

Чжоу Хунвэй, магистрант,
Амурский государственный университет

ПРИНЦИП РАБОТЫ ДВУХКОЛЕСНОГО САМОБАЛАНСИРУЮЩЕГО АВТОМОБИЛЯ

Аннотация. В этой статье описывается принцип работы двухколесного автоматического балансировочного автомобиля на основе системы управления маятником и подчеркивается использование приводного двигателя на основе принципа работы двухколесного автоматического балансировочного автомобиля.

Ключевые слова: Двухколесный самобалансирующийся автомобиль, принцип равновесия, PWM.

Принцип работы двухколесного самобалансирующего автомобиля основан на системе управления маятником. Система управления перевернутым маятником представляет собой сложную, нестабильную, нелинейную систему. Благодаря точному соединению механической структуры, сенсорного восприятия, механического регулирования и управления напряжением была завершена интеллектуальная работа по «борьбе с гравитацией и поддержанию стабильности».

Логика работы двухколесного автоматического балансировочного автомобиля – это, по сути, практическое применение системы управления маятником. В системе реверсивного маятника изначально нестабильный маятник должен поддерживаться в желаемом положении с помощью точного управления, в то время как различные компоненты двухколесного автоматического балансировочного автомобиля точно соответствуют основному модулю системы реверсивного маятника один за другим: кузовное оборудование эквивалентно «маятниковому стержню», его центр тяжести сосредоточен на этом, под действием гравитации всегда существует тенденция отклонения наклона от равновесного положения; Кронштейн транспортного средства как «основание», несущий кузовное оборудование, так что центр тяжести кузова всегда находится над кронштейном; Мотор играет роль «исполнительного органа», который отвечает за управление движением колес, вытягивает кузов обратно в равновесное состояние и выполняет команды траектории; В качестве «измерительных блоков» датчики захватывают ключевые данные, такие как угол наклона, угловая скорость, смещение и ускорение транспортного средства в режиме реального времени, обеспечивая основу для принятия решений по управлению. Упрощенный взгляд, двухколесная автоматическая балансировочная машина «кузов + двухколесная» структура является визуальной физической моделью перевернутого маятника.

Чтобы обеспечить стабильную работу, система должна достичь четырех основных целей управления. Во – первых, «накручивание и стабилизация», когда кузов отклоняется от равновесного положения, двигатель быстро управляет движением колес, сначала тянет кузов обратно в желаемое положение, а затем переключается в стабильный режим для поддержания положения; Во – вторых, «стабильность с фиксированной точкой», поддерживая баланс кузова, пусть весь автомобиль точно остается в заданном положении; Кроме того, это «трассировка траектории», то есть в состоянии равновесия, по заранее заданному пути для завершения движения; Наконец, «помехоустойчивость», при столкновении с внешними помехами, такими как ухабистая дорога, система может быстро отрегулировать восстановление стабильности, чтобы избежать сброса.

Эта серия контрольных целей не может быть достигнута без сложного механического анализа и регулирования. Простой анализ напряжения двухколесного самобалансирующего



автомобиля показан на рисунке 1. Ожидаемое равновесное положение двухколесного самобалансирующего автомобиля – это вертикальное состояние под углом наклона $\theta_d=0$, но гравитационное воздействие всегда заставляет кузов наклоняться, образуя фактический угол наклона θ . На этом этапе кузов будет поддерживаться гравитацией и кронштейном, и для того, чтобы компенсировать тенденцию наклона, требуется «обратная сила», противоположная направлению наклона. Этот отклик исходит не от внешней тяги, а от ускорения вращения колеса в направлении наклона – ускорение a , создаваемое при ускорении колеса, образует соответствующую инерциальную силу, которая вместе с гравитационной составляющей образует равновесную реакцию.

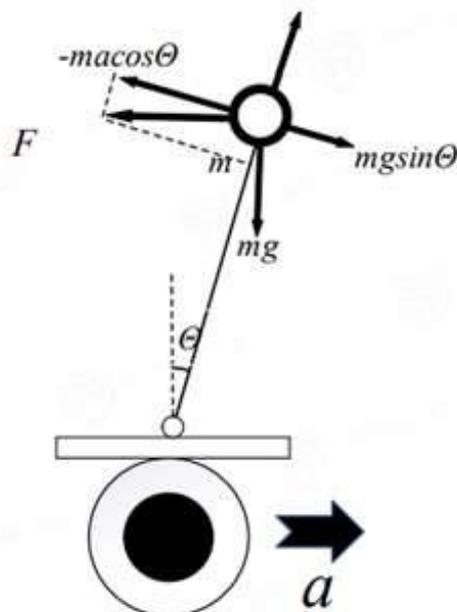


Рисунок 1.

Этот процесс можно понять с помощью механических выводов: когда наклон кузова составляет θ полярных часов, $\sin\theta\approx\theta$, $\cos\theta\approx 1$, Формула расчета рефлексивной силы F может быть упрощена до $F = mg\theta - ma$ (в которой m – масса кузова, g – ускорение силы тяжести). Система устанавливает линейное пропорциональное соотношение ускорения $a = k\theta$ (k – коэффициент пропорциональности) с углом наклона θ , при этом после замены можно получить $F = mg\theta - mk\theta$. Когда коэффициент пропорциональности k превышает гравитационное ускорение g , направление рефлексивной силы F прямо противоположно направлению наклона кузова, что позволяет эффективно тянуть кузов обратно в равновесное положение. Это означает, что чем больше угол наклона кузова, тем сильнее должно быть ускорение колеса с двигателем, чтобы убедиться, что сопротивляемости достаточно для борьбы с тенденцией наклона.

Ускорение двигателя в конечном итоге контролируется приводным напряжением. Скорость двигателя напрямую определяет ускорение колеса, а скорость регулируется размером приводного напряжения. Поскольку время работы двигателя при поддержании равновесия чрезвычайно короткое, можно считать, что двигатель всегда находится в стадии ускорения, поэтому ядро управления ускорением преобразуется в управление приводным напряжением двигателя. Ключевой технологией, используемой здесь, является модуляция ширины импульса (PWM), которая регулирует среднее выходное напряжение на обоих концах двигателя, изменяя отношение ширины импульса D ($0 < D < 1$) в каждом импульсном цикле,



формула расчета $U_d = DU_m$ (где U_d является средним выходным напряжением, а U_m – максимумом напряжения).

Подводя итог, принцип работы двухколесного автоматического балансировочного автомобиля можно суммировать как замкнутый процесс сцепления: датчик в режиме реального времени контролирует угол наклона кузова и другие данные, система рассчитывает требуемое ускорение в соответствии с наклоном, регулирует напряжение двигателя с помощью технологии PWM для управления скоростью вращения, а затем создает подходящую обратную силу для компенсации тенденции наклона. От теоретической поддержки модели перевернутого маятника до точного сотрудничества механических компонентов и интеллектуальных связей между механикой и электронным управлением, именно синергия этой серии технологий в конечном итоге достигла стабильной работы двухколесного автоматического балансировочного автомобиля.

Список литературы:

1. Марголит Р.Б. Технология машиностроения / Р.Б. Марголит // Юрайт. – 2025.
2. Рогов В.А. Основы технологии машиностроения / В.А. Рогов // Юрайт. – 2023.

