

Opinnäytetyö (AMK)

Elektroniikka

Elektroniikkasuunnittelu

2016

Mika Viinanen

# ANALOGISEN AUDION ÄÄNENVOIMAKKUUDEN SÄÄDÖN VAIHTOEHDOT STEREOMIKSERISSÄ

Mika Viinanen

## ANALOGISEN AUDION ÄÄNENVOIMAKKUUDEN SÄÄDÖN VAIHTOEHDOT STEREOMIKSERISSÄ

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, voiko äänenvoimakkuuden säätöön käytetyn potentiometrin korvata toisella vaihtoehdolla, säilyttäen näennäisesti portaattoman säädön ja potentiometrin käyttötuntuman. Tarkoituksena oli myös käyttää parasta vaihtoehtoa stereomikseritoteutuksessa.

Työssä tutkittiin kahta ominaisuuksiltaan erilaista vaihtoehtoa, erilliskomponenteista rakennettua FET-kytkentää ja kaupallista PGA2311-piiriä. Vaihtoehdot testattiin subjektiivisesti syöttämällä kytkentöihin musiikkia ja kuuntelemalla lähdeistä saatuja signaaleja. Molemmat vaihtoehdot todettiin toimiviksi, mutta FET-kytkentä osoittautui liian työlääksi käytettäväksi käytännön sovelluksissa. Kaupallinen piiri toimi ongelmitta, ja mikrokontrollerilla toteutettu ohjaus onnistui vaivattomasti.

Työssä rakennettiin myös kaksikanavainen stereomikseri. Mikserin äänenvoimakkuuden säätöön käytettiin kahta PGA2311-piiriä. Piiri toimi kytkennässä moitteettomasti.

Työn tulosten perusteella todettiin kaupallisen piirin olevan varteenotettava vaihtoehto potentiometrille.

### ASIASANAT:

äänenvoimakkuus, äänentoisto, elektroniikka

Mika Viinanen

## OPTIONS FOR VOLUME CONTROL OF ANALOG AUDIO IN A STEREO MIXER

The purpose of this thesis was to examine whether the potentiometer used for audio volume control could be replaced with an alternative device, while retaining seemingly continuous control and the look and feel of the potentiometer. The objective of the work was also to use the best alternative in a stereo mixer application.

This thesis examined two options with differing properties, a FET circuit made from discrete components and a commercially available PGA2311 chip. These choices were tested subjectively by feeding music to the inputs of the circuits and listening to the signals received from the outputs. Both choices were found to be functional, but the FET circuit was deemed too arduous for practical applications. The PGA2311 chip was effortless to use and to control.

The PGA2311 chip was chosen for the stereo mixer application. A two-channel stereo mixer was built using two PGA2311 chips. The mixer was tested, and based on the results, the PGA2311 chip was considered suitable for the stereo mixer application.

Based on the results yielded by the tests conducted in this thesis, the PGA2311 chip was deemed a worthy alternative to the potentiometer.

### KEYWORDS:

volume, audio, electronics

# SISÄLTÖ

<b>LYHENTEET</b>	<b>5</b>
<b>1 JOHDANTO</b>	<b>6</b>
<b>2 ÄÄNENVOIMAKKUUDEN SÄÄDÖN VAIHTOEHDOT</b>	<b>7</b>
2.1 FET jänniteohjattuna vastuksena	7
2.2 TI PGA2311 -piiri	11
<b>3 STEREOMIKSERI</b>	<b>12</b>
<b>4 YHTEENVETO</b>	<b>14</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>15</b>

## KUVAT

Kuva 1. FETillä toteutettu jännitteenjakokytkentä.	7
Kuva 2. Stereovaimentimen mittauskytkentä.	8
Kuva 3. 5 %:n vahvistus FET 1:n puskurissa.	9
Kuva 4. Kuulokevahvistin.	10
Kuva 5. Summaimeksi muokattu kuulokevahvistin.	12

## KUVIOT

Kuvio 1. FET-kytkentöjen ulostulojännite suhteessa ohjausjännitteeseen.	9
Kuvio 2. FET-kytkentöjen ulostulojännitteet vahvistuksen lisäämisen jälkeen.	10

## OHJELMAT

Ohjelma 1. Äänenvoimakkuuden säätöalueen kavennus	11
---	----

## LYHENTEET

Ch	Channel eli signaalikanava
FET	Field-effect transistor eli kanavatransistori
JFET	Junction gate field-effect transistor eli liitoshila-FET
TI	Texas Instruments, amerikkalainen teknologiayritys
VCR	Voltage controlled resistor eli jänniteohjattu vastus

# 1 JOHDANTO

Digitaaliset vaihtoehdot ovat monipuolisuutensa vuoksi syrjäyttäneet analogiset vaihtoehdot useilla elektroniikan osa-alueilla. Audion äänenvoimakkuuden säädössä perinteisellä pyöritettävällä tai liu'utettavalla potentiometrillä on kuitenkin joitain hyödyllisiä ominaisuuksia, kuten portaattomuus ja se, että asetetun voimakkuuden tietää myös laitteen ollessa sammutettuna. Analoginen potentiometri voi kuitenkin kuluessaan aiheuttaa häiriöitä, mikä on varsinkin ammattilaiskäytössä epäsuotavaa.

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan, mitä vaihtoehtoja analogiselle potentiometrille löytyy, ja miten ne toimivat. Kriteereinä vaihtoehdolle ovat signaalin säilyttäminen analogisena, subjektiivisesti portaaton säätö ja potentiometrin käyttötuntuman säilyttäminen. Parhaaksi todettua vaihtoehtoa käytetään työn loppuksi stereomikseritoteutuksessa.

Aiempia aihetta käsitteleviä opinnäytetöitä ei löytynyt.

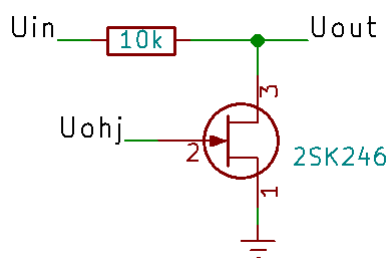
## 2 ÄÄNENVOIMAKKUUDEN SÄÄDÖN VAIHTOEHDOT

Erilaisia mahdollisuuksia analogiseen äänenvoimakkuuden säätöön on vähän. Säätö tapahtuu lähes aina potentiometrillä. Joissakin korkealaatuisissa laitteissa käytetään askellettua vaimenninta, jossa haluttu jännitejako valitaan kiinteiden vastusten joukosta kytkimellä. Nykyään löytyy myös useita tarkoitukseen sopivia digitaalisia piirejä, jotka ovat kuitenkin toimintaperiaatteiltaan käytännössä potentiometrejä tai askellettuja vaimentimia.

Tässä työssä tutkitaan syvemmin kahta vaihtoehtoa: FET-kytkentää, jonka toiminta muistuttaa potentiometriä, sekä äänenvoimakkuuden säätöön tarkoitettua kaupallista piiriä, jonka toiminta muistuttaa askellettua vaimenninta.

### 2.1 FET jänniteohjattuna vastuksena

Ensimmäinen tutkittavista vaihtoehdoista on kytkentä, jossa tuleva signaali vaimennetaan vastuksella ja FETillä toteutetulla jännitejakoilla (Kuva 1). Vaimennus tapahtuu avaamalla FETin kanavaa muuttamalla ohjauksjännitettä, jolloin osa signaalista kulkee FETin kautta maahan. Tässä työssä käytettiin potentiometriä ohjauksjännitteen muuttamiseen.



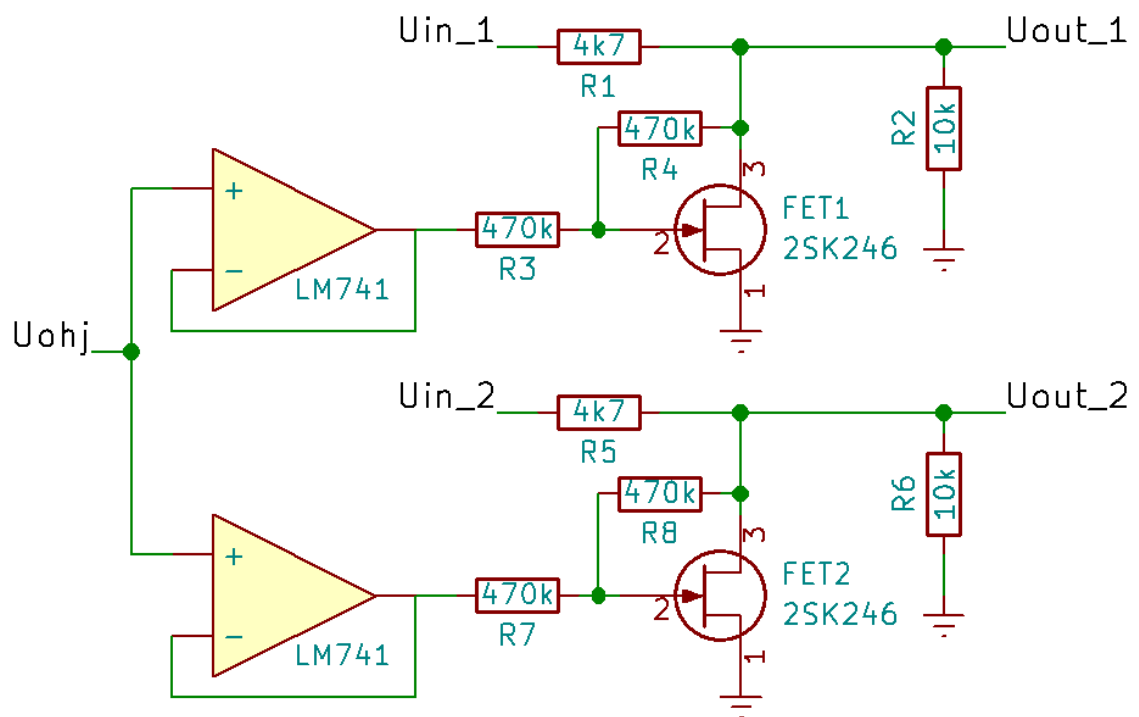
Kuva 1. FETillä toteutettu jännitejakokytkentä.

Tässä työssä käytettäväksi valittiin n-tyyppin JFET 2SK246 sen laajan lineaarisen alueen ja edullisen hinnan vuoksi [1]. Aluksi FETin toiminta testattiin tasajännitteellä, jolloin todettiin komponentin ja kytkennän olevan sopivia tarkoitukseen. Tämän jälkeen siirryttiin testaamaan kytkentää vaihtojännitteellä.

Testit suoritettiin syöttämällä kytkentään signaaligeneraattorilla sinimuotoinen 2 V:n 1 kHz:n signaali. Myös muun taajuisia ja vahvuisia signaaleja testattiin satunnaisesti, jotta voitiin todeta, että signaalin laatu ei vaikuta kytkennän toimintaan. Kytkentä mitattiin useilla ohjausjännitteen arvoilla. Mittaukset tehtiin oskilloskoopilla.

Ensimmäisessä testissä todettiin kytkennän aiheuttavan signaaliin säröä. Särön poistamiseksi kytkentään lisättiin 470 k $\Omega$ :n vastukset ohjamaan osa signaalista FETin hilalle, mikä linearisoi FETin toimintaa [2]. Tämän todettiin poistaneen särön lähes kokonaan.

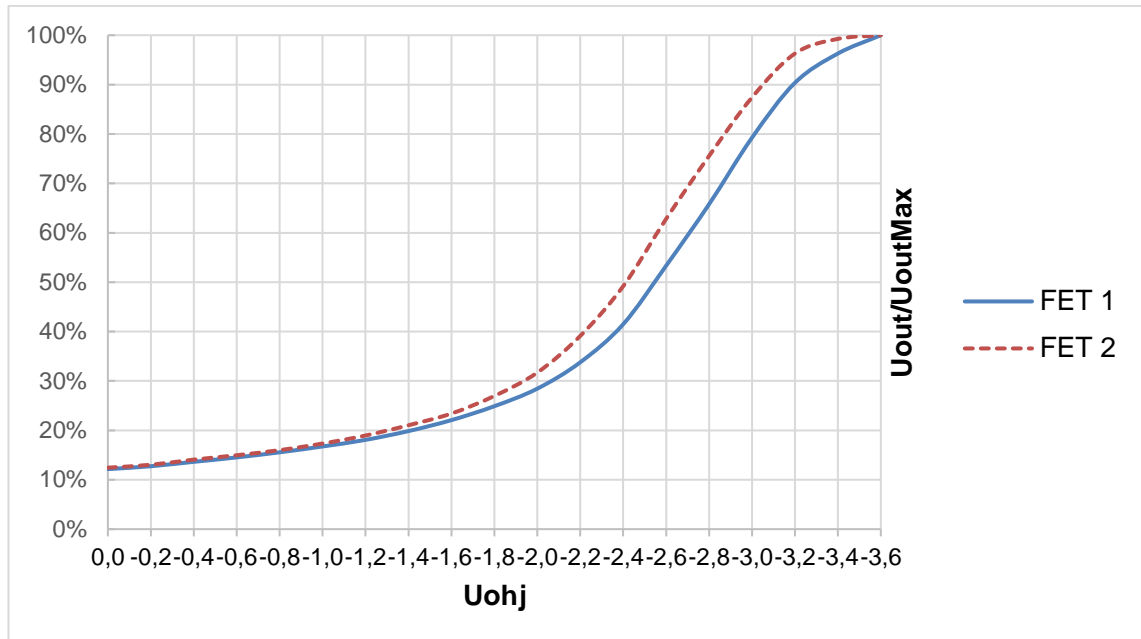
Stereoääni vaatii kaksi kanavaa, joten kytkentöjä rakennettiin kaksi (Kuva 2).



Kuva 2. Stereovaimentimen mittauskytkentä.

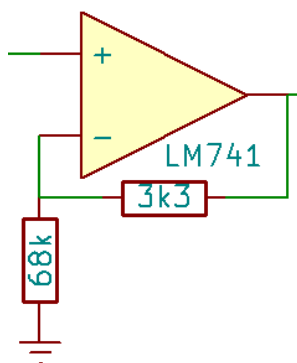
Mittaustulosten (Kuvio 1) perusteella todettiin, että FETien toiminnassa on kappalekohtaisia eroja, mikä aiheuttaa huomattavia eroja ulostulosignaalien amplitudeihin kytkentöjen välillä.





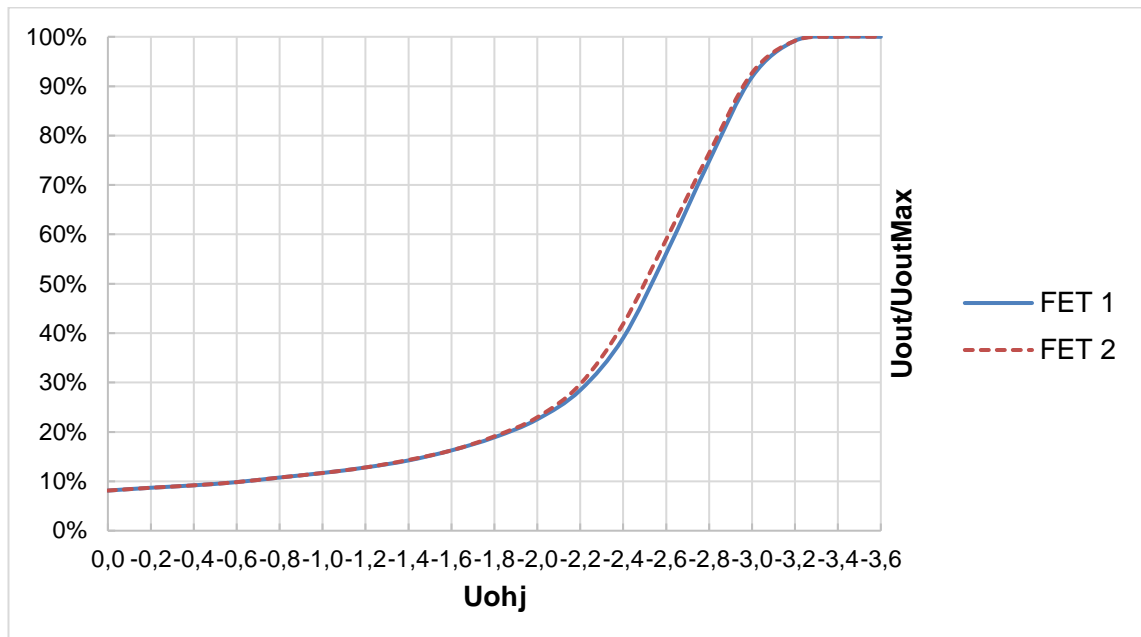
Kuvio 1. FET-kytkentöjen ulostulojännite suhteessa ohjausjännitteeseen.

Mittauksen perusteella laskettiin, että vahvistamalla FET 1:n ohjausjännitettä 5 %:lla, ulostulojännitteiden pitäisi vastata toisiaan lähes täydellisesti. Tämän perusteella FET 1:n ohjausjännitteen puskuriin lisättiin 5 %:n vahvistus (Kuva 3). Myös vastukset  $R1$  ja  $R5$  vaihdettiin  $10\text{ k}\Omega$ :n vastuksiin, jotta sisääntuloimpedanssi olisi suurempi. Tämä pienensi ulostulosignaalia hieman, mutta kytkennän vaatiessa joka tapauksessa vahvistimen audiokäytössä, ei tätä todettu haitaksi.



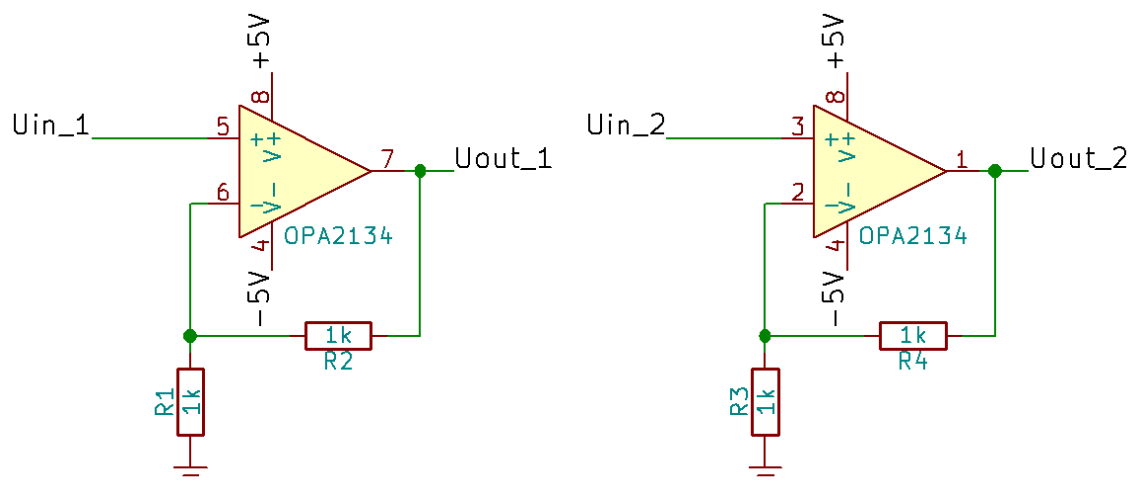
Kuva 3. 5 %:n vahvistus FET 1:n puskurissa.

KytKentä mitattiin uudelleen muutosten jälkeen. Kuten kuviosta 2 nähdään, vahvistuksen lisäämisen jälkeen ulostulojännitteet ovat hyvin lähellä toisiaan.



Kuvio 2. FET-kytkentöjen ulostulojännitteet vahvistuksen lisäämisen jälkeen.

Seuraavaksi kytkentä testattiin audiokäytössä. Kytkentään syötettiin musiikkia älypuhelimesta, ja testi toteutettiin subjektiivisesti kuuntelemalla lähtöä kuulokkeilla. Tätä ennen kytkentään lisättiin kuulokevahvistin (Kuva 4), jotta kytkennästä saataisiin tarpeeksi tehoa kuulokkeita varten. Vahvistin suunniteltiin Chu Moyn suunnitteleman vahvistimen pohjalta [3].



Kuva 4. Kuulokevahvistin.

Kytkenän todettiin toimivan oletetusti. Musiikki kulki kytkennän läpi vääristymättä, ja äänenvoimakkuus säätyi FETien ohjausjännitettä muuttamalla. Mahdollinen kytkennän aiheuttama särö ei vaikuttanut äänen laatuun. Tästä huolimatta kytkennän todettiin olevan huono valinta käytännön sovelluksiin sen vaatiman työmäärän takia.

## 2.2 TI PGA2311 -piiri

PGA2311 on TI:n valmistama, stereoaudion äänenvoimakkuuden säätöön tarkoitettu piiri. Ohjaus tapahtuu digitaalisesti sarjamuotoisella tiedonsiirrolla. Äänenvoimakkuus säätyy piirin sisäisen vastusverkon avulla 0,5 dB:n välein. [4]

Piiri testattiin subjektiivisesti syöttämällä siihen musiikkia älypuhelimesta ja kuuntelemalla ulostuloa aktiivisilla kaiuttimilla. Piirin ohjaamiseen käytettiin Arduino UNO -mikrokontrolleria. Mikrokontrollerille kirjoitettiin ohjelma, joka lukee potentiometrin asennon ja lähettää sen mukaan toivotun äänenvoimakkuuden piirille.

Äänenvoimakkuus säätyi piirillä sulavasti, sillä 0,5 dB:n askelten vuoksi säätö vaikutti havainnollisesti portaattomalta. Testatessa kuitenkin huomattiin, että tässä tapauksessa piirin äänenvoimakkuuden säätöalue on hyvin laaja, joten sitä kavennettiin ohjelmallisesti (Ohjelma 1).

### Ohjelma 1. Äänenvoimakkuuden säätöalueen kavennus

```
volume = analogRead(POT)/8+128;

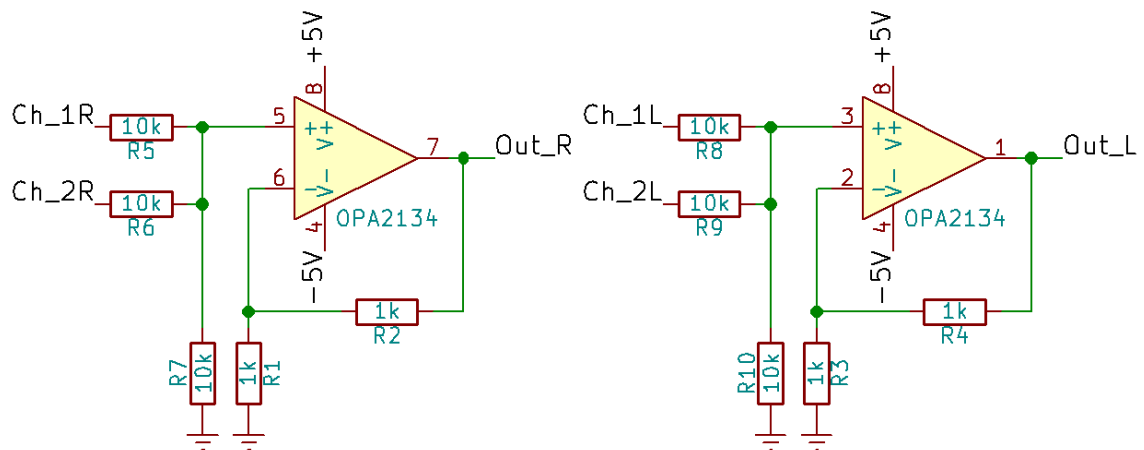
/*poistetaan luetusta 10 bittisestä arvosta 3 vähiten merkitsevää bittiä ja nostetaan lähtöarvo 128:aan, jolloin äänenvoimakkuus säätyy 0,5dB:n välein välillä -31.5...+31.5 dB */
```

Piiri todettiin hyvin toimivaksi ja helppokäyttöiseksi. Käytettäessä aktiivisia kaiuttimia piiri ei vaadi toimiakseen muuta kuin ohjauksen ja käyttöjännitteet. Mikäli kuuntelemiseen haluttaisiin käyttää kuulokkeita, pitäisi piirin perään lisätä vahvistin. Digitaalisen ohjauksen ansiosta piiriä on myös helppo soveltaa erilaisiin käyttökohteisiin.

### 3 STEREOMIKSERI

Mikseri, eli sekoitin, on laite, joka ottaa vastaan äänisignaaleja useasta lähteestä ja sekoittaa ne yhdeksi signaaliksi. Tässä työssä haluttiin stereomikseri, johon voidaan liittää kaksi äänilähdettä, joita voi kuunnella yksillä kuulokkeilla. Laitteessa tuli myös olla mahdollisuus säätää sisään tulevien stereokanavien äänenvoimakkuutta itsenäisesti.

Sekoitus toteutettiin muokkaamalla aiemmin käytetty kuulokevahvistin toimimaan summaavana vahvistimena. Tämä tehtiin lisäämällä vahvistimen tuloihin 10kΩ:n vastukset  $R(5-10)$ . (Kuva 5)



Kuva 5. Summaimeksi muokattu kuulokevahvistin.

Näin toteutettuna summaus aiheuttaa signaaleihin noin 3,5 dB:n vaimennuksen, mutta PGA2311-piirin tuottaman 31,5 dB:n vahvistuksen vuoksi tämän ei todettu olevan haitallista.

Sisään tulevien stereokanavien äänenvoimakkuuden säätöön käytettiin kahta PGA2311-piiriä. Piirien ohjaamiseen käytettiin Arduino UNO -mikrokontrolleria. Mikrokontrollerille kirjoitettiin ohjelma, joka lukee kahden potentiometrin (yksi potentiometri stereokanavaa kohden) asennon ja lähettää niiden perusteella halutut arvot PGA2311-piireille.

Laite testattiin subjektiivisesti syöttämällä mikserin tuloihin musiikkia kahdesta älypuhelimesta ja kuuntelemalla lähtöä kuulokkeilla. Sisään tulevat kanavat sekoittuivat ongelmitta, ja äänenvoimakkuus säätyi sulavasti. Äänenvoimakkuuden raja-arvoja jouduttiin säätämään jonkin verran, mutta tämä onnistui helposti ohjelmakoodia muuttamalla.

## 4 YHTEENVETO

Tässä opinnäytetyössä etsittiin vaihtoehtoja potentiometrille audion äänenvoimakkuuden säädössä. Kriteereinä työssä oli signaalin säilyttäminen analogisena ja potentiometrin käyttötuntuma. Alustavassa tutkimuksessa tuli esille, että saatavilla olevat vaihtoehdot ovat kaikki hyvin samankaltaisia.

Työssä päätettiin tutkia tarkoitukseen mahdollisesti soveltuvaa FET-kytkentää ja kaupallisesti saatavilla olevaa piiriä. FET-kytkennän todettiin olevan toimiva, mutta liian työläs käytännön sovelluksiin. Kaupallinen piiri todettiin hyvin toimivaksi ja monipuoliseksi digitaalisen ohjauksen vuoksi. Työssä testatuissa kytkennöissä ohjaamiseen käytettiin potentiometrejä, mutta niiden mahdollisesti aiheuttamilta häiriöiltä vältyttiin, koska signaali ei missään vaiheessa kulkenut potentiometrin läpi.

Tulosten perusteella voidaan todeta, että mikäli potentiometri halutaan korvata, on digitaalisesti ohjattu piiri muunneltavuutensa vuoksi varteenotettava vaihtoehto.

Työtä voisi jatkaa tutkimalla useampia kaupallisesti saatavilla olevia piirejä ja vertailemalla niiden vahvuuksia ja heikkouksia.

## LÄHTEET

- [1] *2SK246*, Toshiba, 1-1, Shibaura 1-chome, Minato-ku, Tokyo 105-8001, Japan, 2003.
- [2] *FETs as voltage-controlled resistors*, Vishay Intertechnology, Inc. 63 Lancaster Avenue Malvern, PA 19355-2143, 1997.
- [3] Tangentsoft, "How to Build the CMoy Pocket Amplifier" [www-dokumentti]  
Saatavilla: <http://tangentsoft.net/audio/cmoy/> (Luettu 11.11.2016)
- [4] *PGA2311 Stereo Audio Volume Control*, Texas Instruments 12500 TI Boulevard, Dallas, TX 75243, 2016.