УДК 621.311.62

Видакас Д.А.
студент магистратуры
2 курс, институт «Приборостроения, автоматизации и информационных технологий»
Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева
Россия, г. Орел

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПИД-РЕГУЛЯТОРА В СИСТЕМАХ КОРРЕКТОРА КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ БЛОКОВ ПИТАНИЯ

Аннотация: *В данной статье ведётся повествование о принципах работы ПИД-регулятора в сочетании с корректором мощности блоков питания любого назначения. Также, ведётся речь о настройке вышеупомянутого регулятора, его коэффициентах, типах ошибок и методах расчётов.*

Ключевые слова: *PFC, Power Factor, корректор коэффициента мощности, блок питания, ПИД-регулятор, стабилизация напряжения.*

Annotation: *This article describes the principles of operation of the PID controller in combination with a power corrector for power supplies of any purpose. Also, will talking about setting up the above-mentioned regulator, its coefficients, error types and calculation methods.*

Key words: *PFC, Power Factor, power factor corrector, power supply, PID controller, voltage stabilization.*

Блоки питания и корректоры мощности представляют собой важные компоненты в электроэнергетических системах, играя ключевую роль в обеспечении стабильного и эффективного электроснабжения. Данные устройства отвечают за преобразование и поставку электроэнергии к

различным устройствам, обеспечивая надежное функционирование электроники. Корректоры мощности, встроенные в большинство современных блоков питания, нацелены на улучшение качества электроэнергии, оптимизацию коэффициента мощности и снижение реактивной мощности в электрических сетях. В результате, получается основа для эффективного и стабильного энергоснабжения, от бытовых устройств до промышленных систем.

Основной причиной необходимости корректоров мощности является оптимизация и улучшение эффективности использования электроэнергии в электрических сетях и устройствах. Электроэнергия, поступающая из источников, обычно имеет активную и реактивную мощности. Активная мощность используется для выполнения фактической работы, в то время как реактивная мощность не выполняет никакой работы и служит для поддержания напряжения в сети.

Поддержание высоких уровней реактивной мощности в электрических сетях может приводить к неэффективному использованию энергии, увеличению потерь и снижению эффективности электроэнергетических систем. Корректоры мощности призваны компенсировать эту реактивную мощность и улучшать коэффициент мощности, что ведет к снижению потерь энергии, увеличению эффективности систем, сокращению нагрузки на сеть и, как следствие, экономии ресурсов и средств. Таким образом, основной мотивацией для применения корректоров мощности является обеспечение более эффективного и устойчивого энергоснабжения, что важно как для потребителей, так и для энергетических компаний и общества в целом. В качестве автоматического управления корректора, используется ПИД регулятор.

Пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) регулятор – это тип контроллера, который широко используется для регулирования различных параметров в системах автоматического управления. В системах

корректоров мощности (Power Factor Correction, PFC) ПИД регуляторы могут быть использованы для следующих целей:

– управление фактором мощности: ПИД регуляторы могут управлять работой корректора мощности так, чтобы он поддерживал оптимальный фактор мощности. Это может помочь уменьшить реактивные потери в электрической сети и соблюдать нормативные требования по фактору мощности;

– устранение осцилляций: ПИД регуляторы могут помочь сгладить осцилляции в системе, обеспечивая более стабильное и плавное регулирование. Это особенно важно в системах корректоров мощности, где реактивная мощность может изменяться динамически;

– адаптивное управление: ПИД регуляторы могут автоматически адаптироваться к изменяющимся условиям в электрической сети, что делает их подходящими для систем коррекции мощности, где нагрузка и условия могут меняться;

– оптимизация эффективности: ПИД регуляторы могут быть настроены на оптимизацию работы корректора мощности с целью снижения потерь энергии, улучшения фактора мощности и увеличения эффективности системы;

– управление переходными процессами: ПИД регуляторы позволяют более точно управлять переходными процессами при включении или выключении корректора мощности, что способствует стабильной работе системы.

Использование ПИД регулятора в системе корректора мощности позволяет более точно и эффективно управлять фактором мощности, что в свою очередь способствует оптимизации работы электрических систем и снижению нагрузки на электрическую сеть.

Однако, использование данного регулятора в корректоре мощности зависит от конкретных требований и условий электрической системы. ПИД

регуляторы могут быть полезными в некоторых ситуациях, но не всегда обязательны. Вот несколько факторов, которые следует учесть:

– сложность системы: если электрическая система имеет сложную динамику и изменения в факторе мощности происходят быстро и часто, то ПИД регулятор может быть полезным для точного и быстрого управления;

– переходные процессы: если включение и выключение корректора мощности вызывает значительные переходные процессы и осцилляции в системе, то ПИД регулятор может помочь сгладить эти процессы и обеспечить более стабильную работу;

– нормативные требования: если соблюдение нормативов по фактору мощности является обязательным и требуется точное управление, то ПИД регулятор может быть полезным для поддержания оптимального фактора мощности;

– бюджет: ПИД регуляторы могут быть более дорогими и требовательными к настройке, чем другие методы управления. Поэтому важно учитывать бюджетные ограничения и наличие квалифицированных специалистов для настройки и обслуживания;

– динамика нагрузки: если нагрузка на электрическую систему имеет высокую динамику и часто меняется, то ПИД регулятор может быть более эффективным в управлении такой системой.

В целом, выбор использования ПИД регулятора или другого метода управления в корректоре мощности зависит от конкретных условий и требований вашей системы. Рекомендуется провести анализ и консультацию со специалистами в области электроэнергетики, чтобы определить, какой метод управления будет наиболее эффективным для системы.

Расчет коэффициентов ПИД-регулятора для системы корректора мощности может быть сложным процессом и зависит от многих факторов, включая характеристики системы, требования к стабилизации напряжения, динамику процессов и другие параметры.

С самого начала, необходимо определить требования к стабилизации напряжения, а именно, определить желаемое значение выходного напряжения (допустим, после выпрямления диодным мостом в постоянное напряжение 310 В, мы хотим сделать повышение DC-DC преобразователем до 370 В). Далее, необходимо оценить допустимое отклонение от этого значения (например, ±5 В или другое значение, в зависимости от требований).

После этого, необходимо изучить динамику системы. А именно, оценить динамические характеристики системы, включая время установления, перерегулирование и уровень осцилляций. Определить, как быстро должен реагировать регулятор для обеспечения стабильности системы.

Стоит начать с настройки пропорционального коэффициента (далее – P). Этот коэффициент определяет, насколько быстро регулятор будет реагировать на ошибку (разницу между желаемым и текущим значением напряжения). И начать стоит именно с небольшого значения P и увеличивать его, пока система не начнет реагировать. Однако необходимо быть осторожным с слишком большими значениями P, так как это может вызвать перерегулирование и осцилляции.

Далее, происходит настройка интегрального коэффициент (далее – I). I помогает устранять статические ошибки и сглаживать ошибку на долгосрочном интервале. Нужно начинать с нулевого значения I и увеличивать его, чтобы уменьшить статическую ошибку. Однако нужно быть осторожным с слишком большими значениями I, так как это может вызвать перерегулирование и медленные реакции системы [1].

Для отработки систем, где выходная мощность не превышает 150-200 Вт достаточно PI регулятора, поскольку резкие пульсации и импульсы на выходе должны заставить систему либо уйти в защитный режим от излишней нагрузки, либо просто перезапустить устройство, как аппаратная защита. На данных мощностях, не преследуются идеи быстрого регулирования и установления множества аппаратных защит. Так как нагрузку на них большую

нельзя подавать, то нет смысла и создавать совершенную систему по регулированию напряжения, так как последний коэффициент отвечает именно за скорость и правильность корректного регулирования [1].

По необходимости, происходит настройка дифференциального коэффициента (далее – D). D помогает устранять перерегулирование и осцилляции, контролируя скорость изменения ошибки. Необходимо начать с нулевого значения D и увеличивать его, чтобы уменьшить перерегулирование и сгладить переходные процессы. Слишком большие значения D могут вызвать нестабильность (раскачивание системы, резкие изменения перерегулирования, вход системы в резонансное состояние).

После отстройки всех коэффициентов происходит оптимизация коэффициентов. Итеративно необходимо настроить коэффициенты P, I и D, обратив внимание на результаты испытаний в реальных условиях. Производится это только в результате экспериментов и аналитических результатов. И после этого происходит последняя корректировка коэффициентов, чтобы достичь желаемой стабилизации напряжения.

Необходимо соблюдать осторожность и быть осторожным с слишком большими значениями коэффициентов, так как они могут вызвать нестабильность и перегрузку системы. Работать нужно с ограничением для коэффициентов, чтобы избежать чрезмерных изменений в управлении. Необходимо постоянно использовать симуляции и мониторинг всех параметров системы. Сильно облегчит задачу программное обеспечение для симуляции или мониторинга системы, чтобы проверить, как хорошо настроенный ПИД-регулятор работает в реальных условиях.

Также важно настроить обратную связь и ограничения. Нужно убедиться, что система имеет надежную обратную связь, чтобы ПИД-регулятор мог корректно реагировать на изменения. В данной связи установить ограничения на выходные значения ПИД-регулятора, чтобы предотвратить перегрузку или неустойчивость.

Это общий подход к настройке ПИД-регулятора для системы корректора мощности. Настройка ПИД-регулятора может потребовать нескольких итераций и опыта, и, важно, проводить изменения осторожно, чтобы избежать проблем с устойчивостью системы.

P в ПИД-регуляторе определяется на основе желаемого значения выходной переменной (в данном случае, желаемого значения напряжения на выходе системы корректора мощности) и текущего значения этой переменной. Расчет пропорционального коэффициента может быть выполнен следующим образом:

Предположим, что желаемое значение выходного напряжения равно V_desired (например, вышеупомянутые 370 В), а текущее значение измеряется как V_current (например, текущее значение напряжения на выходе системы).

Тогда ошибка (error) между желаемым и текущим значениями напряжения определяется как (формула 1):

$$error = V_desired - V_current. \quad (1)$$

Затем пропорциональный коэффициент P рассчитывается как произведение ошибки на пропорциональный коэффициент (формула 2):

$$P = K_p * error, \quad (2)$$

где K_p – это сам пропорциональный коэффициент, который вы должны настроить [2].

Расчет P может быть подстроен итеративно. Начать можно с небольшого значения K_p и после этого, нужно провести испытания системы. Если система реагирует слишком медленно на изменения в напряжении, то нужно увеличить K_p. Если K_p слишком большой и вызывает перерегулирование или осцилляции, стоить уменьшить его.

Продолжать настройку K_p нужно до тех пор, пока система не достигнет желаемой стабилизации напряжения, удовлетворяя заданным требованиям по точности и динамике.

I в ПИД-регуляторе используется для устранения статических ошибок и сглаживания ошибки на долгосрочном интервале времени. Рассмотрим пример расчета интегрального коэффициента I.

Статистическая ошибка – это вид ошибки в системе управления или измерения, который проявляется как постоянное отклонение или разница между желаемым значением (целевым значением) и фактическим измеренным значением. Эта ошибка сохраняется даже после установления системы в стационарном режиме работы, и она обычно вызвана некорректной калибровкой, нелинейностью или другими систематическими факторами.

Статистическая ошибка может проявляться, когда система находится в одном и том же состоянии или работает при постоянных условиях. Она может быть вызвана факторами, такими как:

– дрейф (дрейфовая ошибка): это изменение выходного значения устройства с течением времени при постоянных условиях и без воздействия внешних факторов. Например, датчики могут иметь дрейф, который вызывает постепенное смещение измерений;

– нелинейность: если характеристики системы (например, передаточная функция) не являются линейными, то могут возникнуть статистические ошибки, особенно при работе вне диапазона, для которого система наилучшим образом настроена;

– калибровка: неправильная калибровка приборов измерения может вызвать постоянную статистическую ошибку;

– смещение нуля: это смещение измерений, которое может проявляться даже при нулевом входе. Например, сенсоры могут иметь смещение нуля.

Статистическая ошибка является одной из основных категорий ошибок в системах измерения и управления, и она может быть учтена и исправлена при проектировании и калибровке системы. Исправление статистической

ошибки обычно включает в себя настройку или калибровку приборов, а также мониторинг и коррекцию дрейфа с течением времени.

Необходимо отметить, что интегральный коэффициент I обычно служит для устранения статических ошибок и обеспечения точности в установившемся режиме. Но его использование также может повлиять на динамику системы, поэтому важно следить за реакцией системы и корректировать значение KI, чтобы достичь баланса между точностью и стабильностью [2].

Как и в случае с пропорциональным коэффициентом, настройка интегрального коэффициента I – это итеративный процесс, который требует экспериментов и анализа.

D в ПИД-регуляторе используется для управления скоростью изменения ошибки и уменьшения перерегулирования и осцилляций в системе.

С самого начала, необходимо определить желаемую реакцию на изменение ошибки: стоит начать с определения желаемой реакции системы на изменения в ошибке. D-термин используется для предотвращения быстрых и резких изменений управления в ответ на быстрые изменения ошибки. Нужно выбрать, как быстро система должна реагировать на изменения ошибки и какие изменения должны быть подавлены.

Необходимо определить изменение ошибки: следует измерить изменение ошибки, которое происходит между текущим и предыдущим измерениями. Это обычно делается путем вычисления разницы между текущим и предыдущим значением ошибки.

Настроить коэффициент нужно итеративно, начать с небольшого значения D и провести испытания вашей системы. Если система все еще перерегулируется или имеет осцилляции, то необходимо увеличить коэффициент. Если D слишком большой и вызывает нестабильность, уменьшите его.

Продолжать настройку нужно до достижения желаемой реакции на изменения ошибки. Дифференциальный коэффициент D поможет устранить быстрые и резкие изменения управления и сгладить переходные процессы.

Стоит обратить внимание, что значение D зависит от динамики системы и требований к переходным процессам. Он также может быть чувствителен к шумам в измерениях, поэтому настройка D-термина требует внимательности и экспериментов.

Без автоматического ПИД-регулирования получается следующая осциллограмма (рисунок 1):

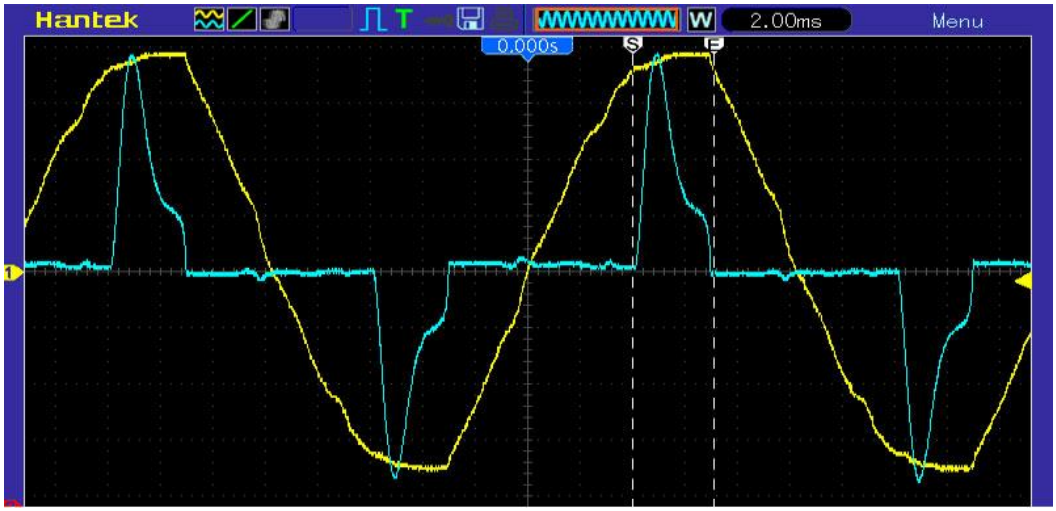

Рисунок 1 – Осциллограмма отсутствующего регулятора

На данной осциллограмме представлены два графика, жёлтый – сеть 220 В, голубой – заряд конденсатора на выпрямителе. Поскольку отсутствует регулирование, то корректор работает в разы хуже. Если обратить внимание, то можно увидеть, что на пиках явно срезан пик сети 220 В. Тут он срезан лишь на пару вольт, однако когда таких устройств много в одной точке, происходит процесс превращения синусоиды в «равнобедренную трапецию». На следующем рисунке будет представлена осциллограмма с работающим регулятором (рисунок 2):

Рисунок 2 – Осциллограмма работы устройства с ПИД-регулятором

На данной осциллограмме отчётливо видна разница между результатами. Сеть 220 В выровнялась и больше походит на правильную синусоиду. Кроме того, можно сделать вывод, что и конденсатор заряжается более линейно. Если правильно подобрать коэффициенты ПИД-регулятора, то можно и куда лучше сгладить данный график.

Подводя итог можно сказать, что основной причиной использования корректоров мощности является оптимизация использования электроэнергии, что снижает потери и увеличивает эффективность систем энергоснабжения. Важно подчеркнуть, что эффективное энергоснабжение и управление мощностью играют фундаментальную роль в современных технологиях и обеспечивают устойчивость и экономичность электроэнергетических систем.

Использованные источники:

1. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники / Пауль Хоровиц, Уинфилд Хилл –Москва : Издательство «Бином», 2014 – 1125с.

2. Астрем, К. Дж. ПИД-регуляторы: Теория, проектирование, настройка. / К. Дж. Астрем, Т. Хэгглунд. – Москва : Лаборатория знаний, 2005. – 609 с.