

А.В. Хисамов¹, И.О. Хлебосолов²

ОПРОС КАНАЛОВ ТОКОСЪЕМА В ПРОЦЕССЕ РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ МЕТОДОМ ПРОВЕРКИ СОСТОЯНИЯ СУХИХ КОНТАКТОВ



¹Андрей Владимирович Хисамов
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра
Великого
Россия, Санкт-Петербург
Тел.: (812)297-4845, E-mail: andrey@d-science.kz



²Игорь Олегович Хлебосолов, к.т.н., доцент
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра
Великого
Россия, Санкт-Петербург
Тел.: (812)297-4845, E-mail: khlebosolov@mail.ru

Аннотация

Токосъемные устройства играют ключевую роль в передаче энергии и сигналов установок с подвижной рабочей поверхностью. Надежность этих каналов критически важна для обеспечения корректной работы как лабораторного, так и промышленного оборудования. В данной статье в качестве примера такого механизма будут выступать центрифуги.

Центробежные установки широко применяются в науке, промышленности и медицине. Условия эксплуатации в центрифуге — высокая частота вращения, значительные центробежные нагрузки, вибрации и, иногда, термическое воздействие — предъявляют повышенные требования к надежности токосъемных каналов. Их разрушение может привести к выходу оборудования из строя или ошибкам измерений и/или испытаний, особенно в прецизионных испытательных стендах.

Другой причиной, по которой может возникнуть необходимость опроса каналов токосъема — определение состояния подключенного устройства. Проверяемое изделие устанавливается в испытательную

центрифугу и подключается через токосъем к детектирующему устройству. В процессе проведения испытаний при достижении определенных ускорений, состояние контактов изделия меняется. Необходимо зафиксировать время наступления события и текущее значение воспроизводимого ускорения.

В статье рассматривается способ опроса контактов токосъема. Приведены примеры из практики применения контроля каналов в испытательных центрифугах.

Ключевые слова: центрифуга, токосъем, испытательное оборудование, система управления, сухие контакты.

Введение

Токосъемы — это ключевые элементы испытательного оборудования, обеспечивающие передачу электрического тока между подвижными и неподвижными частями системы. Они применяются в различных сферах, включая электроэнергетику, транспорт, промышленные установки, испытательные стенды и научные исследования. От их надежности и точности зависят качество измерений, безопасность и эффективность работы оборудования.

В некоторых испытательных системах (например, стендах для проверки роторов электродвигателей, центробежных стендах и др.) требуется передача тока на вращающиеся части. Токосъемы с щеточными или бесконтактными (индуктивными) технологиями позволяют проводить измерения без остановки оборудования.

Щеточные токосъемы - наиболее распространенный тип токосъемов, где ток передается, например, через графитовые щетки. Одним из ключевых недостатков подобных токосъемов является износ щеток после некоторого времени работы устройства. В связи с этим возникает задача периодической проверки каналов токосъема.

Для этого можно использовать как специальные устройства, рассчитанные именно на проверку данного токосъема, так и универсальную «прозвонку». В процессе проверки можно определить как наличие обрыва в цепи, так и несоответствие сопротивления в цепи паспортным значениям. Одни устройства позволяют определить целостность токосъема в остановленном состоянии, другие – в процессе эксплуатации испытательного оборудования. Особо ценные методы проверки каналов дают данные не только по потери связи в каком-то из каналов, но и текущие параметры работы установки. Это важно, поскольку обрыв связи может быть не постоянным, а появляться по достижении определенной интенсивности движения.

Иной задачей, стоящей перед разработчиками оборудования, может являться проверка состояния контактов испытуемого устройства. В данном случае, подразумевается не функциональная целостность цепи, а изменение состояния устройства в процессе работы, выраженное в замыкании или размыкании определенных контактов.

Например, необходимо провести испытания работоспособности изделия, которое при достижении определенного значения ускорения разомкнет один из внешних контактов, а при достижении другого значения ускорения – замкнет другой контакт. Для воспроизведения необходимых значений ускорения используется центробежный стенд.

Испытательная центрифуга — это специализированная установка, предназначенная для создания управляемых центробежных ускорений с целью испытания, калибровки или исследования поведения различных объектов, систем или материалов в условиях повышенных перегрузок.

Изделие устанавливается на ротор центрифуги и подключается к разъему токосъема, установленному на подвижной части. На неподвижной части необходимо подключить устройство, которое так или иначе будет проверять состояние подключенных выходных контактов изделия. В зависимости от типа изделия и блока опроса – возможны различные методы детектирования состояния контактов.

В рамках данной работы было спроектировано устройство, позволяющее совместить обе описанные задачи: проверка целостности каналов токосъема и опрос состояния испытуемого изделия.

Методы

Для решения задачи проверки целостности контактов токосъема и одновременно проверки состояния испытуемого изделия необходим метод, который потребует наличие активного измерителя только на неподвижной части центрифуги, поскольку на роторе может быть установлено готовое изделие, которое не подразумевает внесения изменений в свою конструкцию или схему подключения.

Для контроля состояния каналов широко применяются методы электрической диагностики, одним из наиболее надёжных и простых из которых является опрос сухих контактов. Этот метод позволяет оперативно фиксировать факт наличия или обрыва цепи, а также регистрировать мгновенные изменения состояния линии без подачи рабочего напряжения. Особенно эффективно применение сухих контактов в условиях, где требуется гальваническая развязка между цепями управления и цепями силового тока. Сухой контакт не имеет собственного напряжения, поэтому его проверка сводится к контролю состояния (замкнут/разомкнут) и измерению параметров, что позволяет использовать

метод как для проверки целостности токосъема, так и для опроса испытуемого устройства.

Метод опроса сухих контактов заключается в использовании пассивных контактных пар, замыкающих или размыкающих цепь токосъема в зависимости от его физического состояния (например, положения щетки, наличия давления, замыкания кольца и т.д.). Эти контакты не подают собственное напряжение — они лишь передают управляющий сигнал внешней диагностической системе, которая контролирует замкнутость или разомкнутость линии. Опрос сухих контактов осуществляется с помощью:

- цифровых входов контроллеров (ПЛК);
- специализированных диагностических модулей;
- регистраторов событий.

Метод опроса сухих контактов применяется для диагностики линий токосъема в системах, где требуется контроль состояния цепи без подачи напряжения. Этот подход основан на периодическом сканировании контактных групп. В зависимости от метода реализации и стоящих задач возможны два способа опроса:

- подачей дискретного сигнала и получении его на дискретном входе;
- анализе сопротивления цепи.

Второй способ опроса является наиболее полезным, поскольку:

- не требует подачи напряжения на тестируемую линию;
- обеспечивает гальваническую развязку между измерительной системой и цепью токосъема.

Также данный метод позволяет выявлять не только обрыв цепи, но и:

- короткое замыкание;
- в некоторых реализациях - промежуточные сопротивления (окисление, подгар контактов).

Типовые схемы подключения в простейшем случае изображена на рисунке 1:

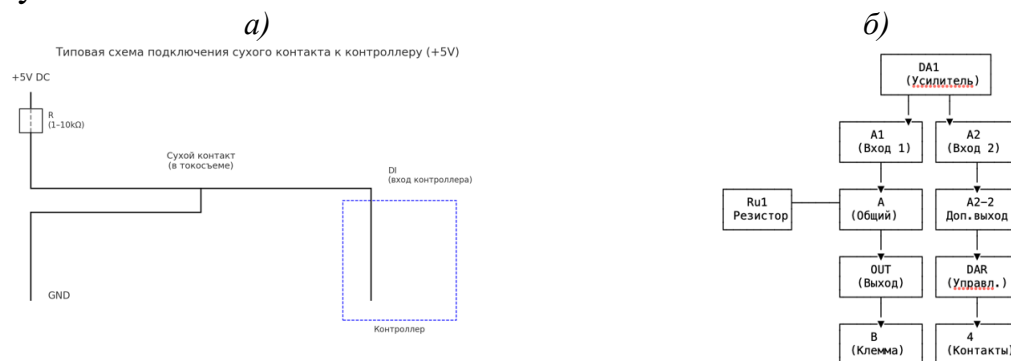


Рис. 1. Типовая схема подключения: а) при включении для опроса путем появления дискретного сигнала; б) при включении для опроса путем измерения сопротивления

На схемах обозначены:

- R — токоограничивающий резистор, предотвращающий ложные срабатывания при колебаниях напряжения и замыкании;
 - Сухой контакт — механически или сенсорно замыкается при наличии исправного токосъема;
 - DI (Digital Input) — дискретный вход контроллера, опрашивает логический уровень (0 или 1);
 - GND — общий потенциал для питания и цифрового входа.
-
- DA1 - основной усилительный/управляющий модуль;
 - A1, A2 - входные клеммы;
 - A - общий провод/шина;
 - A2-2 - дополнительный выходной канал;
 - OUT - главный выходной сигнал;
 - DAR - управляющий вход;
 - B - вспомогательная клемма подключения;
 - 4, 3 - нумерованные контакты (для перемычек);
 - Ru1, Ru2 - резисторы (5Ω/1.1W).

Для проведения опроса в простейшем случае не требуется контроллер с повышенной производительностью. Для опроса достаточно короткой программы, наподобие следующей:

```
int main() {  
    // Параметры системы  
    const float threshold_low = 1.0f;           // Порог сопротивления в Омах - низкий  
    const float threshold_high = 10.0f;         // Порог сопротивления в Омах - высокий  
    const int polling_interval = 1;             // Интервал опроса в секундах  
  
    while (true) {  
        // 1. Измерение сопротивления  
        float R = measure_resistance();  
        // 2. Проверка состояния  
        if (R > threshold_high) {  
            log_error("Контакт разомкнут");  
        }  
        else if (R < threshold_low) {  
            log_error("контакт замкнут");  
        }  
        else {  
            log_error("слабый контакт");  
        }  
        // 3. Задержка перед следующим опросом  
        sleep(polling_interval);  
    }  
    return 0;  
}
```

В практическом исполнении схема включения выглядит сложнее, содержит элементы обработки шумов и позволяет опрашивать 40 каналов токосъема одновременно. Разработанная плата блока опроса сухих контактов изображена на рисунке 2:

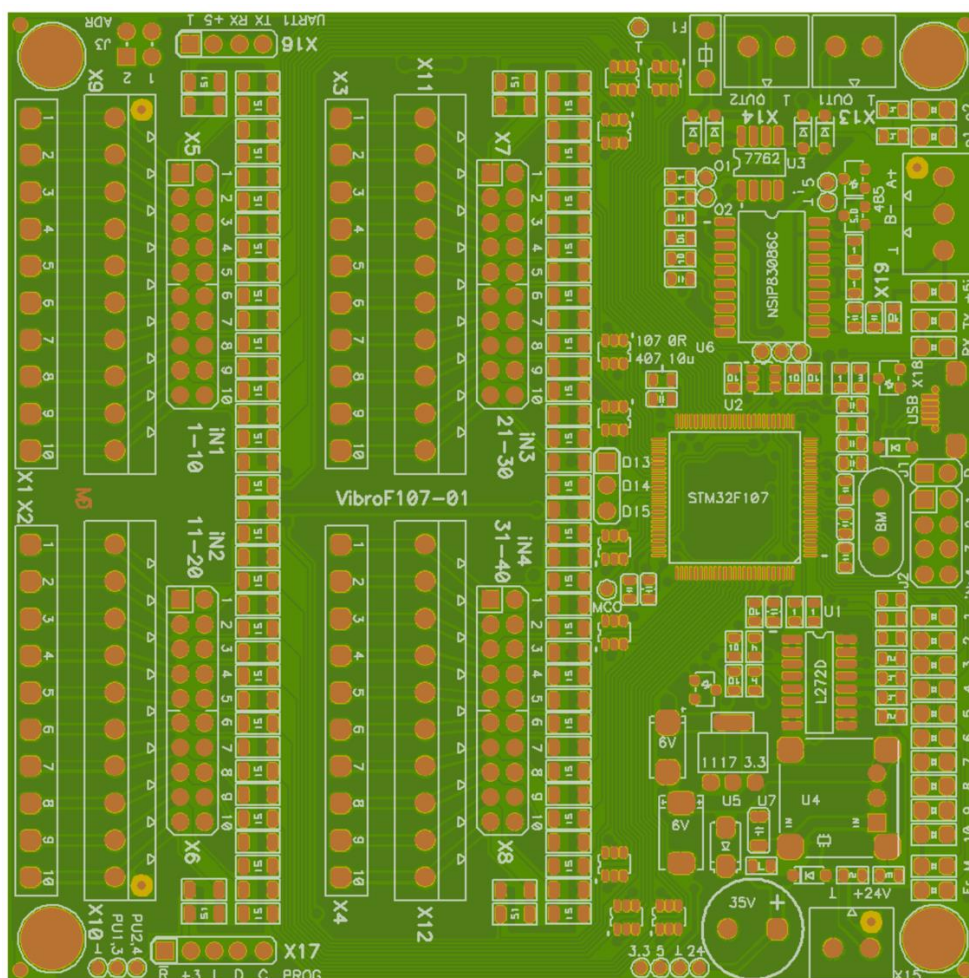


Рис. 2. Изображение печатной платы блока опроса сухих контактов

Результаты

В качестве опытного образца был изготовлен блок опроса сухих контактов. Данный блок работает в паре с цифровым блоком системы фазового управления. После запуска системы управления, между двумя блоками происходит синхронизация времени начала отсчета выполнения задания.

Программа испытаний задается на операторском компьютере в виде одного из графиков (Рис. 3):

- скорости вращения центрифуги;
- воспроизводимого ускорения;
- градиента изменения воспроизводимого ускорения.



Рис. 3. Программное обеспечение для управления центробежным стендом

В процессе управления на график задания накладывается график воспроизводимого значения ускорения. В момент наступления события блок опроса сухих контактов фиксирует время события и состояние опрошенных контактов. Опрос каждого канала происходит в условиях:

- не реже, чем раз в 10 мс;
- ток контролируемой цепи не более 10мА;
- максимальное напряжение, между контролируемыми точками - не более 10В.

По завершении испытаний данные из блока опроса передаются в блок системы управления, где они объединяются с общими данными процесса. События изменения контактов отмечаются на графике. Все данные по завершении испытания можно выгрузить в таблицу.

Таким образом, возможно определить при каком воспроизводимом ускорении произошло изменение состояния контактов испытуемого изделия или на какой скорости вращения произошла потеря сигнала в линии проверяемого токосъема.

Заключение

Разработанный блок может быть использован как средство проверки испытуемого изделия, так и как средство контроля работоспособности токосъема. При этом единый подход к проведению опроса позволяет использовать устройство как постоянно подключенное к токосъему, без необходимости смены оборудования между испытаниями изделия и проверками токосъема. В комплекте с цифровой фазной системой управления данный блок может быть хорошим решением при модернизации существующего испытательного оборудования,

позволяющим повысить точность проводимых испытаний и упрощающим управление.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Plohov, I.V., Savraev, I.E., Ilyin, A.V., et al. Comprehensive Diagnostics of the Technical Condition of a Turbine Generator Slip Ring Current Collector. *Power Technol Eng*, 55. 2022. pp. 749–757.
- [2] J. Wang, Renying Liu, Ruofan Xiao, et al. Optimized Design of Slip Ring Assembly for Aerospace to Reduce Deep Dielectric Charging. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 4 (69). 2022. pp. 915-924.
- [3] F. Avino, B. Gaffinet, D. Bommottet, A. Howling, I. Furno. Slip Ring Test Assembly With Increased Breakdown Voltage Limit for High-Voltage Bus Satellites. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 8 (35). 2020. pp. 32-36.
- [4] Y. Yang et al. Research on Insulation Defect Detection Method for Conductive Slip Rings Based on MEMS Sensors. 2024 IEEE 7th International Electrical and Energy Conference (CIEEC), Harbin, China. 2024. pp. 2877-2882
- [5] Emar W., Al-Omari Z., Rawashdeh T. Slip-Ring Induction Motor Torque and Current Ripple Minimization Using Bang-Bang Current Control. *Evergreen*, 2 (10). 2023. Pp. 962-975.
- [6] W. Ren, Y. Chen, S. Cao, L. Cui and H. Liang. A New Automated Test Equipment for Measuring Electrical Contact Resistance of Real Size Rivets. 2013 IEEE 59th Holm Conference on Electrical Contacts (Holm 2013), Newport, RI, USA. 2013. pp. 1-7
- [7] I. I. Obach, et al. Monitoring of Power Supply. 2019 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON), Tomsk, Russia. 2019. pp. 1-6
- [8] Dusan Medved, Lubomir Bena, Michal Kolcun, Marek Pavlik, Influence of Impurities in Electrical Contacts on Increasing the Efficiency of Energy Transmission. *Energies*, 7 (15). 2022. pp.2339.
- [9] V. Maharshi, A. Agarwal and B. Mitra. Contact Study of MEMS High g Impact Sensor. 2020 5th IEEE International Conference on Emerging Electronics (ICEE), New Delhi, India. 2020. pp. 1-4
- [10] J. Shi, H. Gu, C. Shi and T. Ma. Research on AC Servo Control System of Medical Centrifuge Based on Fuzzy Adaptive Fractional PID. 2023 5th International Conference on Intelligent Control, Measurement and Signal Processing (ICMSP), Chengdu, China. 2023. pp. 443-446.
- [11] A. Winter, N. Mohajer, D. Nahavandi and M. Watson. Kinematic Control of a Human Centrifuge System for Simulation of Aircraft Manoeuvres.

- 2024 Australian & New Zealand Control Conference (ANZCC), Gold Coast, Australia. 2024. pp. 223-228.
- [12] Evgrafov A.N., Tereshin V.A. influence of the control object mass on the stability region. *Advances in Mechanical Engineering. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. 2022. pp. 9-17.
- [13] Andrienko, P.A., Evgrafov, A.N., Kozlikin, D.P., Semenov, Y.A., Semenova, N.S. Graph-Based Structural Analysis of Kinetic Art Mechanisms on the Example of a Moving Horse Mechanism. *Proceedings of I4SDG Workshop 2021. I4SDG 2021. Mechanisms and Machine Science*. 108. 2021. pp. 141-149.
- [14] Evgrafov, A.N., Karazin, V.I., Khisamov, A.V. Research of high-level control system for centrifuge engine. 2018. *International Review of Mechanical Engineering*. 12(5), pp. 400-404.
- [15] C. Zhao, Z. Hua. Design of Motor Speed Control System Based on STM32 Microcontroller. 2022 *International Conference on Computation, Big-Data and Engineering (ICCBDE)*, Yunlin, Taiwan. 2022. pp. 274-276.
- [16] Andrienko, P.A., Karazin, V.I., Kozlikin, D.P., Khlebosolov, I.O. About implementation harmonic impact of the resonance method. 2019. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. pp. 83-90.
- [17] Evgrafov, A.N., Karazin, V.I., Petrov, G.N. Analysis of the self-braking effect of linkage mechanisms. 2019. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. pp. 119-127.

A.V.Khisamov, I.O.Khlebosolov

MONITORING OF CURRENT COLLECTOR CHANNELS DURING EQUIPMENT OPERATION VIA DRY CONTACT STATUS POLLING

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Russia

Abstract

Current collection devices play a key role in the transmission of power and signals in systems with moving working surfaces. The reliability of these channels is critically important for the proper functioning of both laboratory and industrial equipment. In this article, centrifuges are considered as a representative example of such mechanisms.

Centrifugal systems are widely used in science, industry, and medicine. The operating conditions within a centrifuge — high rotational speeds, significant centrifugal loads, vibrations, and occasionally thermal effects — impose increased demands on the reliability of current collection channels.

Failure of these components can lead to equipment malfunction or measurement and/or testing errors, particularly in precision test stands.

Another reason for polling current collection channels may be the need to determine the status of a connected device. The test object is mounted in a test centrifuge and connected via a slip ring to a monitoring system. During testing, as certain acceleration thresholds are reached, the status of the device's contacts may change. It is necessary to record the moment of this event along with the current value of the applied acceleration.

This article discusses a method for polling slip ring contacts. Practical examples of current channel monitoring in test centrifuge applications are provided.

Key words: centrifuge, current collection, slip ring system, test equipment, control system, dry contacts.

REFERENCES

- [1] Plohov, I.V., Savraev, I.E., Ilyin, A.V., et al. Comprehensive Diagnostics of the Technical Condition of a Turbine Generator Slip Ring Current Collector. *Power Technol Eng*, 55. 2022. pp. 749–757.
- [2] J. Wang, Renying Liu, Ruofan Xiao, et al. Optimized Design of Slip Ring Assembly for Aerospace to Reduce Deep Dielectric Charging. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 4 (69). 2022. pp. 915-924.
- [3] F. Avino, B. Gaffinet, D. Bommottet, A. Howling, I. Furno. Slip Ring Test Assembly With Increased Breakdown Voltage Limit for High-Voltage Bus Satellites. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 8 (35). 2020. pp. 32-36.
- [4] Y. Yang et al. Research on Insulation Defect Detection Method for Conductive Slip Rings Based on MEMS Sensors. 2024 IEEE 7th International Electrical and Energy Conference (CIEEC), Harbin, China. 2024. pp. 2877-2882
- [5] Emar W., Al-Omari Z., Rawashdeh T. Slip-Ring Induction Motor Torque and Current Ripple Minimization Using Bang-Bang Current Control. *Evergreen*, 2 (10). 2023. Pp. 962-975.
- [6] W. Ren, Y. Chen, S. Cao, L. Cui and H. Liang. A New Automated Test Equipment for Measuring Electrical Contact Resistance of Real Size Rivets. 2013 IEEE 59th Holm Conference on Electrical Contacts (Holm 2013), Newport, RI, USA. 2013. pp. 1-7
- [7] I. I. Obach, et al. Monitoring of Power Supply. 2019 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON), Tomsk, Russia. 2019. pp. 1-6

- [8] Dusan Medved, Lubomir Bena, Michal Kolcun, Marek Pavlik, Influence of Impurities in Electrical Contacts on Increasing the Efficiency of Energy Transmission. *Energies*, 7 (15). 2022. pp.2339.
- [9] V. Maharshi, A. Agarwal and B. Mitra. Contact Study of MEMS High g Impact Sensor. 2020 5th IEEE International Conference on Emerging Electronics (ICEE), New Delhi, India. 2020. pp. 1-4
- [10] J. Shi, H. Gu, C. Shi and T. Ma. Research on AC Servo Control System of Medical Centrifuge Based on Fuzzy Adaptive Fractional PID. 2023 5th International Conference on Intelligent Control, Measurement and Signal Processing (ICMSP), Chengdu, China. 2023. pp. 443-446.
- [11] A. Winter, N. Mohajer, D. Nahavandi and M. Watson. Kinematic Control of a Human Centrifuge System for Simulation of Aircraft Manoeuvres. 2024 Australian & New Zealand Control Conference (ANZCC), Gold Coast, Australia. 2024. pp. 223-228.
- [12] Evgrafov A.N., Tereshin V.A. influence of the control object mass on the stability region. *Advances in Mechanical Engineering. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. 2022. pp. 9-17.
- [13] Andrienko, P.A., Evgrafov, A.N., Kozlikin, D.P., Semenov, Y.A., Semenova, N.S. Graph-Based Structural Analysis of Kinetic Art Mechanisms on the Example of a Moving Horse Mechanism. *Proceedings of I4SDG Workshop 2021. I4SDG 2021. Mechanisms and Machine Science*. 108. 2021. pp. 141-149.
- [14] Evgrafov, A.N., Karazin, V.I., Khisamov, A.V. Research of high-level control system for centrifuge engine. 2018. *International Review of Mechanical Engineering*. 12(5), pp. 400-404.
- [15] C. Zhao, Z. Hua. Design of Motor Speed Control System Based on STM32 Microcontroller. 2022 International Conference on Computation, Big-Data and Engineering (ICCBDE), Yunlin, Taiwan. 2022. pp. 274-276.
- [16] Andrienko, P.A., Karazin, V.I., Kozlikin, D.P., Khlebosolov, I.O. About implementation harmonic impact of the resonance method. 2019. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. pp. 83-90.
- [17] Evgrafov, A.N., Karazin, V.I., Petrov, G.N. Analysis of the self-braking effect of linkage mechanisms. 2019. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. pp. 119-127.