

## PARAMÉTERES GÖRBÉK ALKALMAZÁSA VALÓSÍDEJŰ DIGITÁLIS HANGFELDOLGOZÁS SORÁN

Lajos Sándor

Mérnök-tanár, Miskolci Egyetem, Ábrázoló geometriai tanszék  
3515 Miskolc-Egyetemváros, e-mail: [LajosS@abrg.uni-miskolc.hu](mailto:LajosS@abrg.uni-miskolc.hu)

### Összefoglalás

A cikkben bemutatott módszer segítségével különféle paraméteres görbék alkalmazhatók a waveshaper effektekben transzfergörbéként. A módszer alkalmazására példaként bemutattunk egy VST modult, ahol egy interaktívan tervezhető Bézier-görbe szolgál transzfergörbéként.

**Kulcsszavak:** Bézier-görbe, valósídejű hangfeldolgozás, waveshaper

### Abstract

We provide the description of a method, by means of which various parametric curves can be used in waveshaper effects as a transfer curve. As an example we provide a VST plugin, where the transfer curve is an interactively designable Bézier curve.

**Keywords:** Bézier curve, real-time audio processing, waveshaper

## 1. Bevezetés

Napjaink digitális hangfeldolgozó programjai gyakran használnak waveshaper effekteket különféle nemlineáris működésű alkatrészek, eszközök modellezésére, mint például az elektroncsövek vagy a mágnesszalagok. Ezek az effektek olyan harmonikus frekvencia-komponenseket állítanak elő, melyek nincsenek jelen a bemeneti jelben [1].

## 2. Explicit függvényekkel leírt transzfergörbék

A waveshaper effektek a nemlineáris működés modellezéséhez leggyakrabban valamilyen szigmoid transzfergörbét alkalmaznak. Ez

$$y = f(x) \tag{1}$$

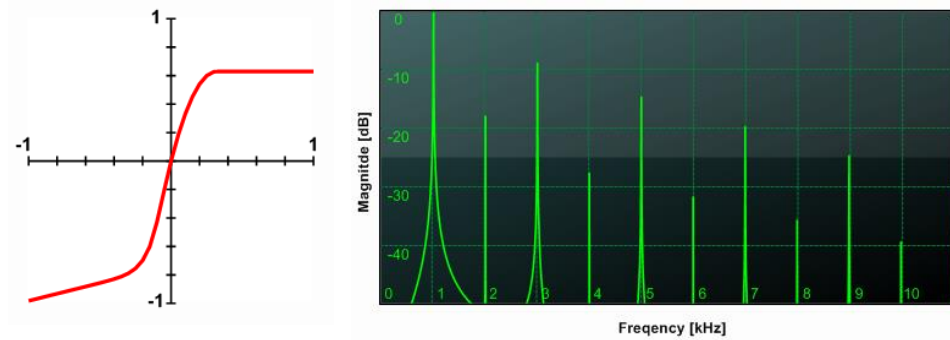
explicit alakban írható fel, ahol  $x$  az effekt bemenő jele,  $y$  pedig a kimenő jele. Az alkalmazott görbét leíró függvénynek  $x \in [-1, 1]$  esetén a folytonosnak és monotonnak kell lennie.

### 2.1. Elektroncsövek modellezése

A triódák működése egy aszimmetrikus görbével modellezhető [1]. Például [2], [3]:

$$f(x) = \begin{cases} -\frac{3}{4} \left\{ 1 - [1 - (|x| - 0,032847)]^{12} + \frac{1}{3} (|x| - 0,032847) \right\} + 0,01 & ,ha \quad -1 \leq x < -0,08905 \\ -6,153x^2 + 3,9375x & ,ha \quad -0,08905 \leq x < 0,320018 \\ 0,630035 & ,ha \quad 0,320018 \leq x \leq 1 \end{cases} \quad (2)$$

Az aszimmetrikus transzfergörbe hatására mind a páros, mind a páratlan felharmonikusok megjelennek (1. ábra).

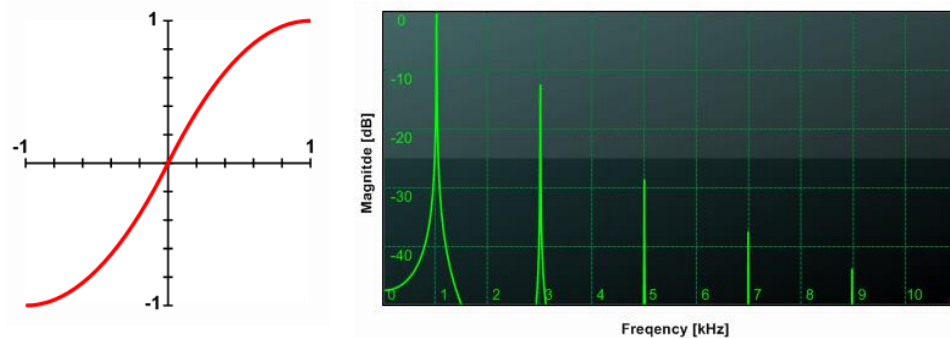


1. ábra. A (2) transzfergörbe, és a felharmonikusok 1kHz-es szinusz jel esetén.

A pentódák működése egy szimmetrikus görbével modellezhető [1]. Például [2], [3]:

$$f(x) = (|2x| - x^2) \text{sign}(x), \quad (3)$$

ahol  $\text{sign}(x) = 1$  ha  $x \geq 0$ , egyébként  $\text{sign}(x) = -1$ . A szimmetrikus transzfergörbe hatására csak a páratlan felharmonikusok jelennek meg (2. ábra).



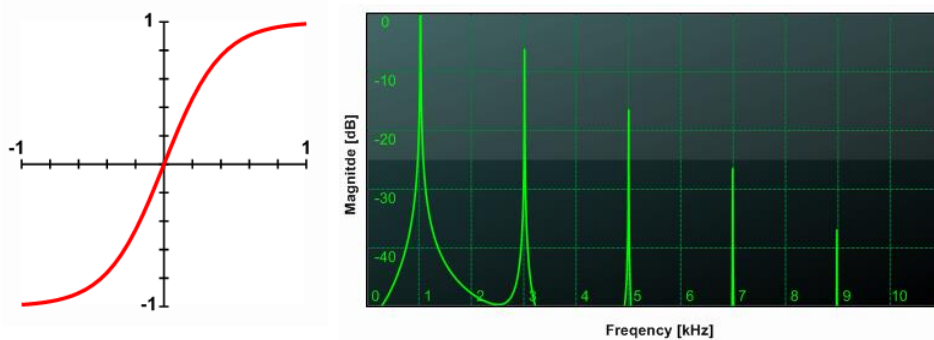
2. ábra. A (3) transzfergörbe, és a felharmonikusok 1kHz-es szinusz jel esetén.

## 2.2. Mágnesszalag szaturáció

A mágnesszalag okozta szaturáció szintén egy szimmetrikus görbével modellezhető, például [4]:

$$f(x) = \frac{2}{1+e^{-5x}} - 1. \quad (4)$$

Ez a görbe szintén a páratlan felharmonikusok megjelenését eredményezi, azonban a felharmonikusok intenzitása a frekvencia növekedésével más ütemben csökken, mint az elektroncsövek modellezéséhez használt görbék esetében (3. ábra).



3. ábra. A (4) transzfergörbe, és a felharmonikusok 1kHz-es szinusz jel esetén.

Az előzőekben tárgyalt, explicit módon leírt görbék használata megköti a felhasználók kezét. A különféle waveshaper effektekben a görbék módosítási lehetősége korlátozott (általában néhány előre definiált görbe közül választhatunk) vagy teljesen lehetetlen.

## 3. Paraméteres görbék

Abban az esetben, ha az előzőekben tárgyaltak helyett paraméteresen írjuk le a görbét, akkor koordinátafüggvények közvetlen megadása helyett a görbét jellemző, azt egyértelműen meghatározó, személetes, a tervező számára könnyen kezelhető geometriai, vagy geometriai jelentéssel bíró adatokat adhatunk meg. Ezzel lehetővé válik a transzfergörbe interaktív tervezése.

A paraméteres görbék nagy csoportja írható fel a

$$\mathbf{g}(t) = \sum_{i=0}^n \mathbf{b}_i F_i(t), \quad t \in [a, b] \quad (5)$$

alakban [6]. Ezen görbeosztályhoz tartozik a Bézier-görbe is. Bézier-görbék esetén az  $F_i(t)$  függvények a Bernstein-polinomok. A  $\mathbf{b}_0, \mathbf{b}_1, \dots, \mathbf{b}_n$  pontokat Bézier-pontoknak vagy kontrollpontoknak nevezzük. Tehát ha adottak a  $\mathbf{b}_0, \mathbf{b}_1, \dots, \mathbf{b}_n$  pontok, akkor a Bézier-görbe az alábbi alakban írható fel:

$$\mathbf{b}(t) = \sum_{i=0}^n \mathbf{b}_i B_i^n(t), \quad t \in [0,1] \quad (6)$$

Az  $i$ -edik  $n$ -edfokú Bernstein-polinom:

$$B_i^n(t) = \binom{n}{i} t^i (1-t)^{n-i}, \quad (i = 0, 1, \dots, n) \quad (7)$$

és definíció szerint

$$B_0^0(t) \equiv 1, \text{ valamint } B_i^n(t) \equiv 0, \text{ ha } i < 0, \text{ vagy } i > n. \quad (8)$$

Azért választottuk a Bézier-görbét, mert (6), (7)-ből látható, hogy a görbe tervezése rendkívül egyszerű felhasználó inputot igényel, mindössze a kontrollpontokat kell megadni.

A waveshaper effektben történő alkalmazáshoz azonban egy adott  $x$  értékhez tartozó  $y$  értékre van szükség. Azonban a paraméteres és az explicit leírási mód közötti áttérés általában nem lehetséges, tehát az említett feladat csak iterációval oldható meg.

Első lépésként meg kell határoznunk az adott  $x$  értékhez tartozó paraméter értéket. Az adott  $x$  értékhez tartozó paraméter meghatározása után a megfelelő  $y$  érték a (6) felhasználásával számítható.

Az iterációhoz a Newton-Raphson-módszert választottuk, mivel az nagyon gyorsan konvergál, ha az iteráció a kívánt gyökhöz elég közelről indul [5]. Az iterációt a  $t_0 = x$  paraméter értékről indítjuk. A következő paraméter értéket a

$$t_{n+1} = t_n - \frac{\mathbf{b}_x(t_n) - x}{\mathbf{b}'_x(t_n)} \quad (9)$$

összefüggéssel kapjuk. Az iterációt addig folytatjuk, amíg a

$$|\mathbf{b}_x(t_n) - x| < \varepsilon \quad (10)$$

nem teljesül, ahol  $\varepsilon$  egy megfelelően választott kicsi szám. A (9)-ben szükség van a Bézier-görbe deriváltjára, ez

$$\dot{\mathbf{b}}(t) = n \sum_{i=0}^n \mathbf{b}_i (B_{i-1}^{n-1}(t) - B_i^{n-1}(t)) \quad (11)$$

alakban írható fel [6].

Természetesen bármilyen módszert is választunk, az iteráció időigényes, közvetlenül semmiképpen nem használható valós idejű feldolgozásra. Ezért a kontrollpontok által meghatározott Bézier-görbén előre kiszámolunk egy adott számú pontot, és a mintánkénti feldolgozás során már csak ezen pontok között kell egy lineáris interpolációt elvégezni.

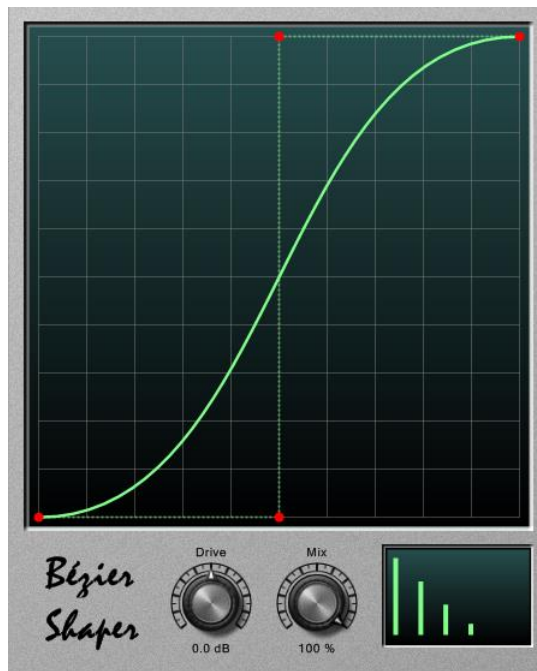
#### 4. A Bézier Shaper VST modul

Az előző fejezetben ismertetett módszer felhasználásával készült a Bézier Shaper VST modul. A VST, (Virtual Studio Technology) egy már-már szabvánnyá vált technológia,

melyet a Steinberg, zenei szoftverekkel foglalkozó cég fejlesztett ki, és virtuális hangszerek, effektek létrehozására használható.

Egy VST modul elkészítésére többféle lehetőség is kínálkozik. Használhatjuk a Steinberg cég által kiadott VST SDK-t, ahol c++ nyelven kell a kódot elkészíteni. Az így létrehozott VST modulok gyorsak és kis méretűek, lehetnek 32 vagy 64 bitesek. Azonban a felhasználói interfész kialakítása meglehetősen bonyolult. Választásunk ezért a FlowStone [7] programra esett. A FlowStone a grafikus és a szöveg alapú programozás kombinációját alkalmazza. Az alkalmazások funkcionális építőelemek ún. komponensek egymáshoz kapcsolásával programozhatók. A FlowStone-nal rendkívül egyszerű felhasználói interfészt létrehozni, azonban az így elkészített VST modulok lassabbak, nagyobb méretűek, és csak 32 bitesek lehetnek.

A kifejlesztett VST modul grafikus interfésze és a paraméteres görbe adatainak számítását végző programrészek Ruby programnyelven, míg az hangfeldolgozás szempontjából kritikus lineáris interpoláció assembly-ben készült.



4. ábra. A Bézier Shaper VST modul felhasználói felülete.

A felhasználói felület (4. ábra) rajzterületén a kontrollpontok segítségével definiálható a Bézier-görbe. Egy kontrollpontra a bal egérgombbal rákattintva és a gombot lenyomva tartva módosítható az adott kontrollpont pozíciója. A görbe monotonitásának fenntartása érdekében a kontrollpont pozíciója csak úgy módosítható, hogy teljesülnek a

$$\begin{aligned} b_{0,x} &= x_{\min} \\ b_{i-1,x} &\leq b_{i,x} \leq b_{i+1,x} \\ b_{n,x} &= x_{\max} \end{aligned} \tag{12}$$

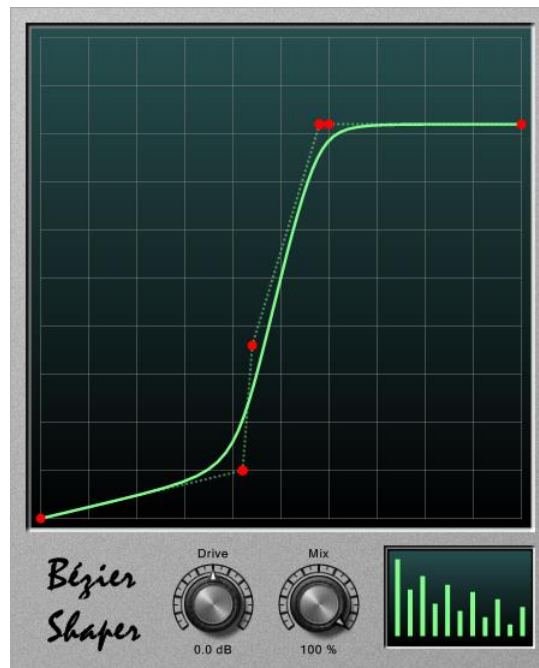
feltételek. A rajzterületen egy üres területre kattintva egy újabb kontrollpont szúrható be. A kontrollpontok maximális száma 10. Egy kontrollpontra a jobb egérgombbal kattintva a kontrollpont törölhető.

A Drive gombbal a bemenő jel szintje szabályozható. Alacsonyabb szintű jel esetén a jelszint emelésével a jel a nemlineáris görberészre pozicionálható. Magasabb szintű jel esetén a jelszint csökkentésével kiküszöbölhető a hallható torzítás.

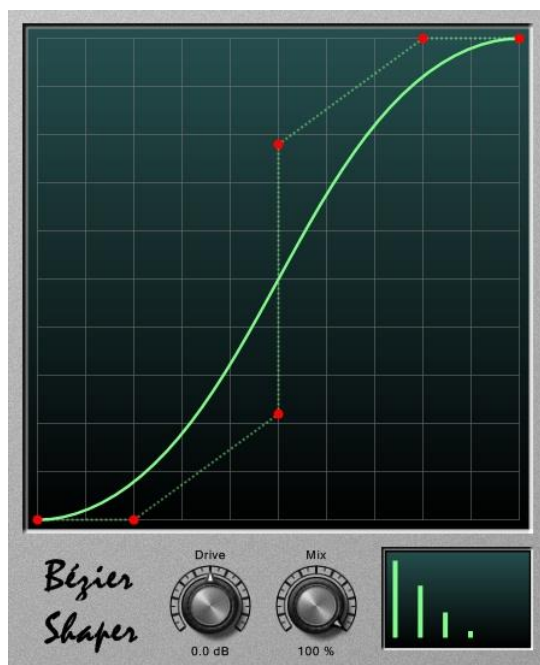
A Mix gomb az eredeti és a feldolgozott jel arányát szabályozza.

A jobb alsó sarokban látható kijelző a létrehozott görbe által eredményezett felharmonikusok eloszlását és erősségét mutatja.

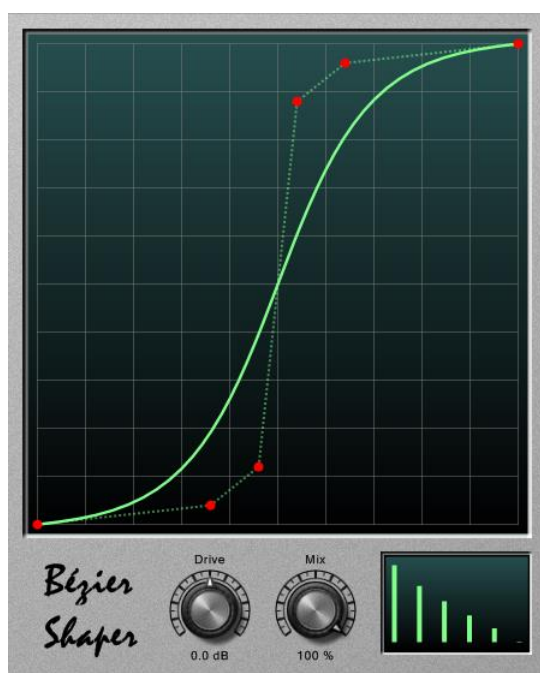
A Bézier-görbe kontrollpontjainak megfelelő beállításával könnyedén közelíthetők a (2), (3) és (4) függvények által leírt görbék (5. ábra), (6. ábra) és (7. ábra).



5. ábra. Trióda modellezés



6. ábra. Pentóda modellezés



7. ábra. Mágnesszalag modellezés

## 5. Összefoglalás

A cikkben ismertetett módszer alapján elkészült VST modul bizonyítja, hogy paraméteres görbék is használhatók a valósidejű hangfeldolgozásban. Mivel a transzfergörbe interaktív módon tervezhető, ugyan az a modul alkalmas különböző szimulációs feladatok ellátására, valamint a felhasználó nagyobb befolyással bírhat a megjelenő felharmonikusok számára és intenzitására.

Az (5) alapján természetesen más paraméteres görbék is alkalmazhatók. A továbbfejlesztési tervek között szerepel a Bézier-görbe B-szplájn-görbére cserélése, így a transzfergörbe egyenes szakaszokat is tartalmazhatna [6].

## 6. Köszönetnyilvánítás

A kutató munka a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területén működő Mechatronikai és Logisztikai Kiválósági Központ keretében valósult meg.

## 7. Irodalom

- [1] Zölzer, U.: DAFX-Digital Audio Effects, John Wiley & Sons, 2002.
- [2] Doidic, M., et al.: Tube modeling programmable digital guitar amplification system. U.S. Patent 5789689, Aug. 16 1998
- [3] Pakarinen ,J., Yeh, D.T.: A review of digital techniques for modeling vacuum-tube guitar amplifiers., Computer Music Journal, Summer 2009, 33(2), pp. 85 -100.
- [4] <http://tap-plugins.sourceforge.net/ladspa/sigmoid.html>
- [5] [http://hu.wikipedia.org/wiki/Newton-módszer](http://hu.wikipedia.org/wiki/Newton-m%C3%B3dszer)
- [6] Juhász, I: Görbék és felületek modellezése,  
[http://193.6.8.43/segedlet/dokumentumok/GFM/Gorbek\\_es\\_feluletek\\_modellezese.php](http://193.6.8.43/segedlet/dokumentumok/GFM/Gorbek_es_feluletek_modellezese.php)
- [7] <http://www.dsrobotics.com/flowstone.html>