

ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ - 017

Приводы электродвигателя с ШИМ – общая информация

В современных устройствах и системах силовой электроники все большее применение находят решения, связанные с использованием широтно-импульсной модуляции (ШИМ/PWM). Как и любое другое решение, связанное с преобразованием мощности, приводы с ШИМ должны быть испытаны на соответствие специфическим требованиям, связанным с производительностью и эффективностью, но значительная сложность форм сигналов таких приводов, делает задачу измерения их параметров нетривиальной.

Высокоточные анализаторы мощности, разрабатываемые компанией N4L, находят признание у многих инженеров, занимающихся разработкой и эксплуатацией систем или устройств силовой электроники. Такой ценный опыт позволяет компании N4L разрабатывать приборы, идеально подходящие для решения задач, связанных с измерением параметров современных приложений, включая приводы электродвигателей с ШИМ.

Данный документ описывает принципы функционирования приводов с ШИМ и указывает на некоторые особенности, которые должны быть приняты во внимание при измерении мощности таких устройств.

ПОЧЕМУ ИСПОЛЬЗУЕТСЯ ШИМ ДЛЯ ИЗМЕНЕНИЯ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ?

При подключении асинхронного электродвигателя к сети питания переменного тока (415В, 3 фазы), скорость вращения вала двигателя будет постоянной и равна:

$$n_s = \frac{60 * f}{p} * (1 - S), \text{ где}$$

n_s – скорость вращения ротора (вала двигателя), Гц

f – основная частота напряжения

p – число пар полюсов статора

S – скольжение

Это и является проблемой, так как многие задачи требуют изменения скорости вращения вала двигателя, например скорость потока через водяной насос регулируется путем изменения скорости вращения винта насоса. Традиционный подход заключается в снижении напряжения на обмотках электродвигателя, что приводит к снижению тока и момента вращения на валу. Скорость вращения двигателя снижается пропорционально снижению напряжения, но только в случае постоянства нагрузки. Такое решение не является идеальным, так как нагрузка не всегда является постоянной. Другим недостатком такого подхода является слишком большое значение скольжения, вследствие чего, эффективность системы заметно снижается при изменении нагрузки. Поэтому для задачи изменения скорости вращения электродвигателя потребовалось другое решение.

ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ПРИВОДАХ С ШИМ

Хотя решения с ШИМ могут применяться с однофазных и трехфазных системах, рассмотрим наиболее часто встречаемое 3-фазное, 415В, 50Гц решение. На первом этапе происходит выпрямление входного переменного AC напряжения и получение напряжения около 600В DC. По DC шине напряжение подается на инвертор. В инверторе, в качестве переключателей, используются полевые транзисторы Mosfet, биполярные транзисторы IGBT или тиристоры. Эти устройства контролируются про-

цессором, который открывает или закрывает их в специальной последовательности таким образом, чтобы чистое напряжение на обмотке статора двигателя имело синусоидальную форму (основную гармонику) заданной частоты и амплитуды. Это напряжение создаст необходимое вращающееся магнитное поле, которое приведет к появлению вращающего момента ротора (на валу двигателя).

УПРОЩЕННАЯ СХЕМА

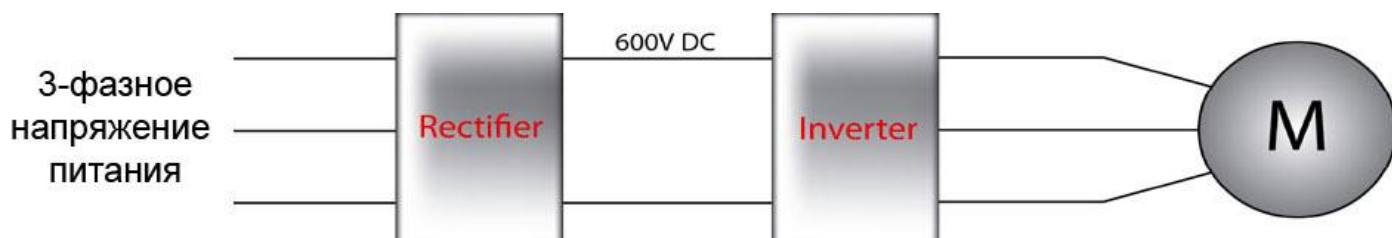


Рисунок 1. Упрощенная диаграмма привода с ШИМ

На приведенной выше диаграмме представлены основные составляющие: 3-фазное входное напряжение, выпрямление, соединяющая шина постоянного тока и инвертор, выходной сигнал которого подается на обмотки электродвигателя и преобразуется в механическую мощность.

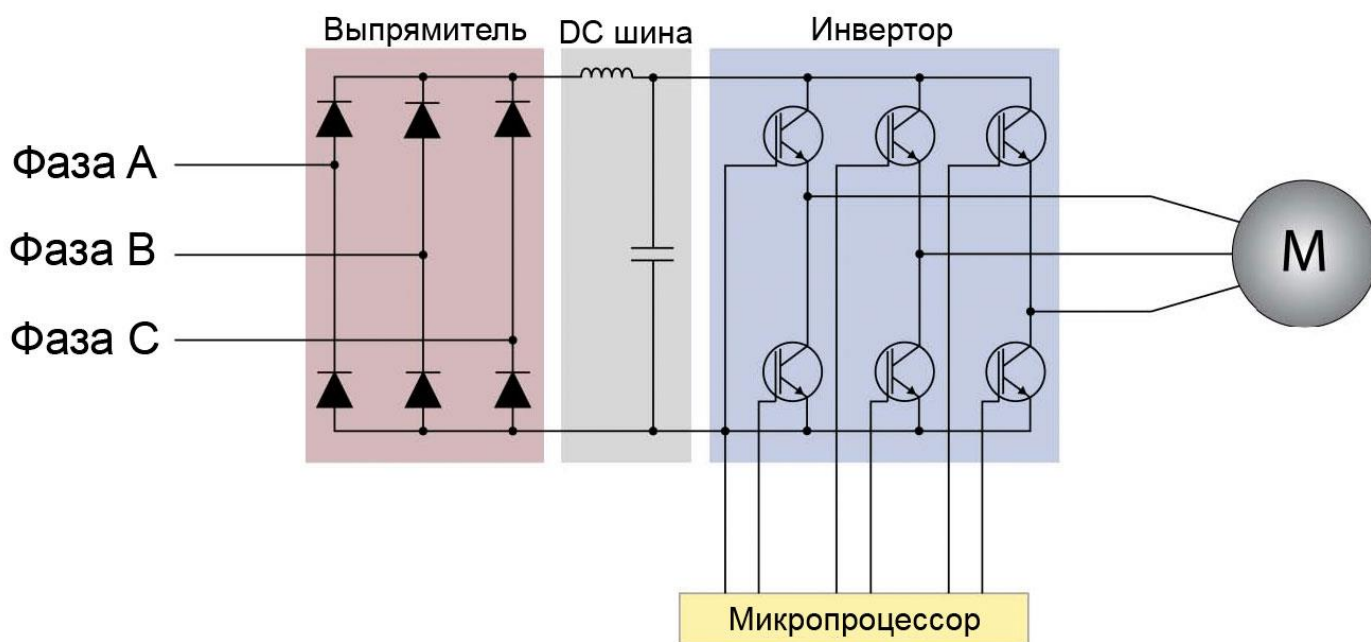


Рисунок 2

На указано на Рисунке 2, рассматриваемая система 3-фазная по входу и выходу. Электрическая схема шины постоянного тока обеспечивает максимально возможное сглаживание выпрямленного входного сигнала, так как пульсации могут привести к снижению эффективности системы в целом. Инвертор обеспечивает полный контроль над электродвигателем с помощью микропроцессора и устройств переключения (транзисторов IGBT, например). Микропроцессор управляет транзисторами для формирования сигнала нужной амплитуды и частоты на статоре двигателя. На каждую фазу используется одна пара транзисторов.

ВЫПРЯМИТЕЛЬ

Этап выпрямления преобразует 3-фазный входной сигнал в выпрямленный выходной сигнал постоянного тока. На этом этапе необходимо обеспечить минимальные потери при выпрямлении, т.е. обеспечивать оптимальную эффективность.

ШИНА DC

Шина постоянного тока представляет собой соединение между выпрямителем и инвертором, также обеспечивает сглаживание пульсаций выходного сигнала выпрямителя. Очень часто используется как измерительная точка при анализе эффективности инвертора. Обычно напряжение DC в шине в 1.35 раз больше входного 3-фазного AC напряжения выпрямителя. В текущем примере напряжение шины постоянного тока составит $415\text{V} \times 1.35 = 560\text{V DC}$.

ФОРМЫ СИГНАЛОВ

На Рисунке 3 представлены формы сигналов напряжения на каждом из этапов. Как видно, входное переменное 50Гц напряжение выпрямляется и сглаживается.

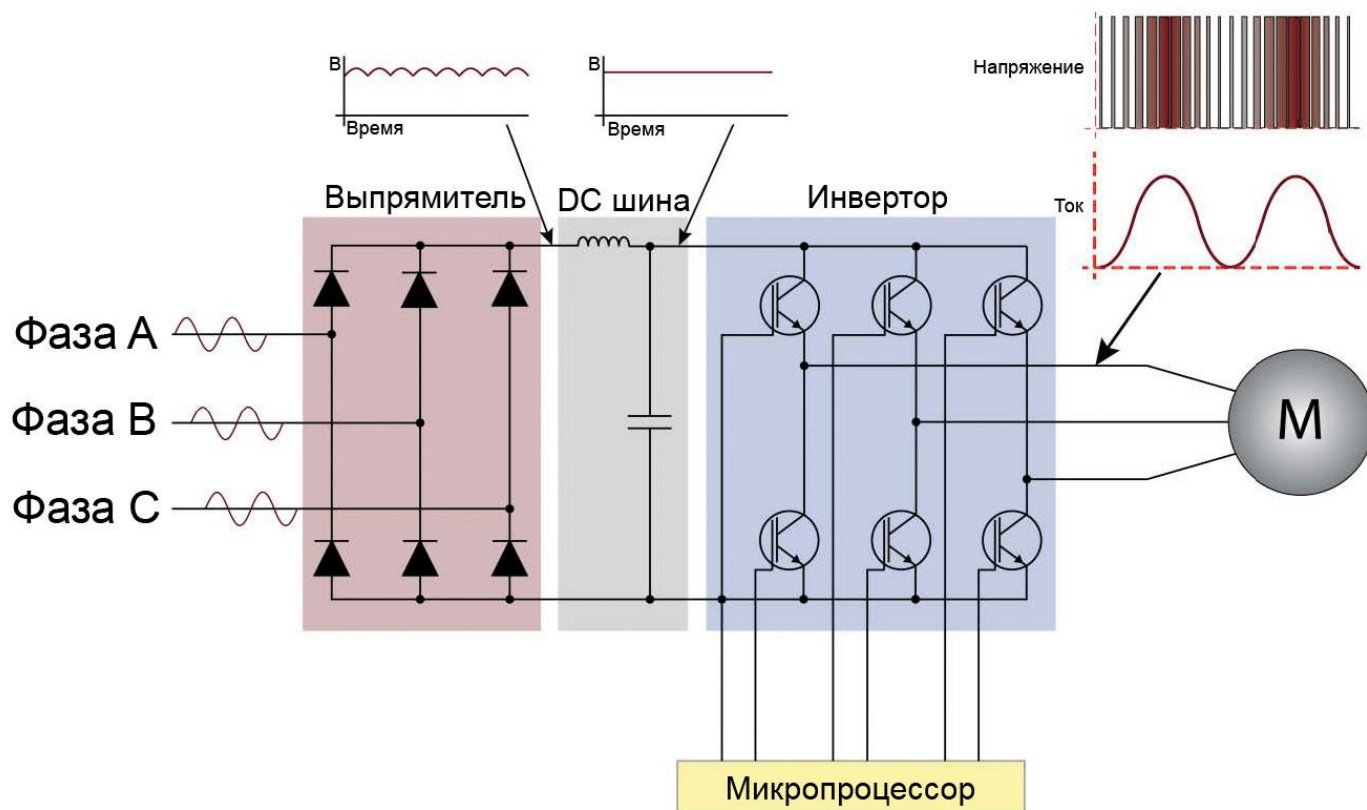


Рисунок 3

ИНВЕРТОР И МИКРОПРОЦЕССОР

Транзисторы IGBT на Рисунке 3, открываемые и закрываемые по сигналу микропроцессора, модулируют высокочастотный сигнал несущей таким образом, чтобы чистое (разностное между фазами) среднее напряжение на обмотках статора было максимально близким к синусоидальному. Это необходимо для предотвращения пульсаций механической мощности (толчков) на валу двигателя. Для

включения транзистора IGBT требуется напряжение 15В. При открытии транзистора, через него протекает ток к обмотке статора двигателя.

На Рисунке 4 представлен сигнал напряжения с выхода транзисторов IGBT. Представлена одна фаза. Основная суть в том, что микропроцессор, открывая и закрывая транзистор, может менять коэффициент заполнения сигнала несущей (широтно-импульсная модуляция), обеспечивая на выходе эквивалент синусоидального сигнала. К счастью, обмотки двигателя представляют собой индуктивности, а импеданс индуктивности возрастает с частотой, поэтому происходит дополнительное сглаживание сигнала напряжения. Благодаря этому ток, потребляемый двигателем, имеет низкочастотные компоненты и примерно соответствует синусоиде. Напряжения на обмотках статора сдвинуты на 120° относительно друг друга.

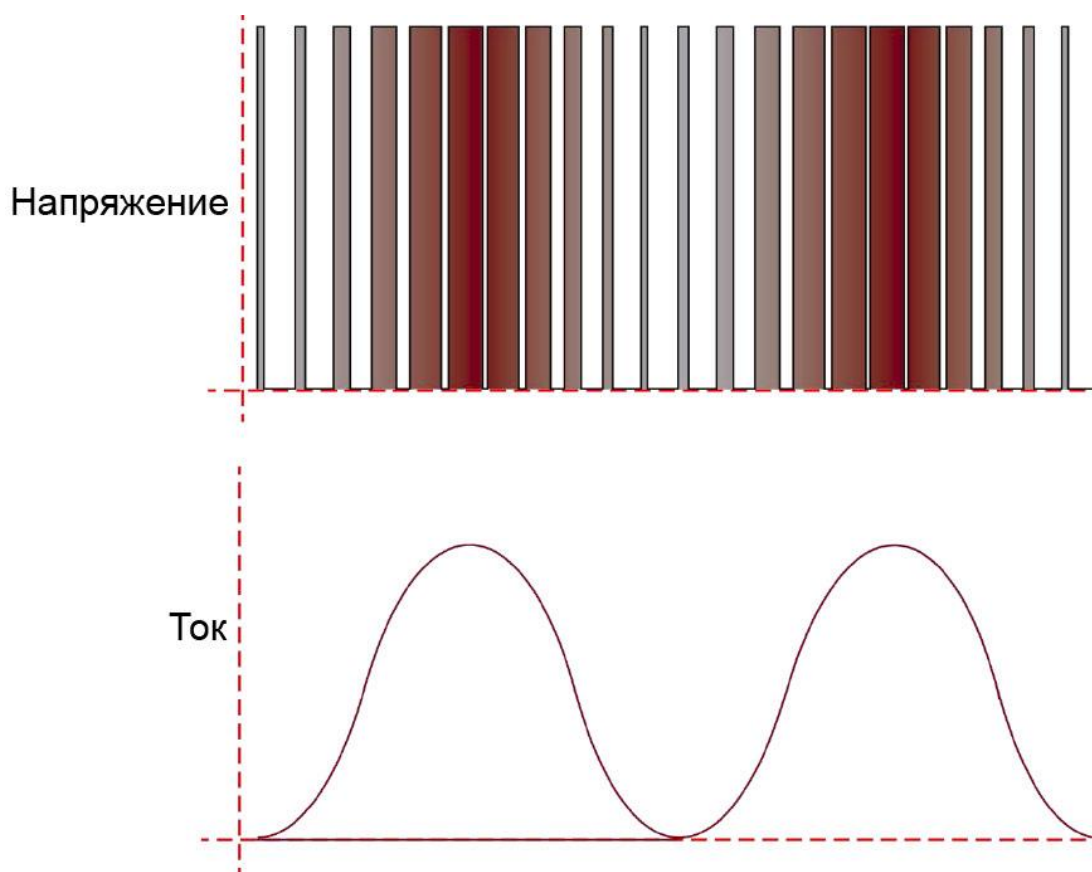


Рисунок 4

АНТИПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ДИОДЫ

При выключении транзистора IGBT, обратно направленная эдс (векторно), индуцированная индуктивностью обмотки статора, будет иметь значительную величину и может вывести транзистор IGBT из строя. Для решения этой проблемы используется антипараллельный диод, обеспечивающий протекание тока от обмотки статора к шине постоянного тока в момент закрытия транзистора IGBT. Индуцированная эдс является результатом относительного перемещения ротора, в котором проходит ток, и внешнего магнитного поля. Значение индуцированной эдс прямо пропорционально скорости вращения ротора и противоположно по полярности к напряжению, подаваемому на инвертор.

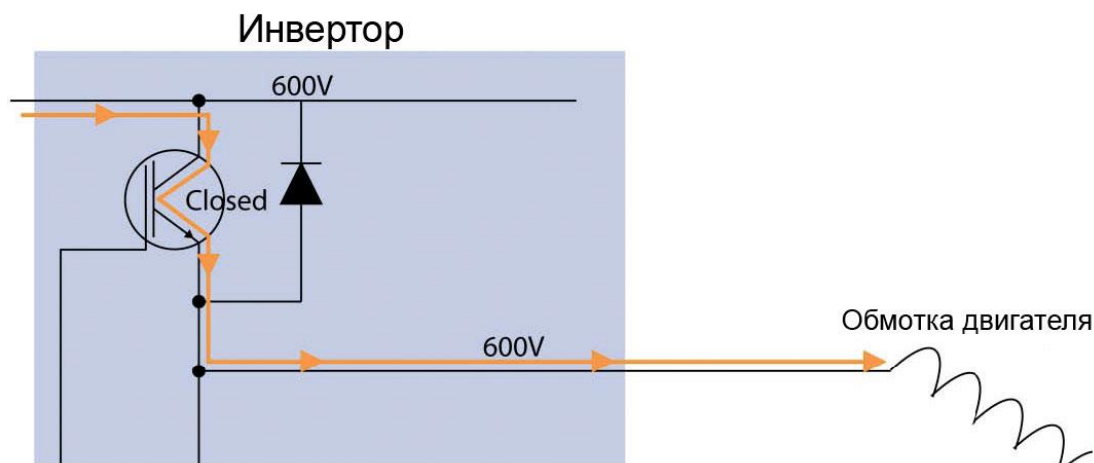


Рисунок 5

На Рисунке 5 показан ток, протекающий через открытый транзистор IGBT. Потенциал шины постоянного тока будет равен потенциалу антипараллельного диода со стороны обмотки двигателя, поэтому через транзистор IGBT будет проходить ток по направлению к обмотке двигателя.

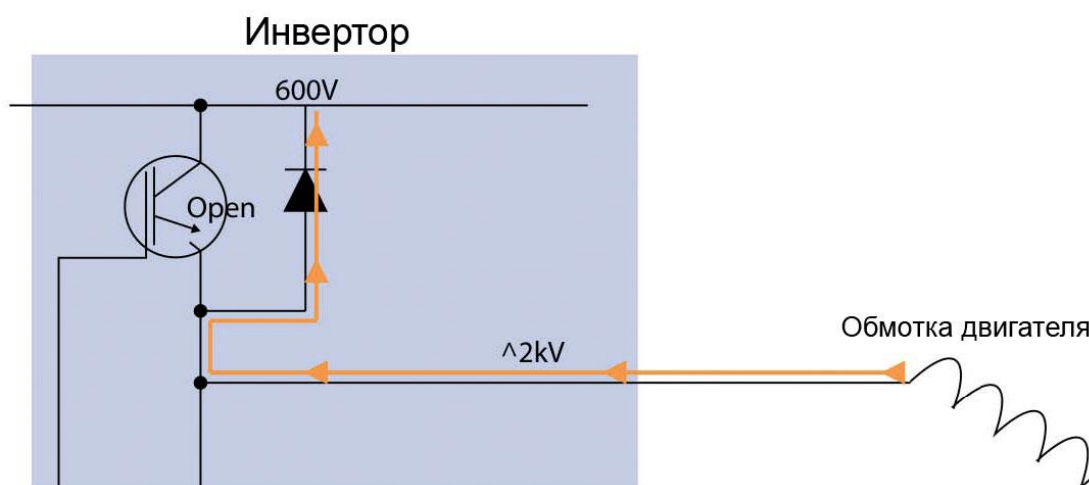


Рисунок 6

Как видно из Рисунок 6, при закрытии транзистора, значение обратной эдс может достигать большой величины. Потенциал обмотки гораздо выше, чем потенциал шины постоянного тока, поэтому диод пропускает ток. Если бы диод не был предусмотрен, на полупроводниковом переходе транзистора появилась бы значительная разность потенциалов, которая привела бы к разрушению транзистора.

При выключении нижних транзисторов IGBT (см. Рисунок 3), происходит такой же процесс, только инверсный, так как обмотки двигателя будут подключены к нулевому потенциалу шины постоянного тока.

Для того чтобы ток протекал через обмотки двигателя, а также для увеличения скорости и момента вращения, необходимо увеличивать частоту модуляции и напряжение (путем увеличения среднего значения коэффициента заполнения) на выходе инвертора. Это необходимо вследствие зависимости между величиной индуктированной обратной эдс и скорости вращения вала двигателя, и при увеличении скорости вращения увеличивается и обратная эдс. Поэтому для поддержания тока в обмотках и момента вращения, подаваемое на обмотки двигателя значение напряжения должно быть выше, чем значение обратной эдс.

ГАРМОНИКИ

Как известно, прямоугольный сигнал состоит из множества гармоник. Также известно, что только синфазные компоненты напряжения и тока составляют активную или полезную мощность. Поэтому точное измерение мощности на выходе системы с ШИМ возможно только при использовании измерительных приборов, способных анализировать сигналы в диапазоне, включающем все частотные компоненты сигнала.

На Рисунке 7 представлены гармоники напряжения и тока на выходе инвертора с ШИМ, с частотой несущей 18кГц и основной частотой 50Гц. Из рисунка видно, что хотя профиль гармоник для напряжения и тока разный, они присутствуют в низкочастотной области около основной частоты, и в высокочастотной области, около частоты несущей. Отсюда следует, что высокочастотные гармоники будут вносить свой вклад в общую, суммарную мощность системы, и поэтому для точного измерения мощности или эффективности системы, эти гармоники также должны быть измерены.

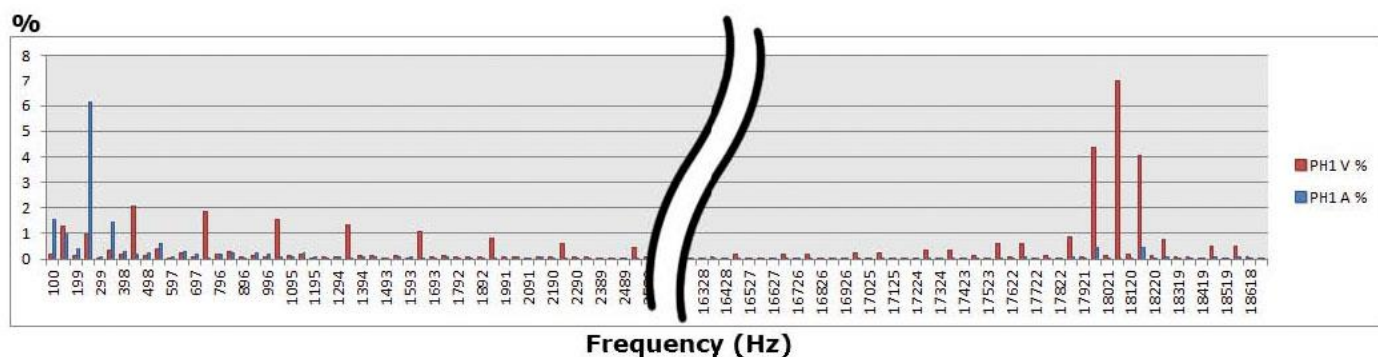


Рисунок 7. Анализ гармоник привода с ШИМ с порядковыми номерами 2 ~ 375, основной частотой 50Гц, с помощью анализатора мощности ПРИЗМА-550/3

Дополнительную информацию по прецизионным анализаторам мощности серии ПРИЗМА вы можете найти на сайтах www.n4l.ru, www.newtons4th.com