

SZABAD DUGATTYÚS STIRLING GENERÁTOR DINAMIKAI MODELLEZÉSE ÉS FEJLESZTÉSE

DEVELOPMENT AND DINAMIC MODELING OF A FREE PISTON STIRLING GENERATOR

Máriás Nimród

SC ARIADNE IMPEX SRL Sfântu Gheorghe, STR. Lt. Păiș David, Nr. 12A, irányító-
szám: 520077, Județul Covasna, [Tel:0754-686883](tel:0754-686883), E-mail ariadne@planet.ro,
www.ariadneimpex.ro, mariasnimrod@yahoo.com.

Abstract

The Stirling engine can operate when it is connected with a source of heat. The provenience can be various: nuclear, sunlight, geothermal or fossil fuel. The Stirling generator can be used as electricity producer or as pneumatic or hydraulic pump actuator. Such a system can be used as energy provider for special vehicles or robots, or even buildings and domestic machines. In order to realize the Stirling system the build-up of a dynamic model was necessary, that estimates the probably behavior of the system

Keywords: *Stirling generator, free piston, solar energy, model, Bode diagram*

Összefoglalás

A Stirling generátor fűtésére hasadóanyag hőenergia, napfény, geotermikus energia, vagy fosszilis tüzelőanyagok szolgálhatnak. A Stirling generátor szolgáltathat villamos energiát, vagy üzemeltethet pneumatikus, illetve hidraulikus szivattyúkat. Egy ilyen rendszerrel speciális járművek, robotok energiaellátását lehet megvalósítani, vagy háztartások, épületek energiaellátását lehet kielégíteni. A Stirling generátor fejlesztésére szükség volt egy dinamikai modell felépítése, mely segítségével előre megközelíthető a rendszer viselkedése.

Kulcsszavak: *Stirling motor, szabaddugattyú, napenergia, modell, Bode-diagram.*

1. A szabaddugattyús Stirling- generátor

A fejlesztés során egy szabaddugattyús Stirling-generátor (SZDSG) tulajdonságait vizsgálom. A SZDSG működését jelentősen befolyásolja a kiszorító dugattyú mozgása, és a munkadugattyút terhelő generátor terhelési ellenállása. Szükséges megkeresni azt a segéd-dugattyú-keresztmetszetet, amelyen a kiszorító dugattyút sikerül mozgásra kényszeríteni, és azt a kimenő terhelési

ellenállást, amelynél még a SZDSG stabilan működik.

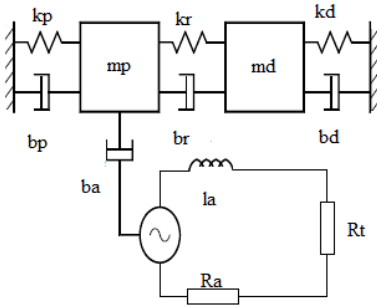
A kutatás jelenleg is folyik, sajnos a nem megfelelő háttér következtében igen kis lépésekben. Ezért csak egy részletet tudok közölni ezen beszámoló során.

A Stirling hőerőgép meleg hőcserélőjének hőmérséklete 873 K, a hideg pedig 333 K. A működési frekvencia 40 Hz, a dugattyú amplitúdója pedig 20 mm. A motor nyomásértéke jelen pillanatban a 30 bar értéket éri el.

2. A SZDSG modellje

A Stirling generátorban két dugattyú helyezkedik el egyetlen zárt térfogaton belül. Az egyik dugattyú egy hideg és egy meleg hőcserélő között tereli a munkagázt. Ez a kiszorító dugattyú. A munkagáz a hőmérséklet változásából eredő nyomás változás következtében munkát fejt ki a munkadugattyún.

A munkadugattyúhoz egy lineáris generátor kapcsolódik, amely a hőerőgépet által termelt mechanikai energiát villamos energiává alakítja át.



1. ábra. A SZDSG modellje

Ahogy az 1. ábrán szemléltetjük, a Stirling generátor egy soros mechanikai rezgőkört alkot, mely tartalmazza a dugattyúk tömegét, ezek rugóinak állandóját és a dugattyúk csillapítási tényezőjét.

A soros mechanikai rezgőkörben a két rezgőkör azonos frekvencián szükséges, hogy rezegjen.

Indításkor a munkadugattyú mp tömegére és a kiszorító md tömegére is erővel kell hatni.

2.1 A Stirling generátor modellezése

A Stirling generátor működése egy villamos öngerjesztésű rezgőkör működéséhez hasonlítható. Ahogy a rezgőkör gerjesztő és visszacsatoló körei is azonos frekvenciára vannak hangolva egy-egy kondenzátor

segítségével, úgy a Stirling generátor esetében is a dugattyúk mozgása is egy-egy rugóval azonos frekvenciára van hangolva.

Az egyenletekben a következő jelöléseket használjuk:

- A kiszorító dugattyú keresztmetszete
- A_s Segéd-dugattyú keresztmetszete
- b Csillapítási tényező
- b_d kiszorító dugattyú csillapítása
- b_p munkadugattyú csillapítása
- g gravitációs gyorsulás
- k_d kiszorító dugattyú rugóállandója
- k_p munkadugattyú rugóállandója*
- l_d kiszorító rugójának hossza
- l_p munkadugattyú rugójának hossza
- m_d kiszorító tömege
- m_p munkadugattyú tömege
- p munkagáz nyomása
- p_b nyomásköpenyben levő nyomás
- T_e meleg hőcserélő hőmérséklete
- T_c hideg hőcserélő hőmérséklete
- V_e melegített gáz térfogata
- V_c hideg gáz térfogata
- V_r regenerátor térfogata
- x kiszorító helyzete
- \dot{x} kiszorító sebessége
- \ddot{x} kiszorító gyorsulása
- y munkadugattyú helyzete
- \dot{y} munkadugattyú sebessége
- \ddot{y} munkadugattyú gyorsulása

A modell a megépített Stirling generátor alkatrészeinek jellemző értékeit használja.

A mechanikai rezgőkör sajátfrekvenciája az (1) összefüggés segítségével határozható meg, ahol a k a rugóállandó, az m pedig a tömeg.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (1)$$

A Stirling generátor tervezésénél figyelembe kell venni a mechanikai rezgőkör jósági tényezőjét is. A rezgőkört úgy kell elképzelni, mint két energiatároló egységből összetevődő rendszer, melynek energiatárolóiban egymás között energia cserélődik periodikusán. Akkor jó a rezgőkör, ha

mindkét energiátároló egység azonos mennyiségű energia tárolására képes.

A Stirling generátor dinamikai modellezésével [2] könnyebb ellenőrizni a rendszer működését, nagyobb határfokú berendezés építhető.

A kiszorító dugattyú mozgásegyenlete a következő:

$$m_d \ddot{x} = -pa + p(A - A_s) + p_b A_r - k_d(x - l_d) - b_d \dot{x} - b(\dot{x} - \dot{y}) - m_d g \quad (2)$$

A munkadugattyú mozgásegyenlete pedig:

$$m_p \ddot{y} = -p(A - A_r) + p_b A_s - k_p(y - l_p) - b_p \dot{y} - b(\dot{y} - \dot{x}) - m_p g \quad (3)$$

Nyugalmi állapotban feltételezhető, hogy a két dugattyú elmozdulása, vagyis az x és y egyenlő 0-val, ebből eredően a sebességek és a gyorsulások is nullák. Így a mozgásegyenletből következik:

$$k_d l_d = m_d g + p_0 A_s - p_b A_s \quad (4)$$

$$k_p l_p = m_p g + p_0(A - A_s) - p_b(A - A_s) \quad (5)$$

A linearizált rendszer egyenletei a következők:

$$[m_d s^2 + (b + b_d)s + k_d]X = -(p - p_0)A_s + b_s Y \quad (6)$$

$$[m_p s^2 + (b + b_p)s + k_p]Y = -(p - p_0)(A - A_s) + b_s X \quad (7)$$

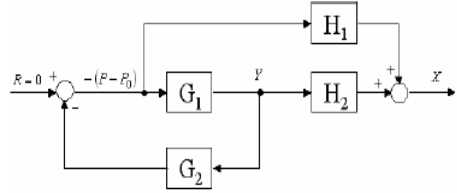
$$(p - p_0) = (C_1 A - C_2 A + C_2 A_s)X + C_2(A - A_s)Y \quad (8)$$

A rendszer átviteli függvényei a következők:

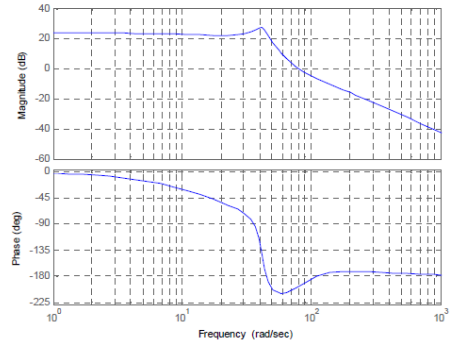
$$X(s) = -(p - p_0)H_1(s) + Y(s)H_2(s)$$

$$G_1(s) = \frac{Y(s)}{-(p - p_0)}$$

$$G_2(s) = \frac{p - p_0}{Y(s)} \quad (9)$$



2. ábra A rendszer modellje

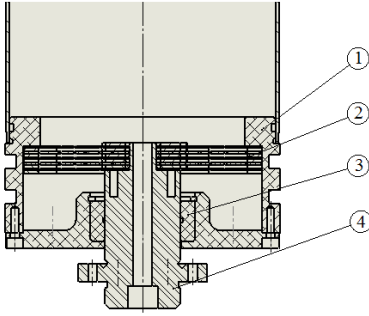


3. ábra A rendszer Bode jelleggörbéje

3. A Stirling generátor megvalósítása

A megépített Stirling generátorban a kiszorító dugattyú vezérlésére a *segéddugattyús* [1] megoldást választottam. A Stirling generátorban és a kiszorítóban levő nyomáskülönbség hatására a segéddugattyú a kiszorítót kimozdítja.

Az **4. ábrán** a segéddugattyús vezérlés tekinthető meg. A kiszorító dugattyúban (1) egy henger található, melyben a (4) segéddugattyú található. A tömítésről egy grafit-teflon gyűrű (3) gondoskodik. A kiszorító dugattyúra a planáris rugókon (2) keresztül csatolódik a segéddugattyú (4).



4. ábra Kiszorító dugattyú segédugattyús vezérléssel.

A tervezésnél figyelembe kellett venni a kiszorító dugattyúra ható nyomásváltásokból eredő felületi terheléseket. Ezért szükséges különböző merevítési megoldások használata. Az első változat nehézségre sikerült, a tömege 1860 g. A következő kutatások alatt egy 600 g tömegű kiszorító dugattyút fogok használni.

A munkadugattyú és a kiszorító dugattyú rugói tárcsa kialakításúak. Ezeknek a rugóállandóját kísérletileg állapítottam meg. A tárcsarugók jelleggörbéi lineárisak, amelyből következik, hogy a k értéke állandó.

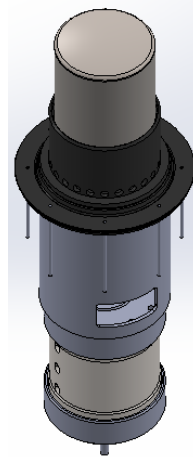


5. ábra. A tárcsarugók állandójának meghatározása

A munkadugattyú sajátfrekvenciájának a számításánál figyelembe kell venni, hogy egy lineáris generátor kapcsolódik hozzá,

így a tömegéhez hozzá kell adnunk a generátor-mozgórész tömegét.

A dolgozat nem tartalmazza a további megvalósításokat a nagy terjedelem miatt. Ez a rész a bemutató során lesz ismertetve.



6. ábra A Stirling generátor tesmodellje

4. Következtetések

A megépített Stirling generátor modellezése során megállapíthattuk, hogy a rendszer 40 Hz frekvencián működik. Az elvárt működési frekvencia viszont 50 Hz, ezért szükséges módosítanom a megépített SZDSG rugóinak állandóját. A modellezésen is még szükséges javítanom.

Az új kiszorító dugattyút SS321 titán ötvözetből fogom legyártani, melyre jellemző a nagy szilárdság magas hőmérsékleten is.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] George R. Dochat, DOE/NASA/0056-79/1 NASA CR-1 59587 MTI 79TR47 *Design Study of a 15 kW Free-piston Stirling Engine-linear Alternator for Dispersed Solar Electric Power*
- [2] Eric J. Barth P.I. *Dynamic Modeling of a Regenerator for the Control-Based Design of Free-Piston Stirling Engines* - Department of Mechanical Engineering, Vanderbilt University, Nashville, TN37212.