

Неодимијум магнети



Увод

- Неодимијум магнети су стални (перманентни) магнети начињени од легуре неодимијума, жељеза и бора. Познати су под именом NdFeB, NIB, или NEO магнети
- То су најјачи познати перманентни магнети на свијету. Далеко су јачи од добро познатих феритних магнета

Историја

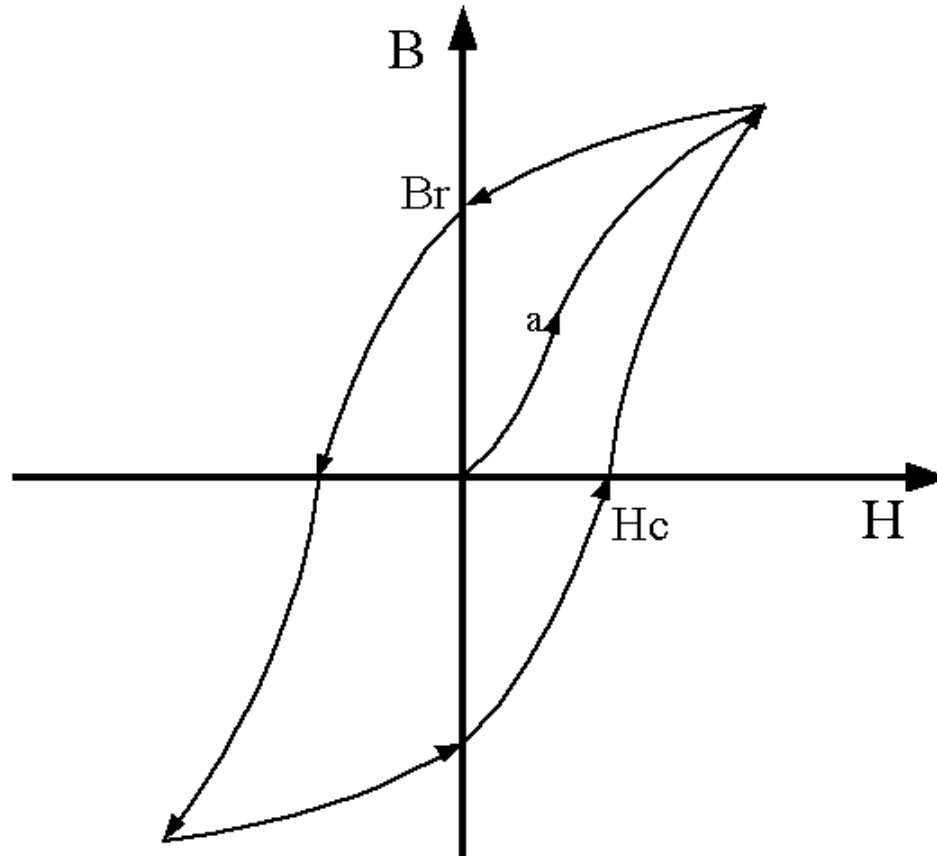
- Неодимијум магнети су изумљени 1982. у САД (General motors, Sumitomo special metals)
- Неодимијум је хемијски елеменат из групе лантанида (елемената ријетких земаља). У периодном систему елемената је редног броја 60 а масеног 144, температуре топљења 1294 К
- То је метал сребрено-сиве боје, мекан је и растезљив. Реагује са кисеоником из ваздуха па се мора чувати у атмосфери од инертног гаса или у вакуму или испод слоја лаког минералног уља

- Неодимијум је откривен 1885. г. У Земљиној кори је најраширенији метал ријетких земаља али га нигдје нема у богатим рудним наслагама. Далеко највише метала ријетких земаља има у Кини
- Кина остварује 95% свјетке производње елемената ријетких земаља и доминантна су снага у производњи неодимијумских магнета (око 76% свјетске производње ових магнета).

Карактеристике магнета

- Реманенција (заостали магнетизам) B_r , мјери јачину магнетног поља
- Коерцитивност (јачина поља потребна да се одстрани заостали магнетизам) H_c , карактерише отпорност материјала на размагнетисавање
- BH_{max} , густина енергије магнетног поља
- Киријева температура, температура на којој магнет губи свој магнетне особине

Магнетна хистереза



Ознаке неодимијум магнета

- Неодимијумски магнети имају једноставне ознаке нпр. N35. (кинеско означавање)
- Слово N означава само да је магнет неодимујумски
- двоцифрени број означава максималну густину енергије магнетног поља (BH_{max}) изражену у MGOe гдје је
1MGOe (cgs јединица) једнако 7958kJ/m³
(SI јединица)

- У слободној продаји се могу наћи магнети из опсега N24 до N52
- Послије ознаке магнета могу се појавити још једно или два слова нпр. N35M или N42SH
- Ова додатна слова означавају опсег температура у којима магнет може да ради без губитка магнетних особина

Особине

- Далеко су јачи од феритних магнета исте масе (8 до 10 пута)
- Могу држати 1300 пута већу масу од властите
- Производе се за радне температуре од 80-200 степени целзијуса (најчешће до 80)
- Ради површинске заштите обложени су танким слојем никла, цинка, бакра или PVC..

- Прихватљиве су цијене
- Постали су незамјенљиви у електромоторима, звучницима, микрофонима, рачунарима, индустрији (аутомобилској ,војној ...), школству, истраживањима, хобију
- Одлични су за разне демонстрације, поготову левитације и вртложних струја
- Толико су јаки да ако се поставе на глатку површину или објесе о конац одмах поставе у правцу сјевер-југ као магнетна игла
- Крти су, па се често ломе при судару са другим магнетом усљед међусобног привлачења или неким металним предметом

Магнетни момент μ

- Магнетни момент је величина која одређује колики ће момент силе дјеловати на магнет у спољашњем хомогеном магнетном пољу

$$\vec{M} = \vec{\mu} \times \vec{B}$$

- Магнетни момент се дефинише као векторска величина чији је смјер од јужног према сјеверном полу магнета. Мјерењем момента силе на магнет у хомогеном магнетном пољу мјери се магнетни момент непознатог магнета
- Из формуле којом је дефинисан магнетни момент слиједи и његова јединица J/T

Магнетни полови

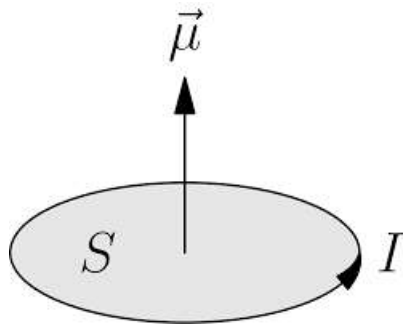
- Објашњење магнетног момента се мијењало током времена. Уџбеници до 30-тих година 20. вијека су дефинисали магнетни момент користећи хипотетичке магнетне половине
- Извори магнетног момента у материјалу могу се представити помоћу половина по аналогiji са електростатиком. Тако узимамо да шипкасти магнет има два магнетна пола исте јачине али супротног поларитета. Сваки пол је извор магнетне силе која опада са растојањем. Пошто магнетни полови постоје увијек у пару њихове силе (на сусједни магнет) се дјелимично поништавају. Ово нарочито долази до изражаја када су полови близу један другог као нпр. код магнета мале дужине

- Магнетна сила коју ствара шипкасти магнет у некој тачки простора стога зависи од два фактора: јачине полова p и од растојања између полова l па се магнетни момент односи на фиктивне полове $\mu = pl$ и има смјер од од јужног ка сјеверном полу (по аналогији са електричним диполом)
- Аналогију магнетних дипола са електричним није могуће спровести до краја због везе између магнетног момента и момента импулса, али је ова аналогија и даље корисна у магнетостатичким прорачунима у примјени феромагнета

Модел струјне контуре

- У 19. вијеку Ампер је утврдио везу између јачине електричне струје и магнетног поља и закључио је да су магнетне силе посљедица кружних струја на молекулском нивоу.

Магнетни момент кружне струје је дефинисан као $\vec{\mu} = IS$



20. вијек

- Микроскопска теорија магнетизма развијена је у 20. вијеку. Магнетизам атома потиче од магнетних момената електронских орбита као и од магнетног момента спина електрона и магнетног момента језгра (магнетни момент је карактеристика и протона и неутрона)
- Иако су разјашњене многе појаве у свијету магнетних материјала још увијек постоје појаве које не разумијемо у потпуности па је и данас магнетизам подручје које се интензивно истражује

Дјеловање спољашњег магнетног поља на магнетни момент

- Магнетни момент у спољашњем магнетном пољу има потенцијалну енергију

$$U = -\vec{\mu} \cdot \vec{B} \quad \text{или} \quad U = -\mu B \cos \vartheta$$

- У случају да магнетно поље није хомогено постојаће сила на магнет која је пропорционална градијенту магнетног поља које дјелује на магнетни момент

- Постоје два израза за израчунавање силе која дјелује на магнетни дипол зависно од тога да ли за дипол узимамо струјну контуру или два магнетна монопола.

- У моделу струјне контуре израз за силу је:

$$F = \nabla(\vec{\mu} \cdot \vec{B})$$

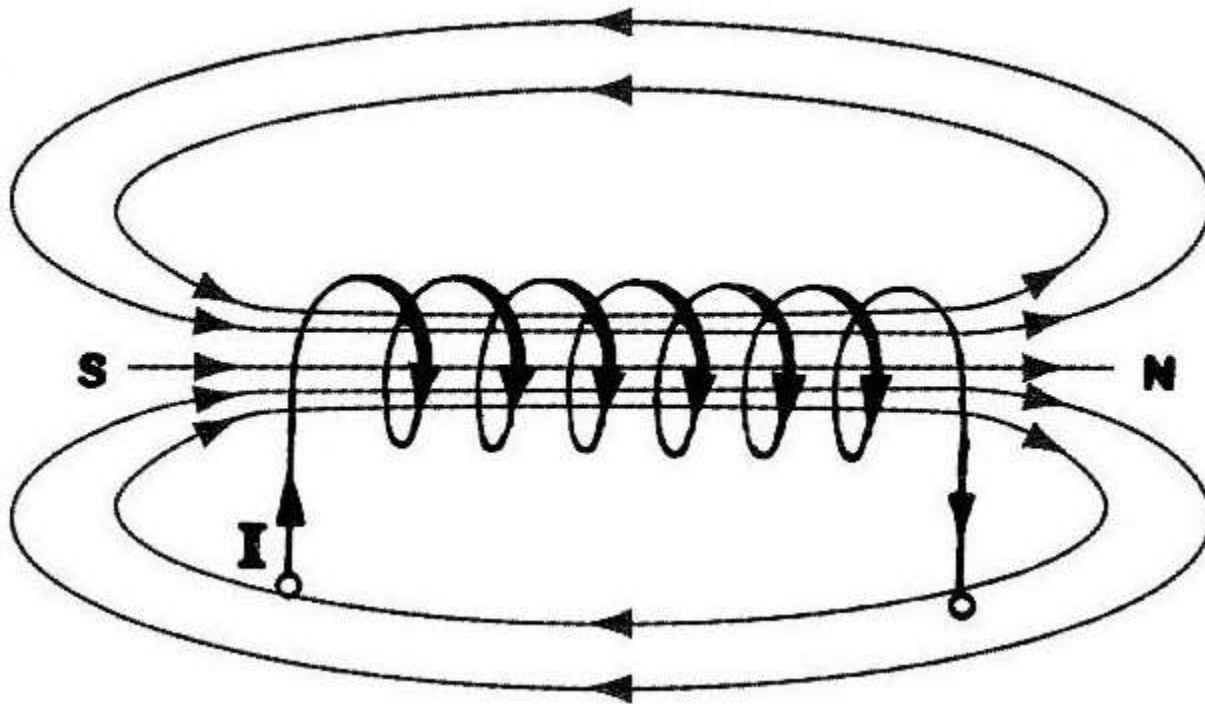
- У моделу магнетних полова

$$F = (\vec{\mu} \cdot \nabla)\vec{B}$$

- Оператор $\nabla f = \frac{\partial f}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial f}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial f}{\partial z} \vec{k}$

- Уколико нема електричних струја или временски промјенљивих електричних поља оба израза за силу су иста.

Магнетно поље калема



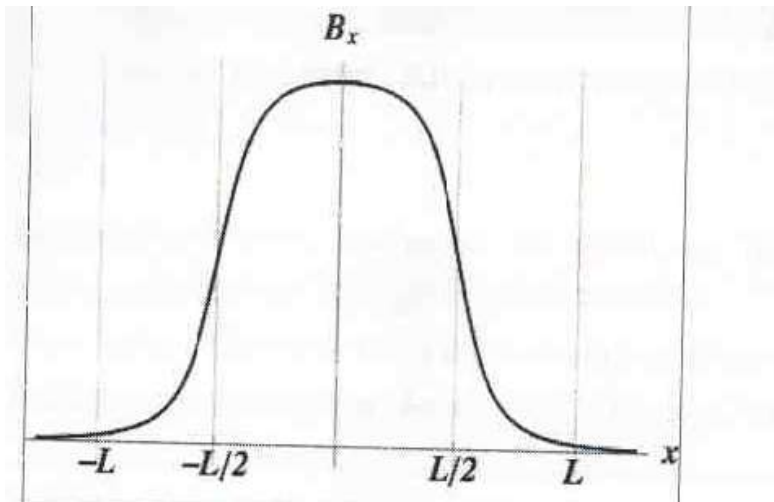
Демонстрација 1. “Воз” кога покреће електромагнет

- Потребан материјал: 30-40 m неизоловане бакрене жице пречника у интервалу 0,5 до 1mm. Два неодимијумска магнета у облику диска пречника 12 mm. Батерија типа ААА.
- Бакарна жица је намотамана у спиралу као на слици. Размак између навојака је до 1 mm. Унутрашњи пречник овог калема је 13 mm.
- Када се батерија са магнетима на својим крајевима стави унутар калема она се креће дуж осе калема константном брзином.



- Електрична струја тече од + пола батерије кроз магнет и спиралу калема до – пола батерије (само дио калема ограничен дужином батерије са магнетима ствара магнетно поље)
- Узрок кретања је сила којом магнетно поље калема калема дјелује на магнете на крајевима батерије.
- Да би се систем кога чине батерија са магнетима кретао нужно је да су исти полови магнета окренути супротно од батерије.

Магнетно поље дуж осе калема није хомогено него се мијења према датом графику. Са графика се види да је поље најјаче у средишту калема на његовој оси ($x=0$) и да је на крајевима калема упола слабије ($x=L/2$, $x=-L/2$)



- Сила којом магнетно поље калема дјелује на магнете на лијевом крају батерије ($x=-L/2$) и на десном крају батерије ($x=L/2$) може се израчунати као:

$$F = \mu \frac{\partial B}{\partial x} \cos \alpha$$

- Ако је N пол калема на лијевом крају калема а магнетни момент магнета на лијевом крају батерије усмјерен улијево, угао између вектора магнетне индукције калема и магнетног момента магнета је нула а израз $\cos \alpha$ ће бити позитиван. Такође са графика се види да је у том случају и $\frac{\partial B}{\partial x}$ позитивно.

- Израз за силу на магнет на лијевом крају је позитиван што значи да је сила у смјеру + x осе.
- За магнет на десном крају батерије вектор магнетне индукције калема је усмјерен улијево а магнетни момент магнета је усмјерен удесно. Угао између ових вектора је 180 степени, а косинус овог угла је негативан. Са слике се види и да је на десном крају негативно и $\frac{\partial V}{\partial x}$.
- Слједи да је израз за силу на магнет на десном крају магнета позитиван, што значи да сила дјелује удесно (као и сила на магнет на лијевом крају батерије)

- Под дјеловањем двије сталне силе истог смјера батерија са магнетима би требало да се креће убрзано, међутим из експеримента је видљиво да се систем креће константном брзином? (можемо сматрати да је сила трења током кретања овог система приближно константна и очигледно је мања од вучне силе)
- Разлог зашто овај “воз” не повећава стално брзину је индукована струја у калему и Ленцово правило.
- Магнети на крајевима батерије током кретања стварају промјенљиво магнетно поље у калему који је ограничен дужином батерије.
- Ова индукована струја својим магнетним пољем се супроставља узроку свог настанка. То значи да ће магнетно поље индуковане струје дјеловати на магнет силом која је супротна од смјера кретања магнета.
- “Воз” врло кратко повећава своју брзину док збир силе коју ствара индукована струја и силе трења не постане једнак вучној сили (сили којом магнетно поље калема дјелује на магнете) надаље се креће константном брзином.

- Ако би занемарили трење воз би требао да се креће неограничено дуго. Међутим послије неколико минута кретање воза престаје.
- Узрок овоме је електрична отпорност калема, магнета и батерије. Током протицања струје ови елементи се загријавају и батерија губи своју енергију. Када довољно опадне јачина струје кроз ово коло – воз стаје (батерија је потрошила већину своје енергије)

Демонстрација 2. Врложне струје и Ленцово правило

- Потребан материјал: бакарна цијев дужине око 1 m и неодимијумски магнет димензија нешто мањих од унутрашњег пречника цијеве.
- Кроз вертикално постављену цијев пустимо да слободно пада жељезна куглица и уочавамо да она кроз цијев пролази врло брзо, по законима слободног пада (вријеме проласка мање од 0,5 секунде).
- Након тога кроз цијев пуштамо да слободно пада неодимијумски магнет. Уочавамо да је вријеме његовог проласка кроз цијев око 5 секунди.

- Узрок спорог пада магнета кроз цијев је индукована струја настала усљед промјенљивог магнетног поља магнета који се креће кроз цијев. Магнетно поље индуковане струје на магнет дјелује силом супротног смјера од смјера брзине магнета. (супротно од смјера гравитационе силе).
- Магнет током пада може да се обрће или мијења своју оријентацију у простору, али у сваком моменту индукује се (вртложна) струја која према Ленцовом правилу има такав смјер да се својим магнетним пољем супроставља узроку свог настанка.
- Резултујућа сила на магнет је мања од гравитационе силе па магнет пада са убрзањем мањим од гравитационог што знатно продужава вријеме пада.

Демонстрација 3. Модел звучника

- Потребан материјал: неодимијумски магнет извађен из хард диска расходованог рачунара, калем, аудио уређај који има излаз за слушалице или звучнике (МП3 плејер, мобилни телефон, радио апарат..)
- Када се крајеви калема споје на проводнике који долазе од излаза за слушалице аудио уређаја, кроз калем ће протицати промјенљива струја. Магнетно поље калема ће се мијењати (јачина и смјер) у ритму промјене јачине струје кроз калем.
- Ако непосредно испод калема поставимо плочицу од неодимијумског магнета, између магнета и калема ће се појављивати промјенљива сила (час привлачна час одбојна). Сила ће се мијењати у ритму промјене магнетног поља односно струје кроз калем.
- Промјенљива сила на магнет која се мијења много пута у секунди изазваће осциловање плочице магнета у ритму промјене силе. Осциловање плочице ће се пренијети на околни ваздух и слушалац који је ухо примако врло близу плочице чуће звук који потиче од аудио уређаја.
- Ако прстима додирнемо плочицу осјетићемо слабе вибрације.
- У описаној демонстрацији кориштен је калем који се налази на глави за читање података из хард диска рачунара из којег је извађен и магнет.



МП3 плејер и калем су спојени преко излаза за слушалице са калемом постављеним изнад неодијумског магнета



Неодијумски магнет извађен из хард диска рачунара