*Medgyesy Péter*

*Z6CS2Y*

*Szakdolgozat*

*Konzulens:Tompos Péter*

*BasszusGitár hangoló megvalósítása VHDL alapokon*

Tartalomjegyzék

[Basszusgitár szerepe egy zenekarban 2](#_Toc166666117)

[A basszusgitár felépítése és fizikai alapjai 2](#_Toc166666118)

[Hangszedő 2](#_Toc166666119)

[Húrok 3](#_Toc166666120)

[A basszusgitár hangolása 3](#_Toc166666121)

[Húrrezgések és hangmagasság 3](#_Toc166666122)

[Hangolás és Feszültség 4](#_Toc166666123)

[Frekvencia mérése oszcilloszkóppal 5](#_Toc166666124)

[**Alaphangok lemérése hangolóval, majd oszcilloszkóppal** 5](#_Toc166666125)

[**Egy húron bundok végigfogása** 6](#_Toc166666126)

[Egy oktáv ugrása 7](#_Toc166666127)

[**Egy hang különböző helyeken** 8](#_Toc166666128)

[**Egy húr lehangolása ½ hanggal, pl. E -> D#** 8](#_Toc166666129)

[A húr visszahangolása a frekvencia figyelésével 8](#_Toc166666130)

## Basszusgitár szerepe egy zenekarban

A basszusgitár kiemelkedő szerepet tölt be egy zenekar hangzásában és ritmusában. Feladata, hogy alapvető ritmus- és hangzási alapot biztosítson a számára. Általában alacsonyabb hangolásban szól, ami lehetővé teszi, hogy mélyebb hangokat játsszon, ami fontos a teljes hangzás megerősítésében és megragadásában.

A basszusgitáros általában a dobossal együtt alkotja a zenekar ritmusos alapját. A dobos a ritmus és az ütemek kialakításáért felelős, és fontos szerepet játszik a zenekar hangzásának és dinamikájának alakításában. A basszusgitár hangsúlyozza és megerősíti a zenei ütemeket, valamint összeköti a ritmusos és harmonikus elemeket a többi hangszerrel, például a dobot a gitárokkal és billentyűs hangszerekkel.

A basszusgitár a zenei szerkezetben a harmóniáért és stabil alapokért felel, lehetővé téve a másik hangszeres szólamok számára, hogy fölépítsék a melódiát és a dallamot. Emellett a basszusgitár gyakran fontos szerepet játszik a dinamikus felépítésben és a hangzás textúrájának változatosságában.

## A basszusgitár felépítése és fizikai alapjai

A diagram of a guitar

Description automatically generated

Ábra 1 - Elektromos basszusgitár felépítése

Hangolás szempontjából leginkább a húrok a befolyásoló tényezők, az elektromos jel átadásában pedig a hangszedők.

### Hangszedő

A basszusgitár hangszedői általában a hangszer testéhez vannak rögzítve és a húrok alatt helyezkednek el. Feladatuk, hogy átalakítsák a húrok rezgéseit analóg elektromos jelekké, amelyeket aztán egy erősítőbe továbbítanak.

A mágneses hangszedők, a pickupok felelnek a húr rezgésének elektromos jellé alakításáért. Létezik aktív és passzív hangszedő is: előbbi jóval nagyobb jelet képesek kiadni, viszont általában egy külső 9V-os elem szükséges a működésükhöz. A tényleges kimeneti jelet a hangszedőket működtető elektronika állítja elő, itt még általában lehetőség van az aktívan használt pickupok közti váltásra, hangerő állításra.

### Húrok

A basszusgitár húrjai magból és tekercsből állnak. A mag egy drót, amely a húr közepén fut végig, általában acélból, nikkelből vagy egy ötvözetből készül. A tekercs egy további drót, amely a mag köré van tekerve. A basszusgitár húrjai eltérnek az anyagtól és a tekercs keresztmetszetétől függően.

A basszusgitár fizikájának és hangzásának alapja a húrok és azok rezgése. A basszusgitáron általában négy húr található, de léteznek öthúros és hatsoros változatok is. Mindegyik húr különböző vastagságú és anyagú lehet, ami hatással van a hangszínekre és a hangzás karakterére.

A húrok fizikája azon alapszik, hogy a húrokat feszítik, majd megpendítik, ami rezgéseket generál. A vastagság és a feszítési nyomaték befolyásolja a húr rezgési frekvenciáját és hangmagasságát. A vastagabb és lazábban feszített húrok alacsonyabb hangokat produkálnak, míg a vékonyabb és feszesebb húrok magasabb hangokat eredményeznek.

## A basszusgitár hangolása

A basszusgitár hangolása általában EADG (E szolmizációs) hangolású, ahol az alsó hang az E hangja. A húrok megfelelő hangolása és feszítése meghatározza, hogy milyen frekvencián rezegnek, és ennek eredményeként milyen hangmagasságot állítanak elő.

A basszusgitár tehát nemcsak a zenekar ritmikus gerincét jelenti, hanem a fizikai rezgések és hangzásvilág tudományos megértésének kiváló példája is. A hangzás és hangolás részleteinek mélyebb megértése elengedhetetlen, hogy egy pontos hangolót lehessen tervezni VHDL nyelven.

### Húrrezgések és hangmagasság

Az hangolás tudományos alapjának megértése összefügg a húrok rezgési tulajdonságaival, amelyeket a húr hossza, vastagsága és feszültsége befolyásol. A hangolás lényege az, hogy hogyan változtathatjuk ezeket a paramétereket annak érdekében, hogy kívánt hangmagasságú hangot érjünk el.

A húrok rezgésének fizikája alapján a hangmagasságát a rezgési frekvencia határozza meg. Minél gyorsabban rezeg egy húr, annál magasabb a hangmagassága. A húr rezgési frekvenciája függ a húr hosszától (L), vastagságától (d) és feszültségétől (T).

A húr rezgési frekvenciája az alábbi képlet alapján számítható ki:

ahol:

* **f** a rezgési frekvencia (hangmagasság)
* **L** a húr hossza
* **T** a feszültség (húr feszültsége)
* **μ** a húr tömege per hosszegység

A húr tömege per hosszegység (μ) a következőképpen számítható:

ahol:

* **ρ** a húr anyagsűrűsége (anyagtól függő konstans)
* **A** a húr keresztmetszete (vastagságától függ)

Ebben a képletben a feszültség (T) befolyásolja a rezgési frekvenciát. Minél nagyobb a feszültség, annál magasabb lesz a rezgési frekvencia, és így magasabb hangot kapunk.

Ha nem hangolással, akkor a gitár nyakán a bundok lefogásával csökkenthető a húr hossza, amivel pedig növelhető a frekvencia (hangmagaasság).

#### Hangolás és Feszültség

A gitárhúrok hangolásakor a hangmagasságot a húrok feszültségének változtatásával érjük el. A hangmagasság emelése vagy csökkentése a húr feszítésének növelésével vagy csökkentésével érhető el. Például, ha egy húrt feszesebbre húzunk, nő a feszültsége, ami növeli a rezgési frekvenciát és emelkedik a hangmagasság. Ha lazábbra húzzuk a húrt, csökken a feszültség, és ennek következtében alacsonyabb hangot kapunk.

A hangolásban a gitáron általában az egyes húrok feszültségét változtatjuk meg a hangolókulcs segítségével. Így a húrok rezgési frekvenciáját állítjuk be a kívánt hangmagasság eléréséhez.

## **Frekvencia mérése oszcilloszkóppal**

*Oszcilloszkóp típusa: RIGOL DS1054Z*

*Sorozatszám: DS1ZA190802360*

### **Alaphangok lemérése hangolóval, majd oszcilloszkóppal**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Nyitott húrok | E | A | D | G |
| Frekvencia | 41 Hz | 55 Hz | 73 Hz | 98 Hz |

A screen shot of a computer monitor

Description automatically generated A graph showing a wave

Description automatically generated with medium confidence

Ábra 2 - E húr Y/t és FFT mérése

A screen shot of a computer

Description automatically generated A screen shot of a graph

Description automatically generated

Ábra 3 - A húr Y/t és FFT mérése

A screen shot of a graph

Description automatically generated A screen shot of a graph

Description automatically generated

Ábra 4 - D húr Y/t és FFT mérése

A screen shot of a monitor

Description automatically generatedA screen shot of a graph

Description automatically generated

Ábra 5 - G húr Y/t és FFT mérés

### **Egy húron bundok végigfogása**

*Választott húr: A*

|  |  |
| --- | --- |
| **Bund** | **Frekvencia** |
| 0 (nyílt húr) (A) | 55 Hz |
| 1 (Bb) | 59 Hz |
| 2 (B) | 62 Hz |
| 3 (C) | 66 Hz |
| 4 (C# / Db) | 70 Hz |
| 5 (D) | 74 Hz |
| 6 (D# / Eb) | 79 Hz |
| 7 (E) | 83 Hz |
| 8 (F) | 88 Hz |
| 9 (F# / Gb) | 92 Hz |
| 10 (G) | 99 Hz |
| 11 (G# / Ab) | 104 Hz |
| 12 (A) | 110 Hz |
| 13 (Bb) | 118 Hz |
| 14 (B) | 124 Hz |

A graph of a sound wave

Description automatically generated A blue line on a black background

Description automatically generatedA blue line graph on a black background

Description automatically generated A blue line graph on a black background

Description automatically generatedA graph of a wave

Description automatically generated with medium confidence A blue line graph on a black background

Description automatically generatedA graph of a sound wave

Description automatically generated A graph of a wave

Description automatically generated with medium confidenceA blue line graph on a black background

Description automatically generated A graph with blue lines

Description automatically generatedA screen shot of a graph

Description automatically generated A blue line graph on a black background

Description automatically generatedA blue line graph on a black background

Description automatically generated A graph of blue lines

Description automatically generatedA graph with blue lines

Description automatically generated

Ábra 6 - Az A húron lévő bundok frekvenciái

#### Egy oktáv ugrása

*12 bund eltéréssel egy oktávot lehet ugrani a gitár hangjain.*

*Mit jelent ez frekvenciában? Pl. A / 0 -> A / 12*

Ahogy várjuk, a kétszeresére növekszik. (55 Hz -> 110 Hz)

### **Egy hang különböző helyeken**

*Mennyire hasonlít egy hang különböző húrokon?*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Hang | Pozíció 1 | Frekvencia 1 | Pozíció 2 | Frekvencia 2 |
| A | E / 5 | 55 Hz | A / 0 | 55 Hz |
| B | E / 7 | 62 Hz | A / 2 | 62 Hz |
| C | E / 8 | 66 Hz | A / 3 | 66 Hz |
| D | A / 5 | 74 Hz | D / 0 | 74 Hz |

Ahogy egy gitáron el is várt, hiába különböző pontokon fogjuk le ugyanazt a hangot, a mért frekvencia ugyanaz lesz. A mérési pontatlanság hozzáadhat, de azt mondhatjuk, hogy ha van is különbség, az 1Hz-en belüli.

### **Egy húr lehangolása ½ hanggal, pl. E -> D#**

*Mi lett a frekvencia?*

39 Hz

#### A húr visszahangolása a frekvencia figyelésével

*Ki lehet-e találni, hogy milyen hangra lett hangolva a húr?*

E hang lett, de nem lett olyan pontos, miután visszaellenőriztem. Az oka az, hogy minél kisebb a frekvencia, annál nehezebb pontosabban eltalálni az adott hangot. Pl. Alsó D# és E hang között 2 Hz a különbség. Egy oktávval feljebb ez már a kétszerese, 4 Hz. Még egy oktávval feljebb ez már 8 Hz.

## Gitárhangolás FPGA board-on, VHDL nyelv segítségével

### Koncepció és Tervezési Specifikációk

Ahhoz, hogy egyáltalán el lehessen kezdeni a gitárhangolónak a megvalósítását, elengedhetetlen kialakítani egy koncepciót, hogy pontosan mire legyen képes az elkészített célprogram.

#### Alapvető képességek:

* Bemeneti jel fogadása és a frekvencia kinyerése

Kodek-től és Board-tól függően FFT alkalmazásával vagy Zero-Crossing Method segítségével

* Gombokkal a hangolni kívánt húr kiválasztása
* LED-es visszajelzés

Egy megjelenítővel visszajelezni a felhasználó számára, hogy melyik irányba kell hangolni a gitár húrját

* + A középtől balra lévő LED-ek megvilágítása esetén a jelzés az, hogy a húr frekvenciája a kívánthoz képest alacsony, ezért húzni kell a húron
  + A középtől jobbra lévő LED-ek megvilágítása esetén a jelzés az ellenkező: túl magas a frekvencia, lazítani kell a húron

#### Hangfeldolgozás Elméletének és Alapjainak Megértése

A gitárjel analóg feszültségéből egy lemért frekvencia értéket kell teremteni annak érdekében, hogy el tudjuk dönteni, hogy jól van-e hangolva a gitár. Emiatt fontos ismerni a jelfeldolgozási, majd átalakítási módszereket, főleg a Fast Fourier Transformation-t vagy a Zero-Crossing Method-t, aminek segítségével egyszerűen meghatározható a jel frekvenciája. A Board-specifikus hangvezérlő kodek az „ADAU1761”, amely I2C soros buszon keresztül kommunikál az fpga-val. Ennek az ismerete is elengedhetetlen ahhoz, hogy kinyerjük a hangot, amit fel akarunk dolgozni.

#### Blokkdiagram Készítése és Architektúra

A sikeres hardver és szoftver tervezés előfeltétele az alapvető feladatok definiálása, ennek segítségeképp pedig a blokkdiagram tud segítség lenni.

A jelenlegi megvalósításnak a blokkdiagramja a következő:

A diagram of a system

Description automatically generated

#### VHDL Kódolás és Szimuláció

A VHDL nyelv ismerete fontos, ha abban szeretnénk megvalósítani a hangolót. Meg kell ismerni a nyelvet, és komfortosan kell tudni vele bánni egy ilyen összetett feladatnál. Mielőtt az implementáció következne fontos szimulálni az írt kódot, amivel kiszűrhető sok hiba, valamint anélkül tudnánk tesztelni a hangolót, hogy elő kellene venni a gitárt a tokjából, és rákötnénk az FPGA-ra. A szimuláció segít abban is, hogy a VHDL kód csak egyes részeit teszteljük, könnyebb beazonosítani, hogy egy adott kódrészlet jól működik-e.

#### Implementáció

A kódolás és szimuláció végeztével feltölthető a board-ra, és el lehet kezdeni az éles tesztelést.

#### Tesztelés és Hitelesítés

Bár elméletben sikeres a program, mégis fontos letesztelni a hangolást egy igazi gitárral. Ha sikerült behangolni az egyik húrt, javasolt visszaellenőrizni egy boltban kapható gitárhangoló segítségével, hogy a teszt és a megvalósítás sikeres volt.

### A dolgozat felépítése

A dolgozatban a következő témakörök lesznek kidolgozva, segítve a technológiák megértését és a gitárhangoló megvalósítását.

* VHDL alapjai, és építőelemek bemutatása
  + Modul
  + Testbench
* Vivado program segítségével a környezet megismerése, és a programkód felprogramozásáig szükséges lépések
  + Szintézis
  + Implementáció
  + Bit Stream generálás
* Nexys Video artix-7 fpga alapvető felépítése
* I2C busz alapok
  + Controller VHDL kód
  + Master VHDL kód
  + Tesztelés
* ADAU1761 kodek felprogramozása és adat kinyerés, időzítések
  + VHDL kód
  + Tesztelés
* Frekvencia kinyerési technológiák kiválasztása, indoklás
  + FFT
  + Zero Crossing Method
  + VHDL kód
  + Tesztelés
* Frekvencia megjelenítés
  + Lehetőségek (OLED, LED-ek)
  + VHDL kód
* Egyéb, meg nem valósított funkciók
  + Direkt elhangolás
  + OLED megjelenítés
  + Önhangoló gitár, motorikus hangolóvezérlés
* VHDL / FPGA vs. Mikrokontroller (pl. PLC, Arduino)
  + Pro/kontra, különbségek
* Összefoglalás