

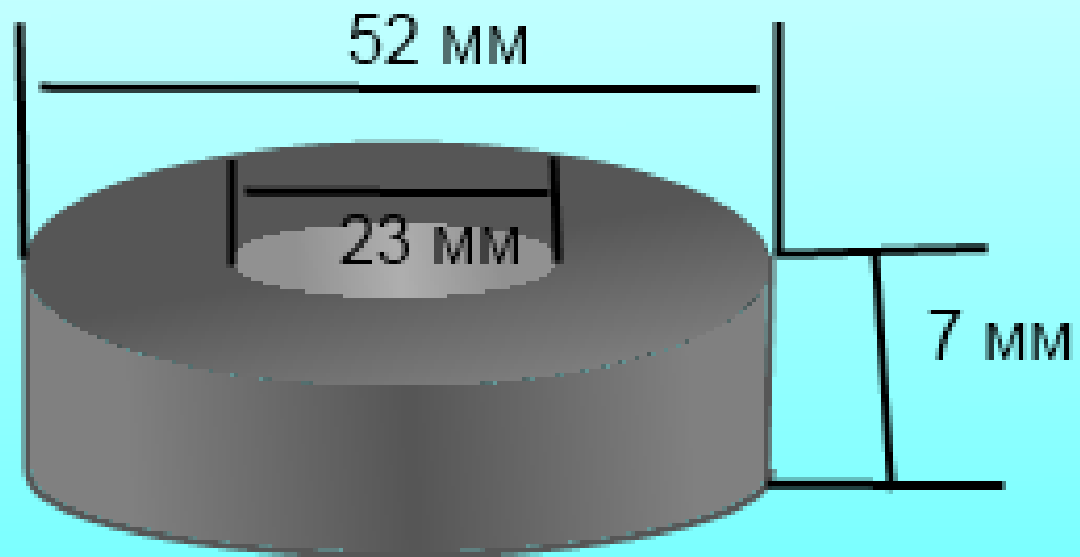
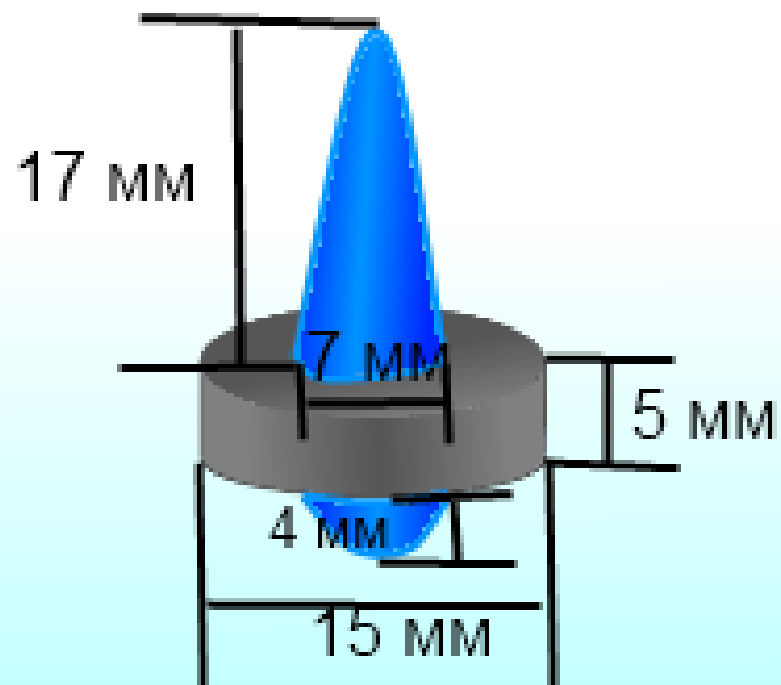
Suspension Systems magnetic fields

Maxym Zolotukha

Faculty of Radio Physics, Electronics and Computer Systems,
Taras Shevchenko National University of Kyiv



04, 19, 2017, Kiev, Ukraine



Новизна: можливість забезпечення стійкого безконтактного стану рівноваги постійного магніту, що обертається в полі нерухомого магніту.

Проблематика Нестійкість стану рівноваги, при якому вага підвішеного тіла компенсується силою відштовхування від нерухомого магніту, впливає з теореми Ірншоу.

Об'єкт досліджень обертання нерухомого магніту в полі нерухомого

Застосування : для навігації, акселерометрів та автономізації роботизованих систем

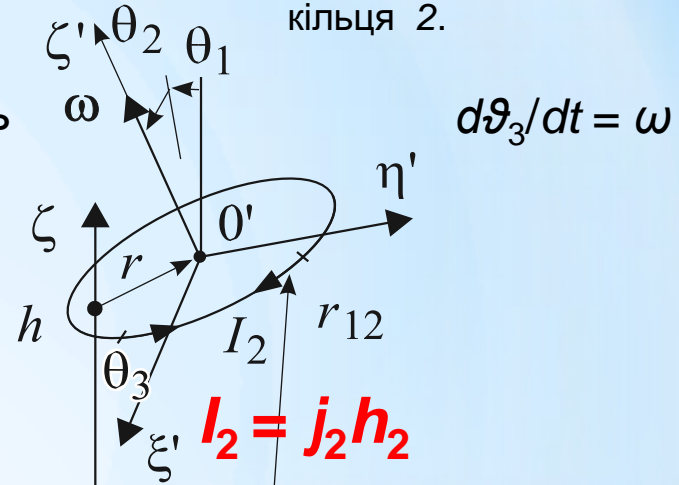
Мета роботи: вивчення основних властивостей та дослідження достатніх умов функціонування безконтактного підвісу зі ступенями вільності як складової автономних систем робототехніки та засобів захисту інформації.

В системі є дві двократні нестійкості. Рухомий магніт прагне перевернутися на 180° та піти поперек вісі.

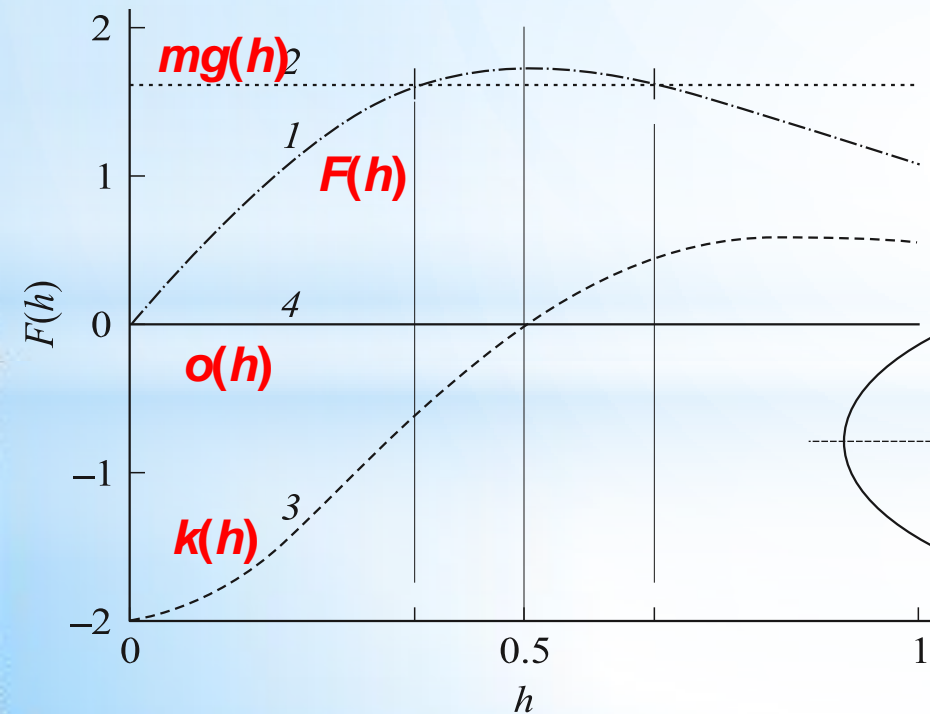
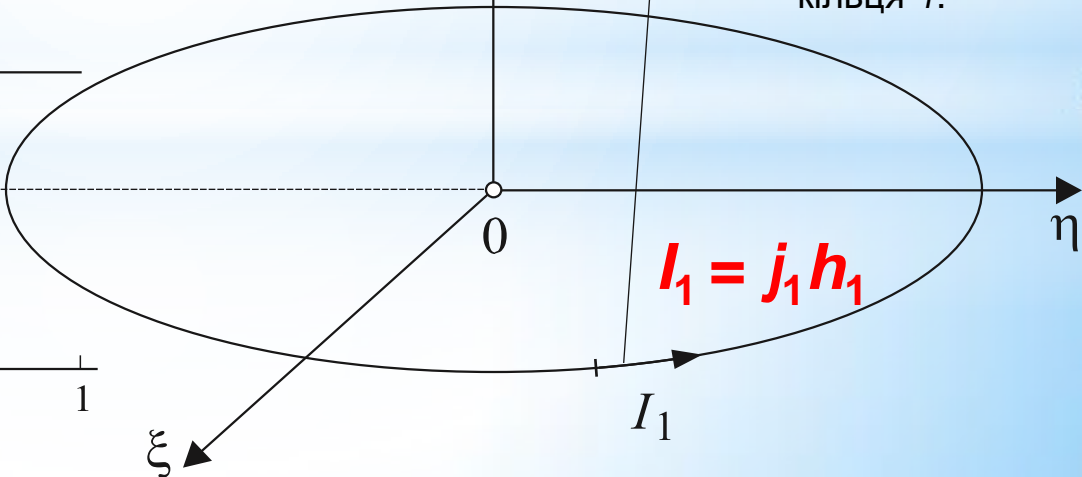
У неконтактному стані рівноваги узагальнені координати (ступені вільності) рухомого магніту мають такі значення : $\xi_0 = \eta_0 = 0$, $\zeta_0 = h$; $\vartheta_{10} = \vartheta_{20} = 0$; $\vartheta_3 = \vartheta_{30}$.

Парадоксальність поведінки вовчка полягає в його протодії змінити напрямок вісі обертання. При дії зовнішньої сили вісь вовчка (гіроскопу) починає рухатися (прецесувати) в напрямку, перпендикулярному вектору сили, що обертає вовчок не падає, а його вісь описує конус навколо вертикалі.

З рухомим кільцем пов'язана система координат $\Theta^0, \xi^0, \eta^0, \zeta^0$, початок якої розміщується в центрі кільця 2.



З нерухомим кільцем пов'язана система координат $\Theta \xi, \eta, \zeta$ початок якої вміщено в центр кільця 1.

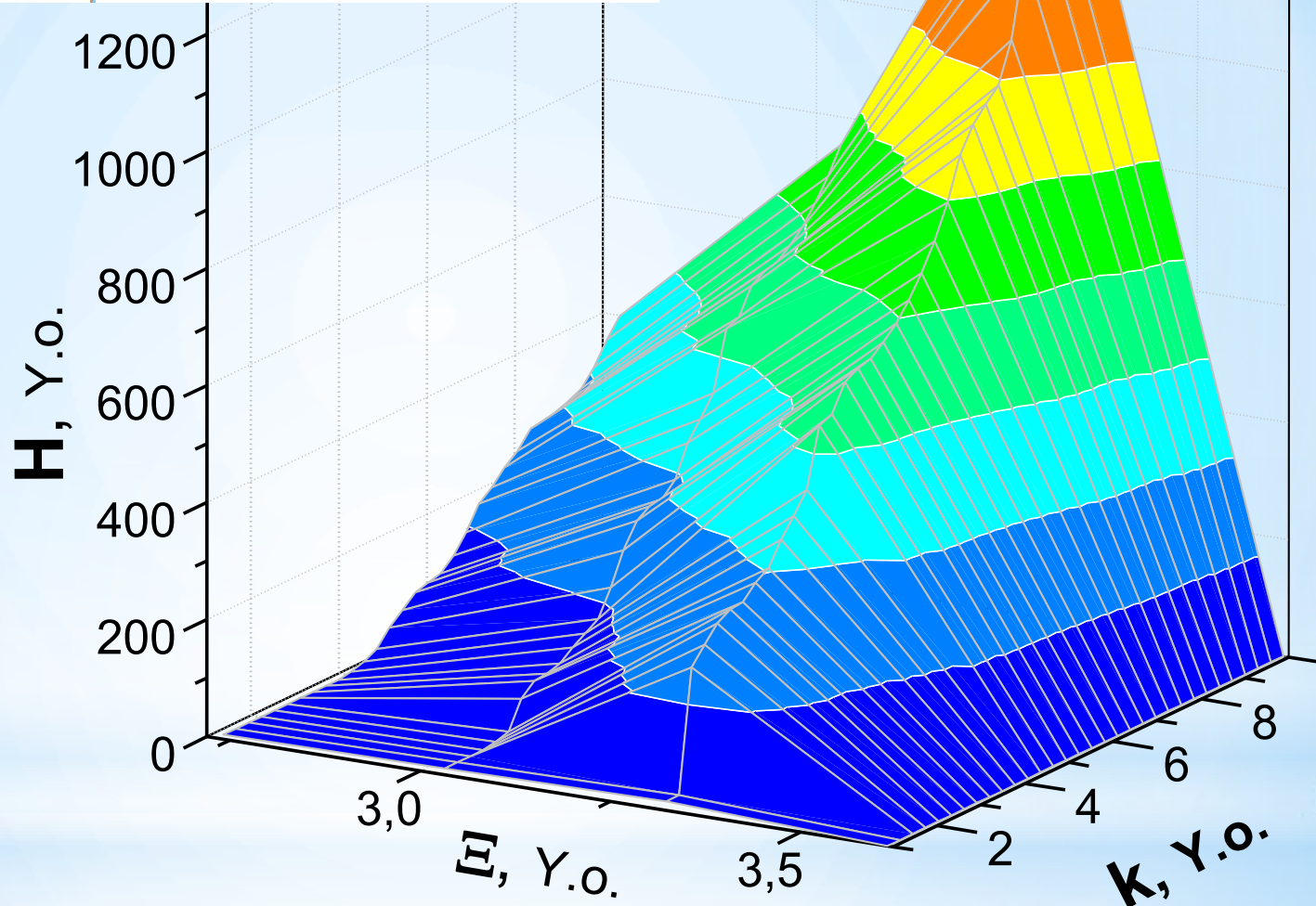


Чисельний розрахунок області стійкості

$$s^4 - Hs^3 + s^2(k + \Xi) - kHs + k\Xi - 1 = 0$$

Область стійкості
шукається з умови, що
коріння дійсні

Рівняння четвертого
порядку має три
параметри k , Ξ , H ,
якими можна
характеризувати
безрозмірні величини
поперечної жорсткості,
перекидального
моменту, швидкості
обертання. Прогонка по
 k , Ξ , H дозволяє
виявити область
стійкості за цими
параметрами за
допомогою пакету
програм «Математика».



нижня межа для перекидного моменту дорівнює $\Xi \approx 2.62$.

Для $\Xi = 2.63 \Rightarrow k = 0.451, H_1 = 2.9407, H_2 = 2.9417$

Для $\Xi = 60 \Rightarrow k = 0.0187, H_1 = 251.89, H_2 = 252.18$

Поблизу граничних значень k граничні H_1 і H_2 практично зливаються

Розрахунок параметрів для конкретної системи

можливу реалізацію підвісу з використанням постійних магнітів з самарій-кобальту ($j_0 = 600$ kA/m) з інертною масою вовчка з плексигласу (густина 1.2 g/cm^3)

Габарити нижнього магніту з самарій-кобальту $55 \times 15 \text{ mm}$ (діаметр, висота),

Висота підвішеного магніту 5 mm

Таблиця. Параметри магнітів і волчка

$j_1, j_2,$ kA/m	$d_2,$ mm	$m_{\max},$ g	$m_1,$ g	$m_2,$ g	$R_2,$ cm	$A,$ gcm ²	$C,$ gcm ²	$L,$ cm	Ξ	k	N_1, N_2	f, Hz
600	16	395	8.2	375	9.97			4.99	0.92	Нестійкий		
600	10	154	3.2	140	6.1			3.05	1.50	Нестійкий		
600	5	39	0.8	30	2.82	59.6	119	1.41	3.25	0.26, 0.28	3,41-3,47	5,06-5,15
250	20	32	8.6	20	2.30	37.3	57.2	1.14	7.3	0.13, 0.14	5,66-10,03	12,2-21,2
250	16	21	5.5	12	1.78	16.5	20.8	0.97	8.6	0.10, 0.11	5.83-12.28	16.5-34.8

j - щільність поверхневих струмів

d_2 - діаметр підвішеного магніту

m_{\max} - максимальна підйомна маса

m_1 - маса підвішеного магніту

m_2 - величина інерційної маси

R_2 - радіус інерційної маси

A - екваторіальний поперечний момент інерції

C - осьовий поперечний момент інерції

L - приведений радіус інерційної маси

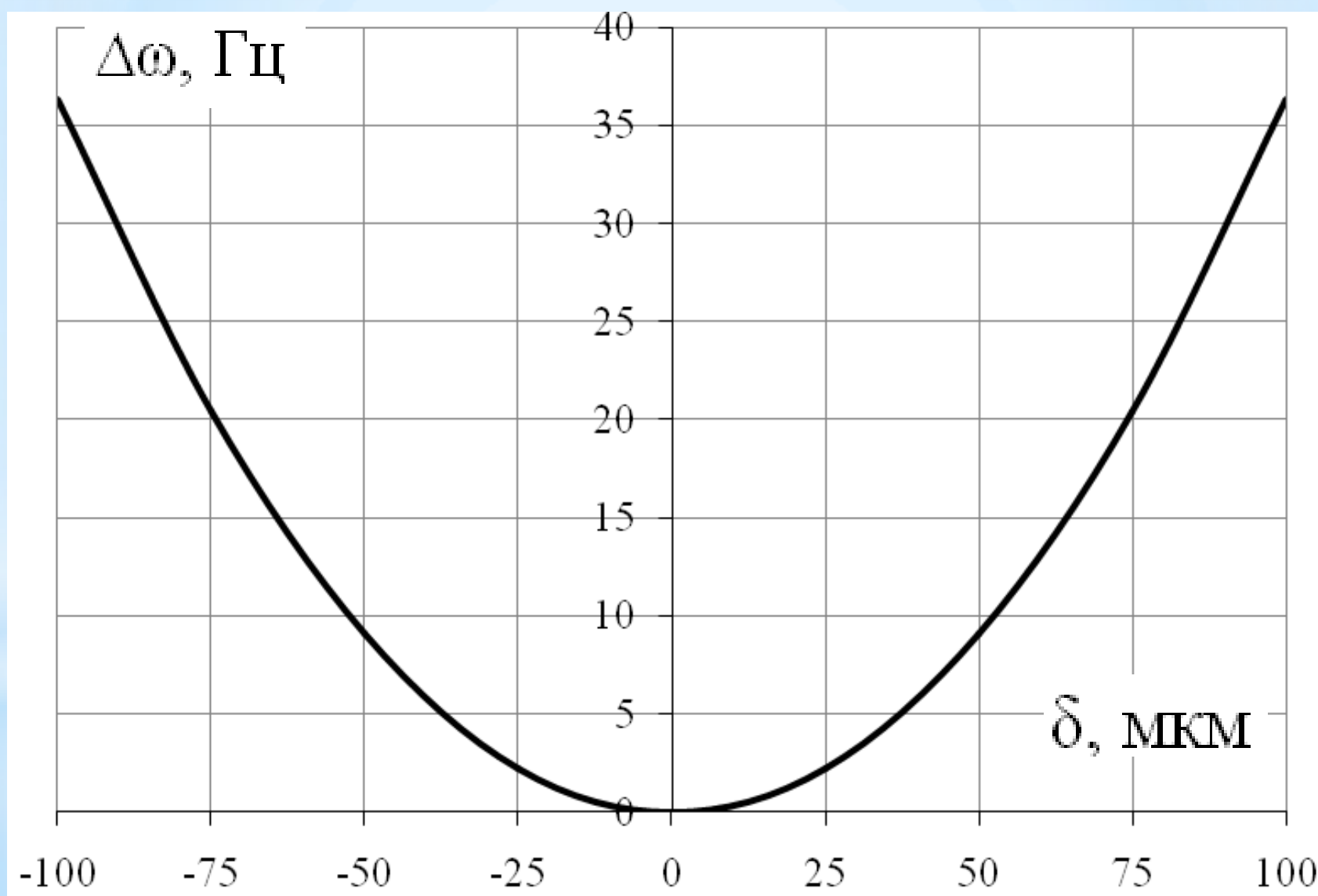
Ξ - безрозмірний перекидаючий момент

k - безрозмірна поперечна жорсткість

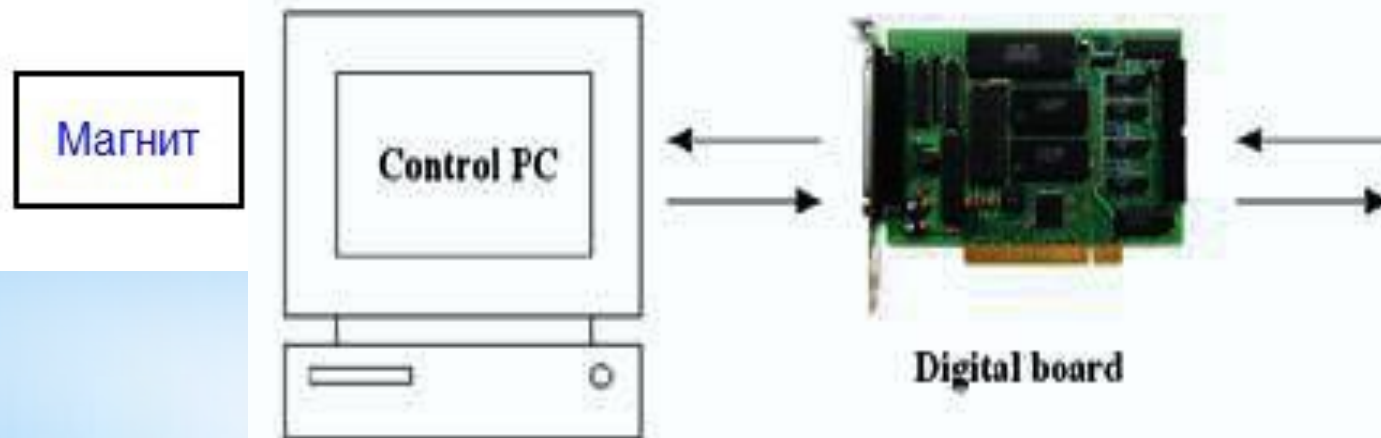
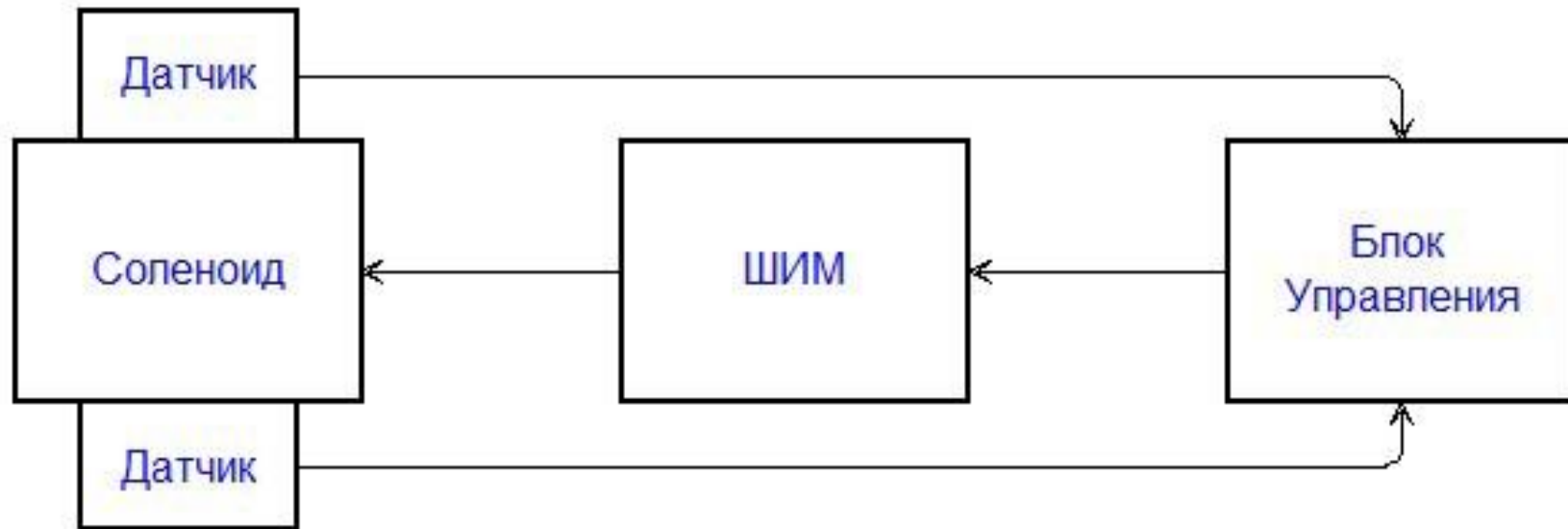
N - безрозмірні швидкості обертання

При діаметрі магніту 5 mm стійкість досягається при досить великому k , але в дуже вузькому частотному діапазоні. Для $j_0 = 250 \text{ kA/m}$ (з великим діаметром нижнього магніту) виходить помірна величина перекидаючого моменту ($\Xi = 7.3, 8.6$) і стійкість має місце в досить великому інтервалі швидкостей обертання, але не дуже малій величині поперечної жорсткості.

Залежність зсуву власних частот Δ від величини не соосності левітуючого магніта



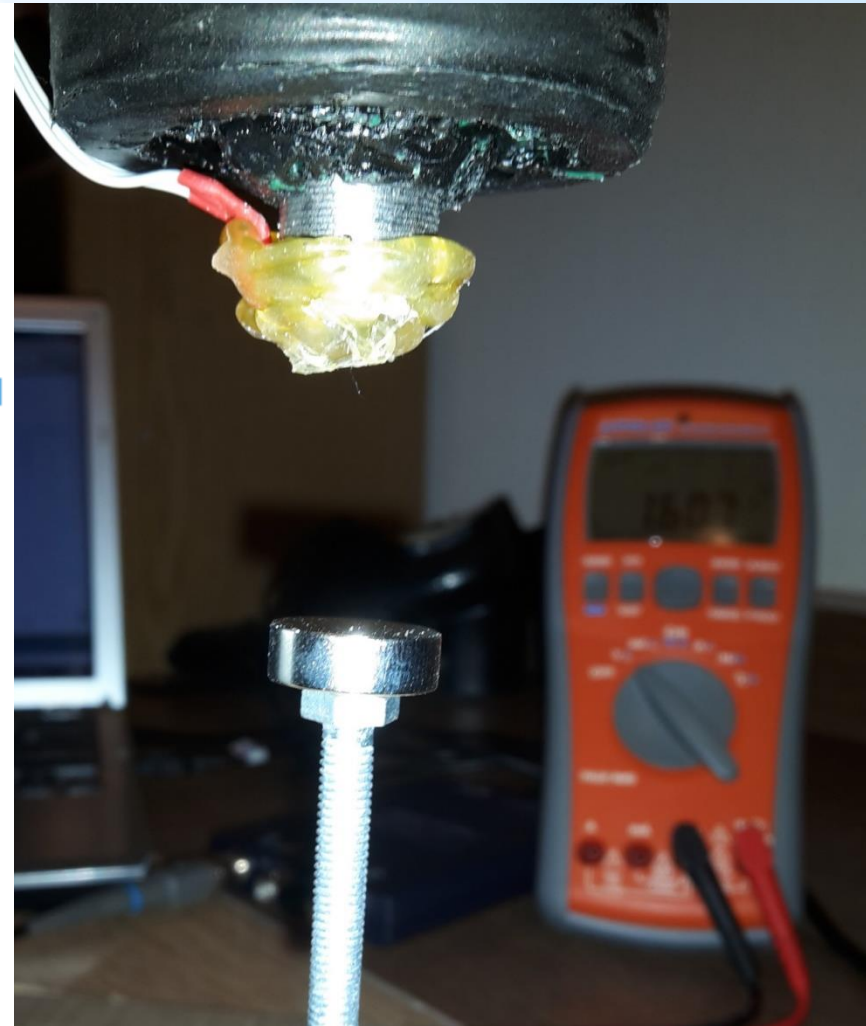
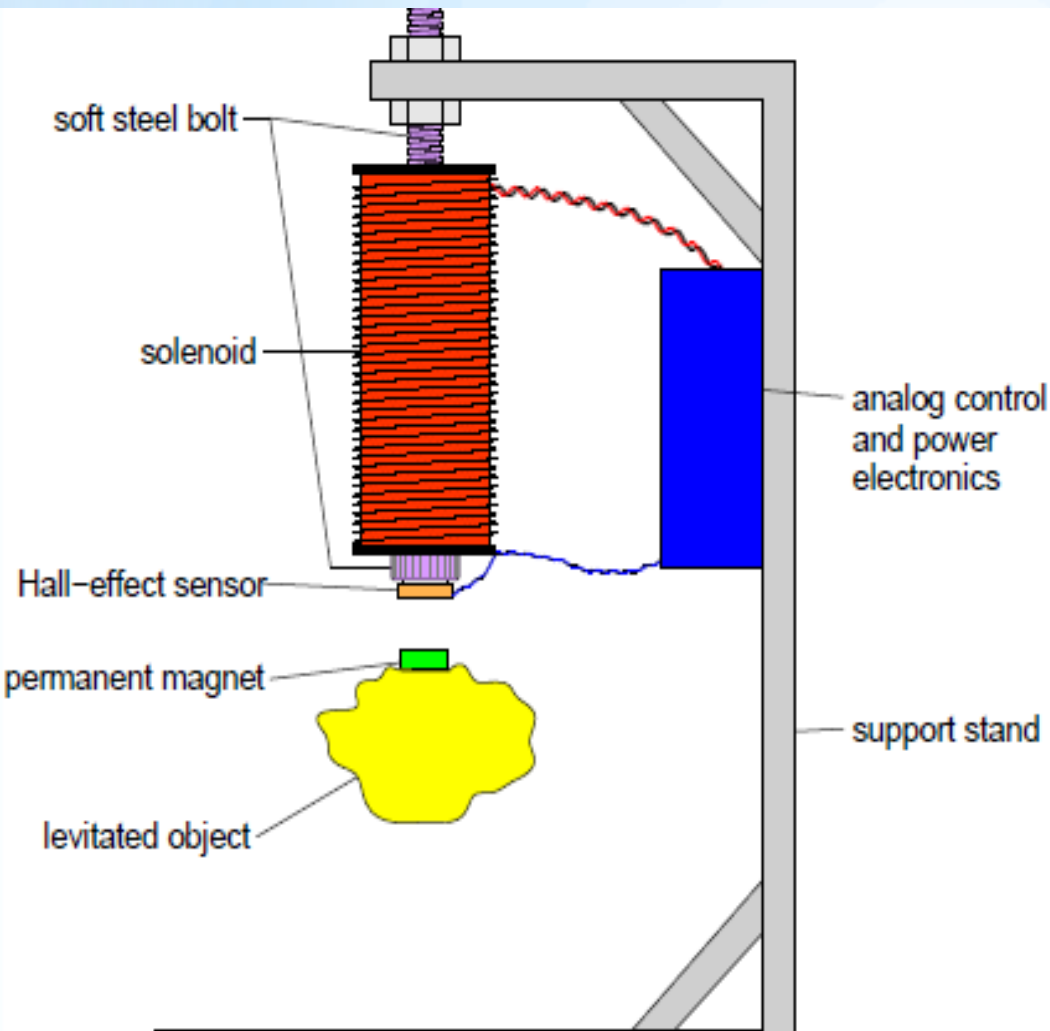
функціональна схема системи стабілізації магнітного підвісу із зворотнім зв'язком

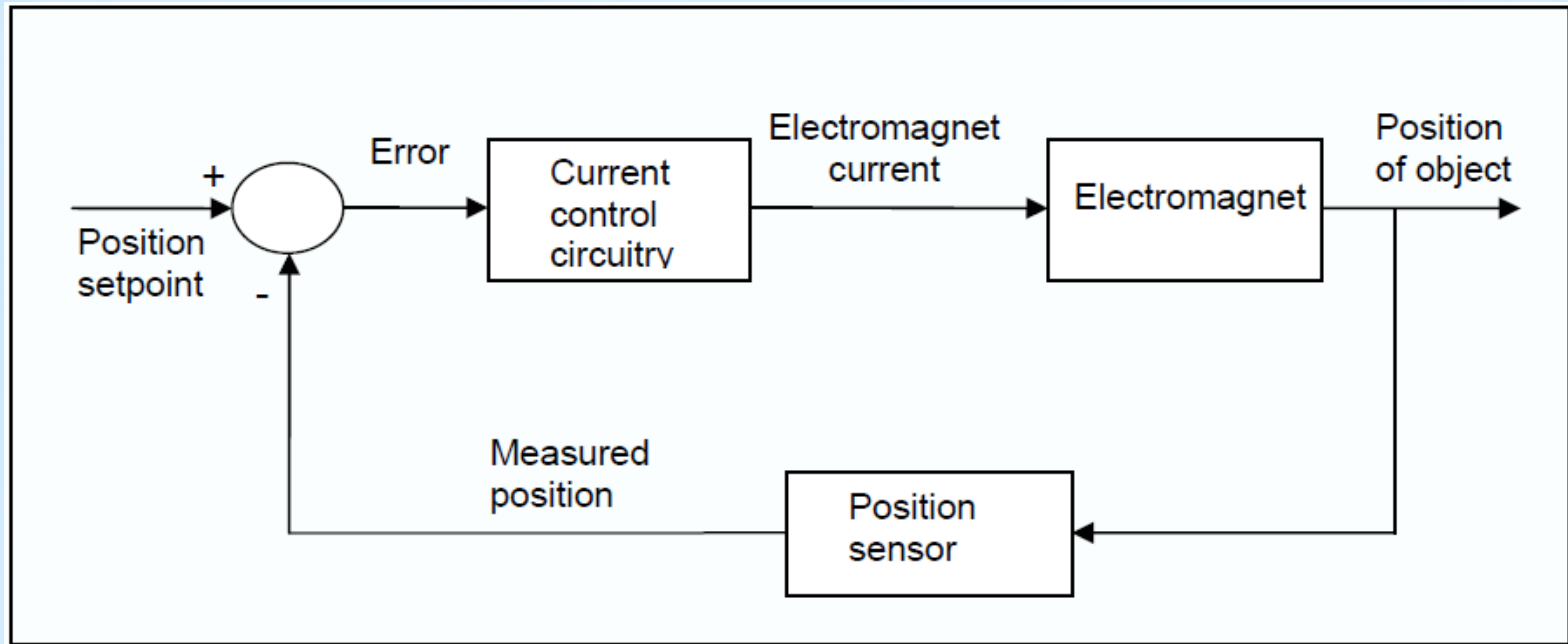


Magnetic levitation system

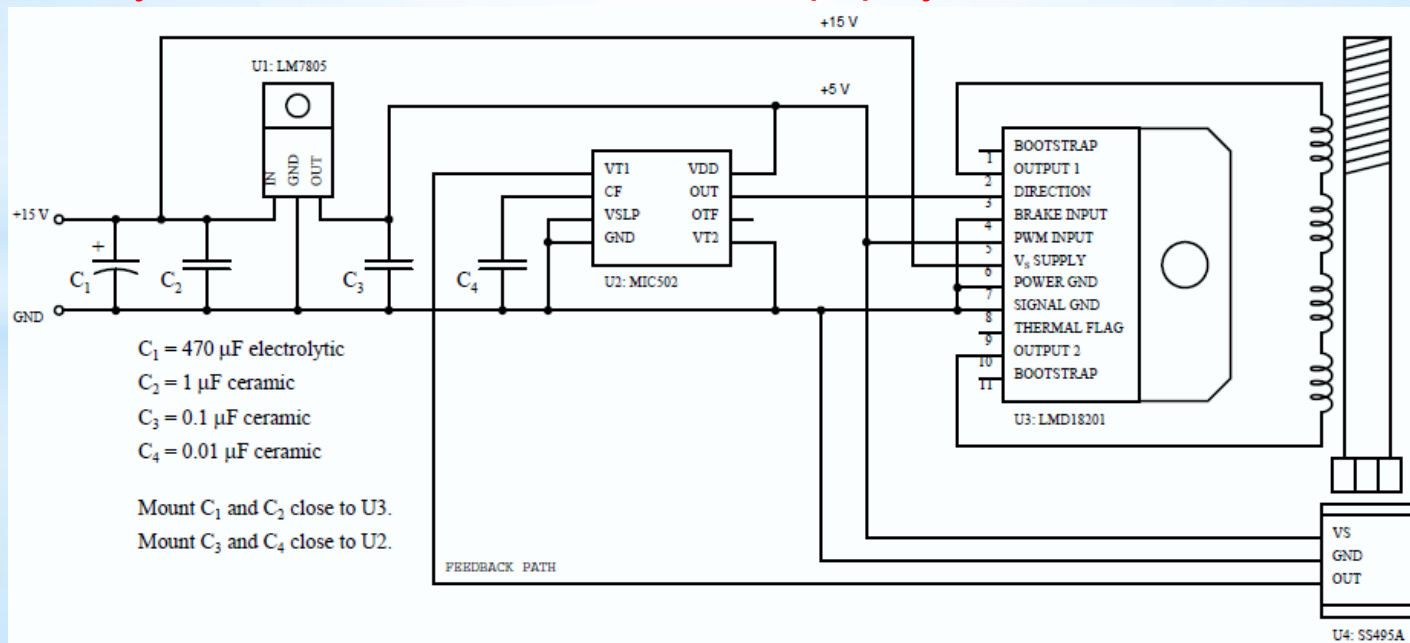
безконтактний підвіс з одним ступенем вільності

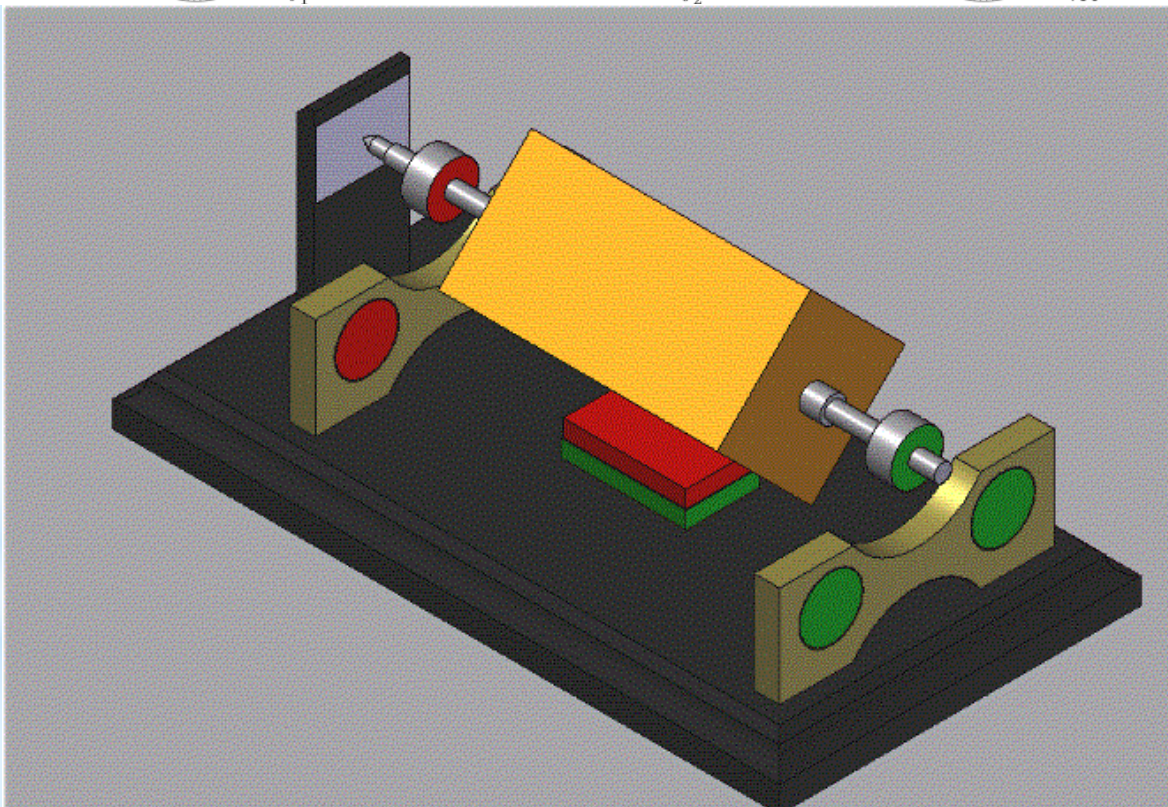
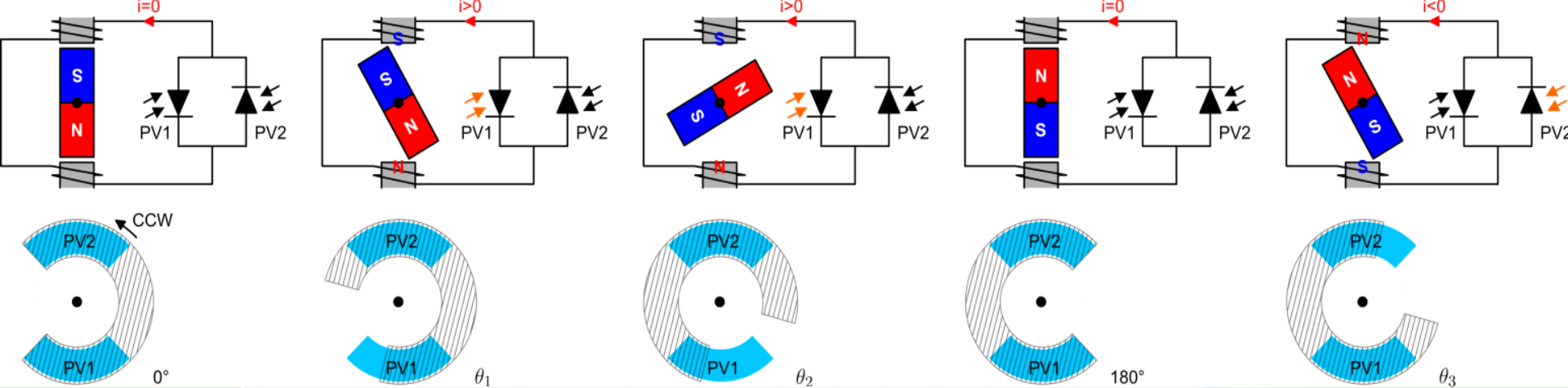
Система вимірює положення об'єкта з датчиком Холла і керує струмом в соленоїді для підтримки левітації.





Положення левітації об'єкта сприймається датчиком Холла SS495. Вихідна напруга з датчика поступає на вхід чіпа MIC502. Чіп формує сигнал ШІМ для LMD18201.





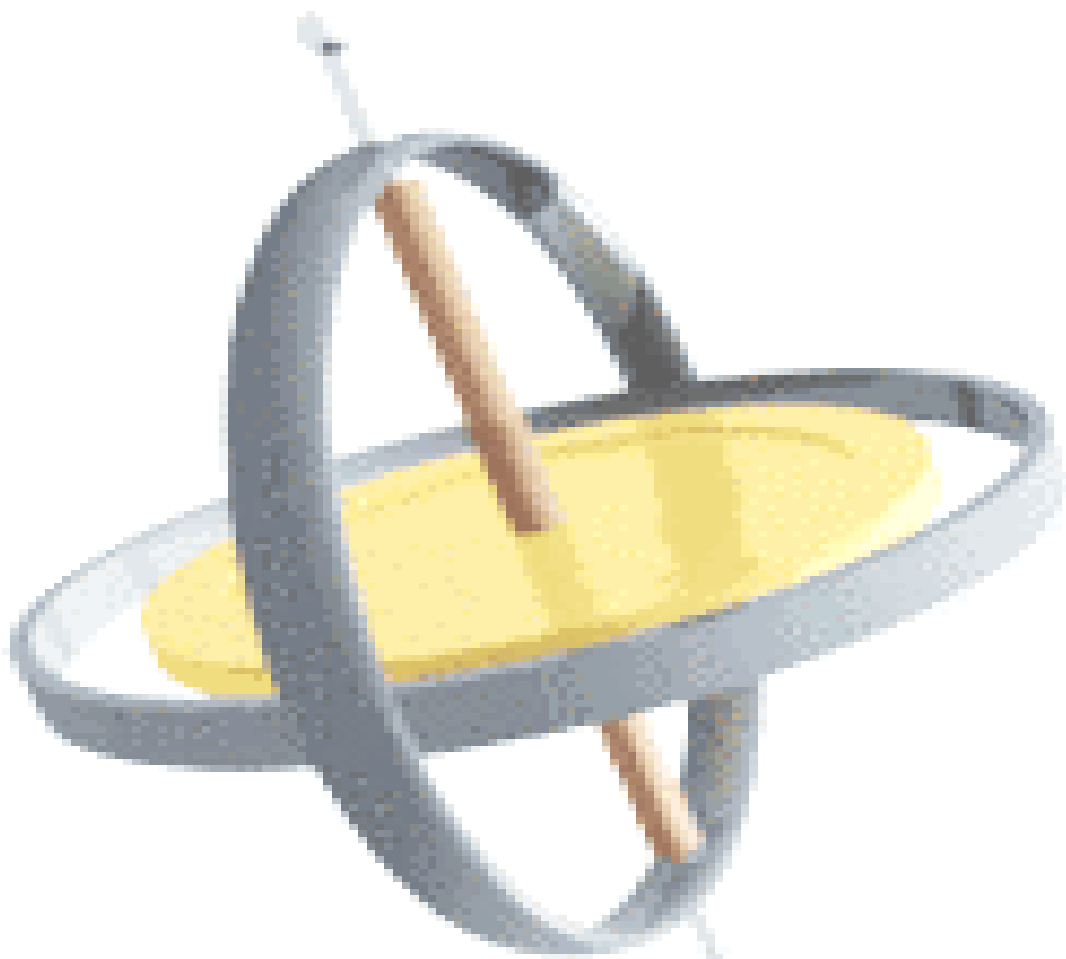
MOTORs MENDOCINO



Зовнішній вигляд двигуна Мендосіно під час роботи.

ВИСНОВКИ

1. Заборона теореми Ірншоу на стійке утримання в полі інших зарядів долається введенням магнітного поля і сили Лоренца, аналогічною гіроскопічним силам.
2. Стабілізація можлива, якщо ступінь нестійкості парна. Відповідно до цього знаки і конфігурація зарядів беруться такими, щоб для зміщень уздовж осі зарядів була стійкість, а для двох поперечних зміщень нестійкість.
3. Для двох зустрічних магнітів також має місце стійкість по осьовому зміщенню і нестійкість по двом поперечним і до того ж додається нестійкість за двома кутами. Стійкість досягається в деякому кінцевому інтервалі швидкостей обертання, що повинна контролюватися в реальному часі за допомогою периферійних пристроїв ЕОМ.
4. Стабілізація систем магнітного підвісу з N ступенями вільності може дозволити маніпулювати мінісистемами робототехніки, а для активних засобів захисту інформації згенерувати притік електроенергії, що може забезпечити їх повну автономність та покращить мобільність. .



Дякую за увагу!

1. *Тамм И.Е.* Основы теории электричества. М.: Наука, 1976. Издание 9.
2. Мартыненко Ю. О проблемах левитации тел в силовых
www.valtar.ru/Magnets3/magnets7.htm
3. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Краткий курс теоретической физики. Кн. 1. Механика, электродинамика. М.: Наука, 1969. 276 с.
4. *Бронштейн Н.Н., Семендяев К.А.* Справочник по математике. М.: Наука, 1986. 544 с.
5. Осокин Ю.А., Герди В.Н., Майков К.А., Станкевич Н.Н. Теория и применение электромагнитных подвесов. – М.: Машиностроение, 1980 – 284 с.
6. Анцев Г.В., Богословский С.В., Сапожников Г.А. Проектирование устройств с электромагнитным подвесом. – М.: Наука, Техносфера, 2010 – 422 с.
7. *Мартыненко Ю.Г.* Движение твердого тела в электрических и магнитных полях. М.: Наука, 1988. С. 368.
8. *Брагинский В.Б.* Физические эксперименты с пробными телами. М.: Наука, 1970. С.76