 и **L2** обмотки мотора.

VD1 – защитный диод, предохраняющий ИМС от выхода из строя при переплюсовке питающего напряжения.

C1 – блокировочный конденсатор емкостью 100 нФ, предназначенный для исключения наводок по цепи питания.

R_{SLOPE} – резистор, задающий длительность фронта и среза напряжения на выходах **OUT1** и **OUT2** (длительность процесса коммутации).

Работа схемы.

Работа схемы заключается в периодической (через четверть оборота) коммутации обмоток мотора. Происходящие при этом физические процессы в выходных цепях коммутирующих транзисторов были уже неоднократно рассмотрены, поэтому подробно останавливаться на них не будем.

А вот на сущности “мягкой коммутации” и влиянии ее на шумовые свойства мотора следует заострить внимание.

Для создания малозумящих моторов в ИМС **US65** имеется эффективное решение в виде встроенной схемы управления длительностью фронта и среза напряжения на выходах **OUT1** и **OUT2** (длительностью процесса коммутации).

♦ В двухобмоточных моторах вентиляторов основной причиной возникновения вибраций в конструктивных элементах вентилятора – рывки крыльчатки в моменты коммутации обмоток. Особенно при размыкании выходных ключей, поскольку важнейшей особенностью процесса размыкания является *очень высокая скорость уменьшения тока через обмотку, и,*

следовательно, магнитного поля, создаваемого индуктором, а в результате и сил взаимодействия между статором и ротором мотора.

В момент размыкания в обмотке возникает напряжение самоиндукции, препятствующее уменьшению тока, а в выходной цепи появляется выброс обратного напряжения. По мере рассеивания энергии накопленной в обмотке выброс быстро уменьшается, и выходное напряжение стремится к значению, равному сумме напряжения питания вентилятора и напряжения ЭДС в обмотке возникающего при изменении вектора магнитной индукции за счет вращения кольцевого магнита.

На рисунке приведено выходное напряжение для ИМС **US65** с традиционной, так называемой "жесткой коммутацией" как и у рассмотренных выше ИМС, например, как **ATS276** и ее аналогов.

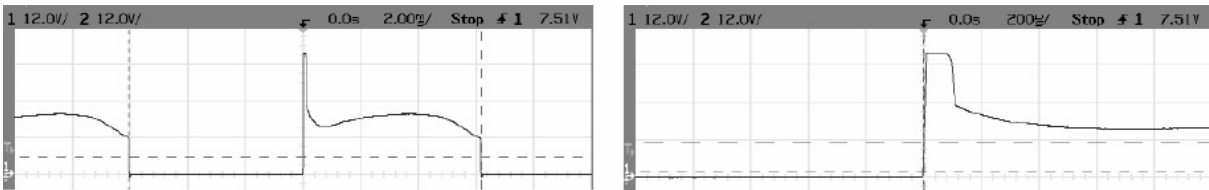


Рис. Б5.1.2 Выходное напряжение без управления временем коммутации (слева общий вид, справа увеличено)

В этот режим работы ИМС **US65** переходит, если вывод **SLOPE** закорочен на корпус ($R_{SLOPE} = 0$).

Особенность режима с "жесткой коммутацией" в том, что, выходной каскад практически мгновенно переходит из замкнутого состояния в разомкнутое, что приводит к большим выбросам напряжения на его выходе.

Для защиты выходных транзисторов от пробоя амплитуда этих выбросов, ограничивается на уровне напряжения фиксации.

Для перевода ИМС **US65** режим работы с "мягкой коммутацией" вывод **SLOPE** оставляют неподключенным ($R_{SLOPE} \rightarrow \infty$).

В этом случае задается внутренне определенная продолжительность времени переключения выходных ключей.

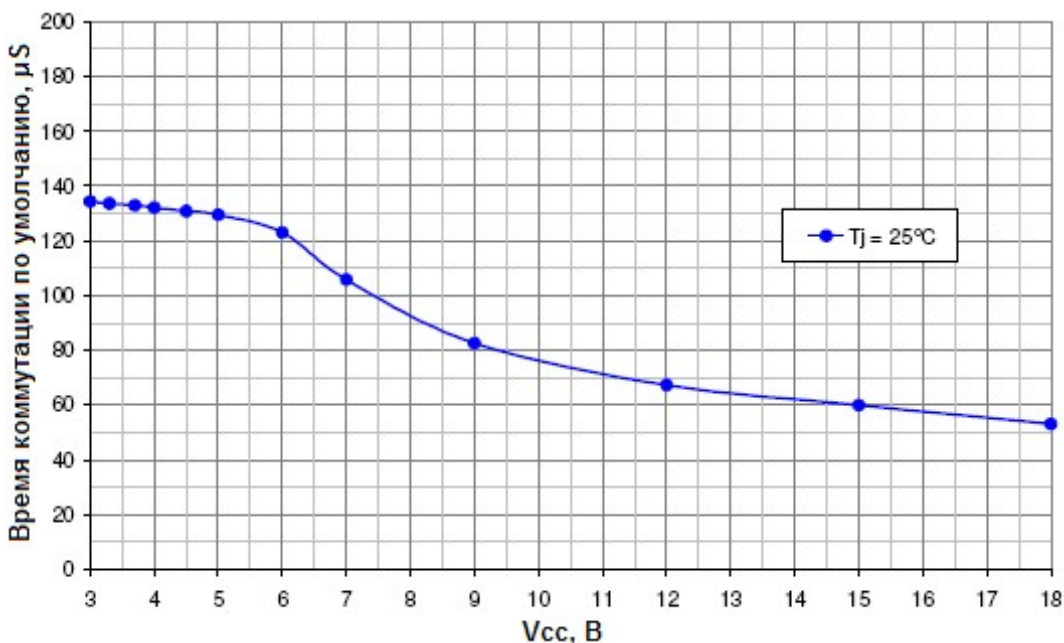


Рис. Б5.1.3 Зависимость времени коммутации от напряжения питания

По умолчанию эта длительность составляет в среднем от 70 μS до 126 μS в зависимости от напряжения питания ИМС.

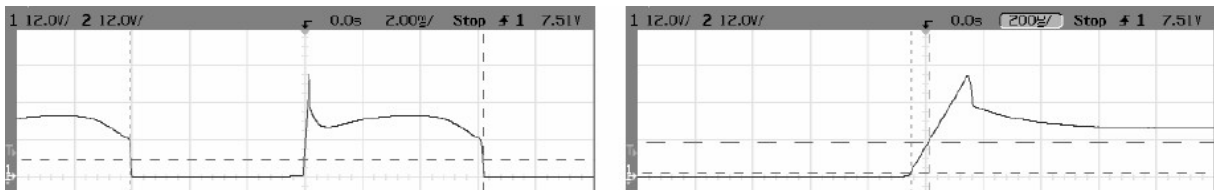


Рис. Б5.1.4 Выходное напряжение с внутренним управлением временем коммутации (слева общий вид, справа увеличено)

♦ Т.о. в отличие от "жесткой коммутации", в режиме "мягкой коммутации" скорость изменения выходного напряжения при изменении состояния ключа резко уменьшается. В результате форма выходного напряжения становится более гладкой.

♦ Это резко уменьшает скорость изменения тока через обмотки. Поэтому *рывки сил взаимодействия между статором и ротором мотора так же резко уменьшаются, что значительно уменьшает возникающие в конструктивных элементах вентилятора вибрации.*

♦ Кроме того, ввиду малой скорости изменения тока возникающее в обмотке напряжение самоиндукции, препятствующее уменьшению тока тоже невелико. Как следствие *резко уменьшается амплитуда выброса обратного напряжения формирующегося на выходах ИМС.*

Например, на рисунке выше видно, что амплитуда выброса оказалось даже меньше уровня фиксации напряжения.

Когда длительность фронта и среза заданная по умолчанию недостаточна, можно подключить резистор R_{SLOPE} и задать еще большую длительность процесса коммутации.

Влияние сопротивления этого резистора на длительность коммутации приведено на рисунке.

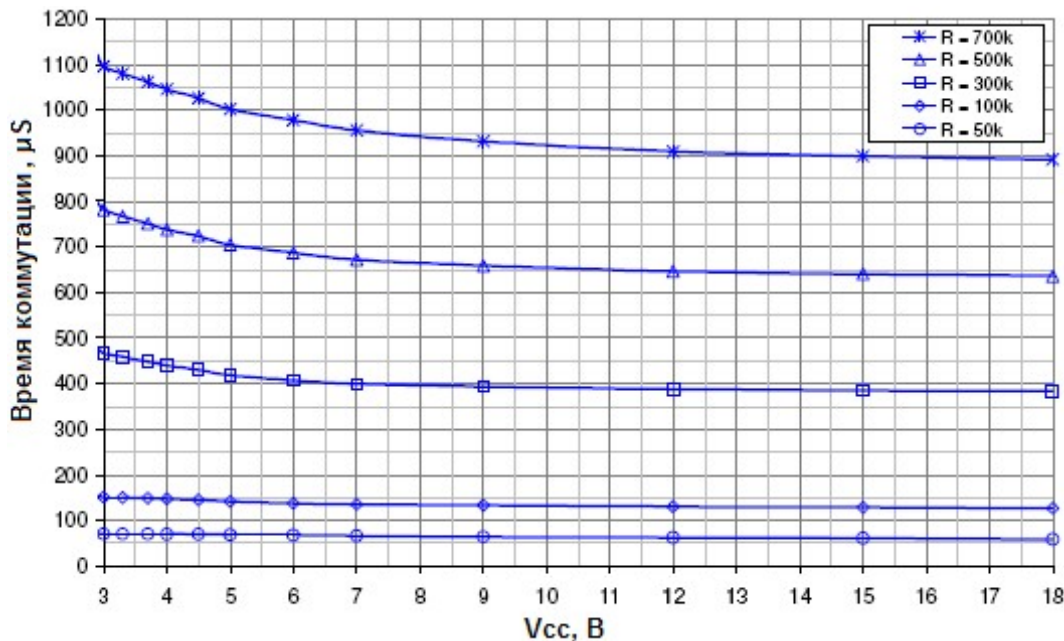


Рис. Б5.1.5 Влияние сопротивления резистора R_{SLOPE} на время коммутации

Длительность переключения может быть увеличена до такой степени, что выбросы напряжений на выходах ИМС будут практически отсутствовать.

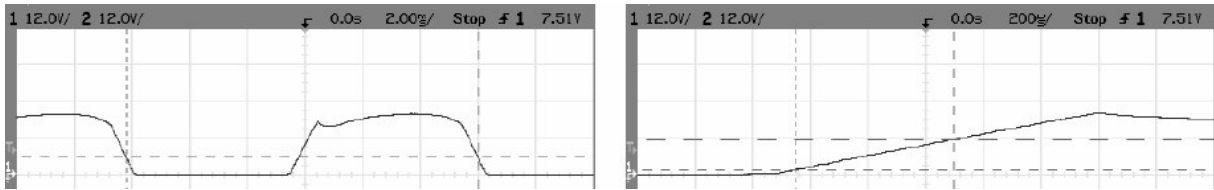


Рис. Б5.1.6 Выходное напряжение с внешним управлением временем коммутации при $R_{SLOPE} = 500к$ (слева общий вид, справа увеличено)

♦ **Увеличение длительности переключения неизбежно приводит к более высокой рассеиваемой мощности непосредственно на ИМС.** Однако ИМС имеет защиту от перегрева.

Выводы:

1. Возможны три различных режима:

- с "жесткой коммутацией";
- с внутренне установленной "мягкой коммутацией";
- с внешне установленной "мягкой коммутацией".

Это дает возможность адаптировать проектируемый вентилятор под строгие требования по шуму. Например, обычно высокоскоростные вентиляторы нуждаются в более плавной коммутации по сравнению с вентиляторами со средней или низкой скоростью вращения.

2. Для большей части конструкций режим внутренне установленной мягкой коммутации представляет собой самое простое и самое адекватное решение в достижении равновесия между низким уровнем шума вентилятора и снижением мощности мотора.

По аналогичным схемам строятся моторы на ИМС **US66, US651, S661** и т.д. Они могут отличаться наличием или отсутствием некоторых встроенных систем защиты или интегрированного тахометра и т.д., но всем им присуща общая особенность схемы - "мягкая коммутация".

Б.5.2 Однообмоточные моторы

Типовая схема мотора, приведенная в документации на ИМС **US168**, имеет вид.

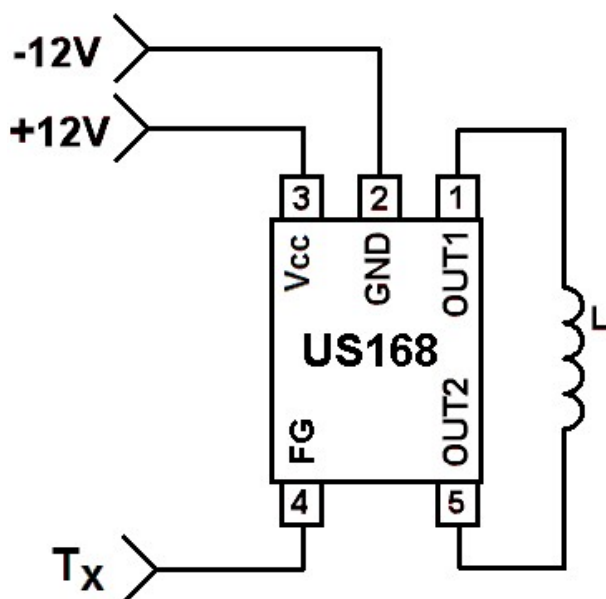


Рис. Б5.2.1 Мотор на ИМС US168

Состав схемы и назначение элементов.

Мотор питается от источника напряжения $V_{CC} = 12\text{ В}$.

Основой схемы является ИМС **US168** с датчиком Холла. Она определяет положение ротора и, следовательно, моменты переключения обмоток. В составе ИМС содержатся два двухтактных выходных ключа-переключателя с повышенной нагрузочной способностью.

L - обмотка мотора.

Работа схемы.

Работа схемы заключается в периодической (через четверть оборота) коммутации обмотки мотора и отличается от работы других однообмоточных моторов только наличием "мягкой коммутации".

"Мягкая коммутация" катушки заключается в плавном изменении напряжения на обмотке мотора в течение около $160\ \mu\text{с}$ при их коммутации.

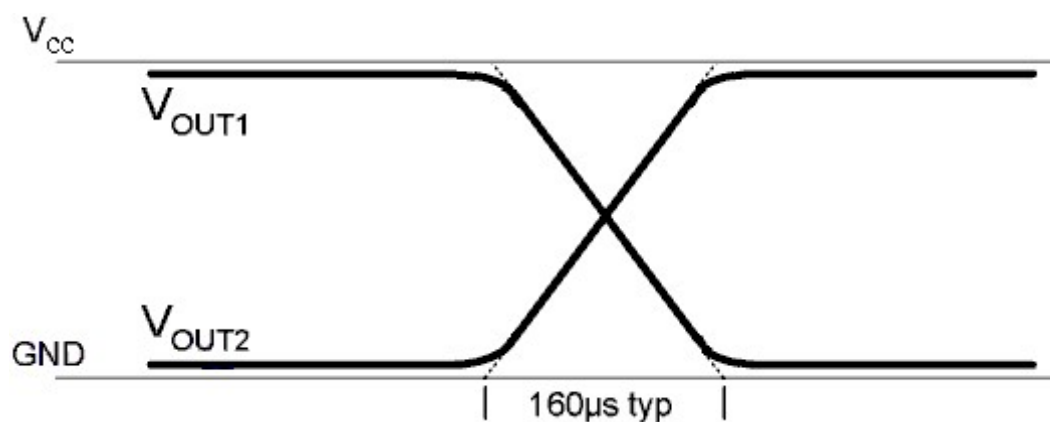


Рис. Б5.2.2 "Мягкая коммутация" в однообмоточном моторе

Это соответственно приводит к плавному изменению тока через обмотку, и, следовательно, плавному изменению сил взаимодействия между статором и ротором мотора.

♦ Поэтому в процессе коммутации, крыльчатка не испытывает резких рывков и амплитуда вибраций в конструктивных элементах вентилятора оказывается небольшой.

Аналогично работают и другие однообмоточные моторы с пониженным уровнем шумов и вибраций на ИМС **US169**, **La6583m**, **LA6581T**, **BA6908F** и т.д. Они могут отличаться наличием или отсутствием режима работы с "жесткой коммутацией", некоторых встроенных систем защиты или интегрированного тахометра и т.д., но всем им присуща общая особенность – наличие режима "мягкой коммутации".