

# KETTŐS FORGÓRÉSZŰ VIBROMOTOR FEJLESZTÉSE

## A kutatási téma rövid leírása

A kettős forgórészű vibromotor működésének lényege, hogy a megszokott kialakítással szemben nem egy, hanem két excentrikus forgórészt hajt meg függetlenül két elektromotor, ezzel hozva létre rezgéseket. A kettős excenteres kialakítással lehetőség nyílik arra, hogy a gerjesztett rezgéseknek az amplitúdóját és frekvenciáját függetlenül be lehessen állítani, így növelve a rezgések által átadott információt (pl. járművek passzív biztonsági berendezései, mobiltelefonok rezgő jelzése, orvosi/rehabilitációs alkalmazások).

A kutatás a COSMOSYS magyar-szingapúri nemzetközi projekt keretein belül folyik.

## A kutatás történetének, tágabb kontextusának bemutatása



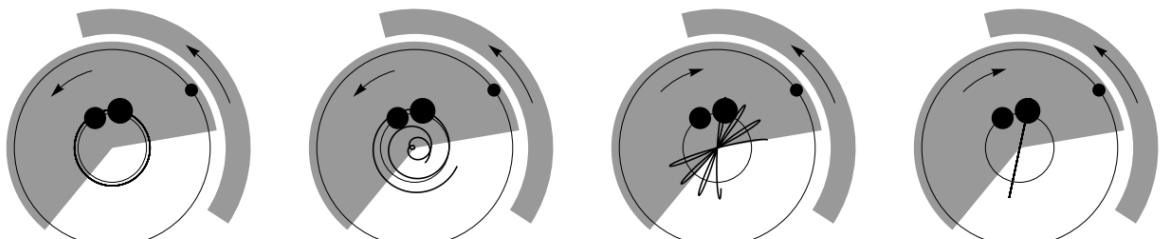
Az iPhone 3g vibromotorja

Vibromotorokat számos területen alkalmaznak. Jellemző felhasználásuk az iparban a talaj- vagy betontömörítő gépek, anyagszállító rendszerek, anyagválogatást végző rázó rosták és az anyagvizsgálati célokat szolgáló rázó berendezések. Vibromotorok megtalálhatók azonban kisebb méretekben mobil eszközökben és orvosi alkalmazásokban is, és ez talán a közismertebb felhasználásuk.

Ezeknek a kisméretű berendezéseknek az a feladata, hogy rezgések segítségével információt juttassanak el a bőr mechanikai receptorain keresztül az eszköz felhasználójának. Ezt a fajta visszacsatolást nevezik heptikus visszacsatolásnak, és nagy előnye, hogy a sokszor amúgy is túlterhelt érzékelési csatornákat (látás, hallás) tehermentesítheti.

## A kutatás célja

A kutatás célja, hogy a forgómotoros gerjesztés lehetőségei kibővíüljenek. Ezért egy kettős excenteres megoldás került kifejlesztésre, ahol két függetlenül hajtott excentrikus forgórész helyezkedik el úgy, hogy forgástengelyeik egy egyenesre esnek. A két forgórész egymáshoz képesti szöghelyzetétől függően, adott fordulatszám esetén, a gerjesztett rezgés amplitúdója nulla és egy adott érték között tetszőlegesen változtatható.

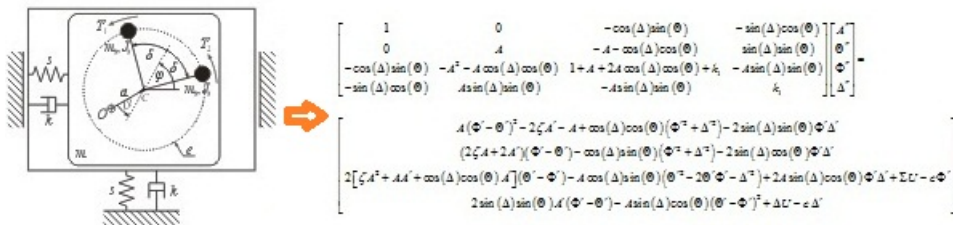


A forgórészek közös súlypontja mozgás közben

A megoldás működőképességének ellenőrzése érdekében létre kellett hozni a berendezés mechanikai modelljét, illetve modellezni kellett a szabályozást is. A modell létrehozása során számos olyan mechanikai probléma merült fel, amelyek vizsgálata szükséges volt a berendezés helyes működésének biztosításához.

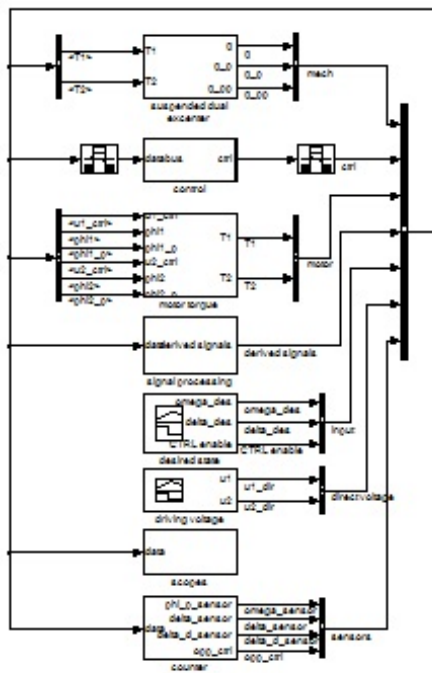
**Alkalmazott módszerek**

A mechanikai modell megalkotása többtest-modellezéssel történt. A modell fő alkotóelemei a két excentrikus forgórész, az azokat meghajtó motorok, a váz, amihez a motorok kapcsolódnak, valamint a váz rugalmas felfüggesztése, ami az egész szerkezetet a környezethez kapcsolja. A berendezés része a szabályozás, ami a mechanikai modellben a forgórészekre ható nyomatékként jelenik meg, így a matematikai modell ezen keresztül tartalmazza a szabályozási stratégiát. A motorok elektromos viselkedése jelleggörbéjükkel adható meg. A modell bemenő paraméterei a motorokra kapcsolt feszültségek.



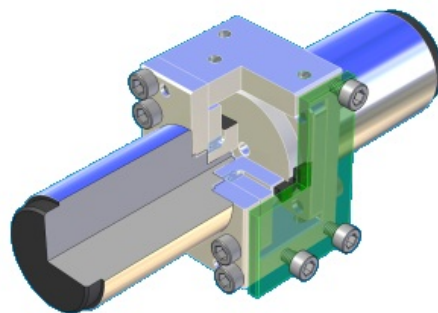
A vizsgálat lépései: mechanikai modell és az ebből származó mozgásegyenletek

A matematikai modell segítségével megvizsgálhatók a berendezés állandósult mozgásai szabályozással, illetve szabályozás nélkül, valamint megvizsgálható ezeknek a mozgásoknak a stabilitása, vagyis hogy például szabályozás nélkül mely munkapontokban lehetséges üzemeltetni a berendezést, vagy milyen paraméterek beállítása szükséges az optimális szabályozás eléréséhez.



Numerikus modell a szimulációhoz

További vizsgálati lehetőséget nyújt, hogy a matematikai modell alapján numerikus szimuláció készült. A programban lehetőség nyílik arra, hogy a valós működést nagy pontossággal közelítsük. Figyelembe vehető az alkatrészek mechanikai paramétereinek pontatlansága, részletesen lehet modellezni az elektromos viselkedést, valamint a digitális szabályozás tulajdonságait is (diszkrét mintavételezés, digitális ki- és bemenő jelek, időkésés, stb.).

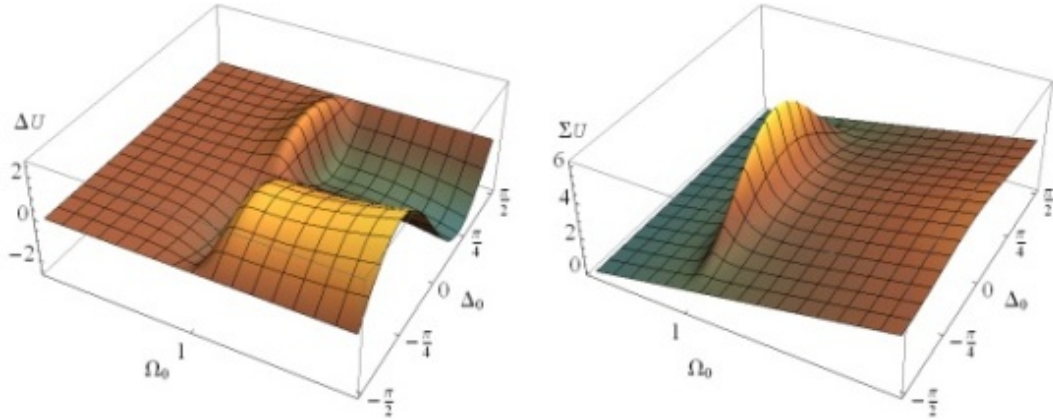


A kettős excenter CAD modellje

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -\cos(\Delta)\sin(\Theta) & -\sin(\Delta)\cos(\Theta) \\ 0 & A & -A - \cos(\Delta)\cos(\Theta) & \sin(\Delta)\sin(\Theta) \\ -\cos(\Delta)\sin(\Theta) & -A^2 - A\cos(\Delta)\cos(\Theta) & 1 + A + 2A\cos(\Delta)\cos(\Theta) + k_1 & -A\sin(\Delta)\sin(\Theta) \\ -\sin(\Delta)\cos(\Theta) & A\sin(\Delta)\sin(\Theta) & -A\sin(\Delta)\sin(\Theta) & k_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \\ \Phi \\ \Theta \\ \Delta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A(\Phi - \Theta)^2 - 2\zeta A^2 - A + \cos(\Delta)\cos(\Theta)(\Phi^2 + \Delta^2) - 2\sin(\Delta)\sin(\Theta)\Phi\Delta \\ (2\zeta A + 2A^2)(\Phi - \Theta) - \cos(\Delta)\sin(\Theta)(\Phi^2 + \Delta^2) - 2\sin(\Delta)\cos(\Theta)\Phi\Delta \\ 2[\zeta A^2 + A^2 + \cos(\Delta)\cos(\Theta)A](\Theta - \Phi) - A\cos(\Delta)\sin(\Theta)(\Theta^2 - 2\Theta\Phi - \Delta^2) + 2A\sin(\Delta)\cos(\Theta)\Phi\Delta + \Sigma L - c\Phi \\ 2\sin(\Delta)\sin(\Theta)A(\Phi - \Theta) - A\sin(\Delta)\cos(\Theta)(\Theta - \Phi)^2 + \Delta L - c\Delta \end{bmatrix}$$

**Eddigi eredmények**

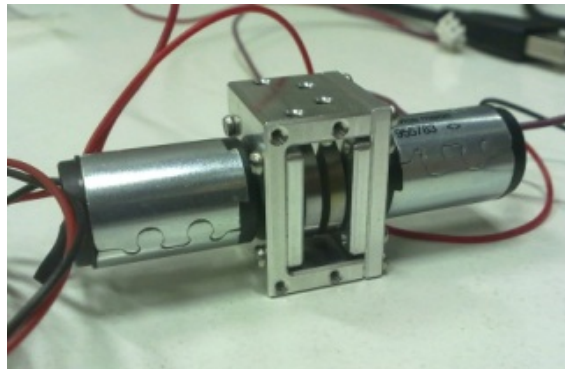
A kutatás jelen állása szerint szimulációk segítségével bizonyított, hogy a kettős excenteres megoldás működik. Szabályozás nélkül is léteznek olyan munkapontok, amelyeket a motorokra kapcsolt feszültségekkel be lehet állítani, de a gyors és pontos működéshez szükséges a motorok szabályozása. Figyelembe véve a tervezett eszköz fizikai paramétereit és a szabályozási stratégiát, Matlab® Simulink® modell készült.



A két meghajtó motorra kapcsolt feszültség különbsége (balra) és összege (jobbra), valamint a forgórészek fordulatszáma, és fáziseltolódása közti összefüggés állandósult állapotban

A matematikai modell alapján megtörtént a stacionárius mozgások és azok stabilitásának vizsgálata szabályozás nélkül. Ezekre a vizsgálatokra alapozva felírható a meghajtó motorok módosított jelleggörbéje, és ennek segítségével összefüggést lehet teremteni a motorokra kapcsolt feszültségek és a kialakuló rezgés jellemzői között.

Az elméleti eredmények alapján elkészült az eszköz prototípusa.

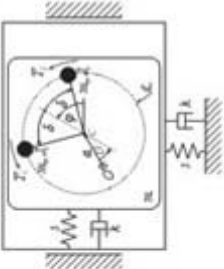
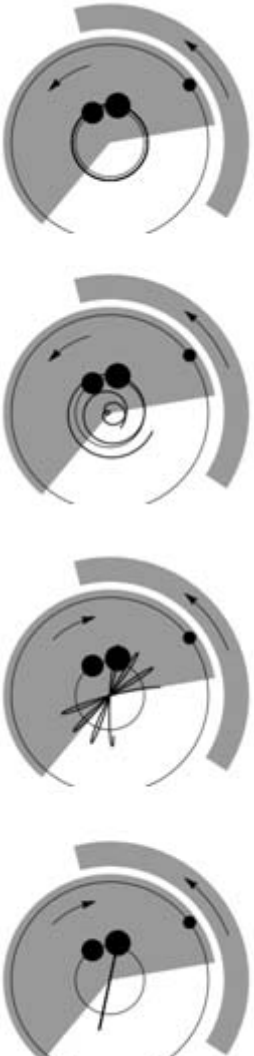


Az eszköz első prototípusa, ami már alkalmas arra, hogy mikrokontroller segítségével szabályozott módon meg is lehessen hajtani.

A dupla forgórészes vibromotor mind találmányként, mind pedig tudományos témaként kiváló lehetőségeket kínál.

Végső soron a találmány termékként történő bevezetése a cél. Ehhez az első lépés a szabadalmi kérelem benyújtásával meg is történt, tehát az eredmények már szabadon publikálhatók. Természetesen további cél a megfelelő ipari partnerek felkutatása, illetve egy tömeggyártásra alkalmas eszköz kifejlesztése.

Tudományos témaként a korábban említett mechanikai problémák jelentenek érdekes lehetőségeket. Ezek publikációja részben megkezdődött, de sok olyan terület van még, ami színvonalas folyóiratok érdeklődésére is számot tarthat.



$$\begin{aligned}
 & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\theta}_1 \\ \ddot{\theta}_2 \\ \ddot{\phi} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\sin(\Delta)\cos(\theta) & -\sin(\Delta)\sin(\theta) & 0 \\ \cos(\Delta)\cos(\theta) & \cos(\Delta)\sin(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \phi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \\
 & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\theta}_1 \\ \ddot{\theta}_2 \\ \ddot{\phi} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\sin(\Delta)\cos(\theta) & -\sin(\Delta)\sin(\theta) & 0 \\ \cos(\Delta)\cos(\theta) & \cos(\Delta)\sin(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \phi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$