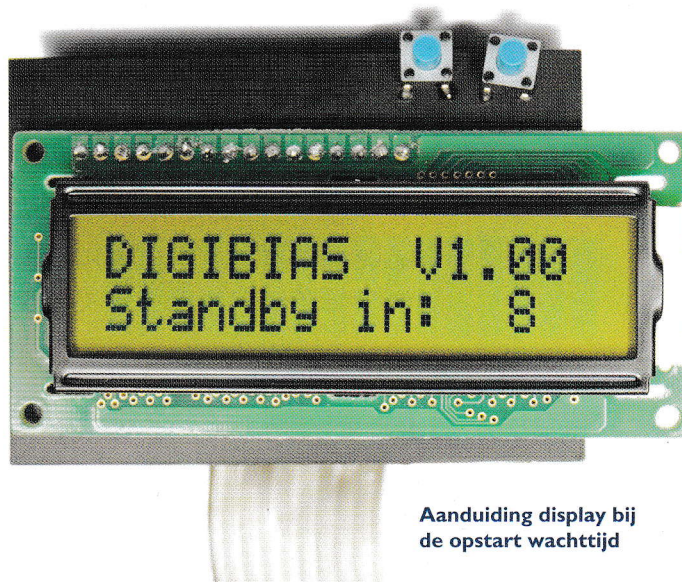


Digibias:

Digitaal de ruststroom instellen en bewaken



Aanduiding display bij de opstart wachttijd

DOOR JOCHEM ZWIER

Door de eindbuizen van een buizenversterker loopt altijd een ruststroom. De grootte daarvan is belangrijk voor de optimale werking van de versterker. Buizen verouderen echter, waardoor de ruststroom gaat verlopen en de eigenschappen van de versterker slechter worden. Daarom is een permanente bewaking van de ruststroom belangrijk. Dit artikel beschrijft een unieke bewakingsschakeling die in het digitale domein de ruststroom instelt en controleert.

Inleiding

Bij een buizenversterker is de ruststroom door de eindbuizen een belangrijk gegeven. Deze ruststroom bepaalt in hoeverre de versterker in klasse A opereert en dit is klanktechnisch van grote invloed. Door middel van de grootte van de ruststroom worden de eindbuizen van

de versterker ingesteld op een bepaald instelpunt. Ook is de ruststroom belangrijk voor de levensduur van de buizen. Hoe meer ruststroom er loopt, hoe korter hun levensduur wordt. Daarnaast is de gelijkheid van de ruststroom door de eindbuizen (bij balansschakeling) belangrijk om minimale vervorming en minimale brom te bereiken.

De ruststroom van eindbuizen kan worden ingesteld door middel van een negatieve voorspanning op het stuurrooster van elke eindbuis. Voedingstransformatoren in buizenversterkers hebben daarvoor een aparte secundaire wikkeling van zo'n 40 of 50 Volt, waarmee deze negatieve voorspanning gerealiseerd kan worden. De conventionele oplossing voor het instellen van de ruststroom is het meten van de gelijkspanning die in rustsituatie over een kleine kathode weerstand komt te staan, terwijl met een instelpotentiometer de negatieve voorspanning wordt aangepast totdat de gewenste ruststroom bereikt wordt.

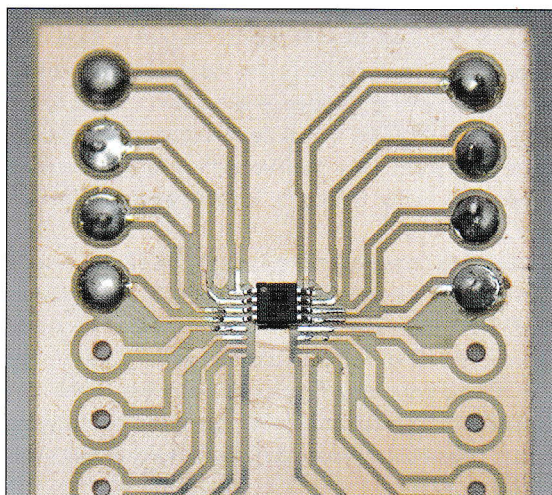
In deze Digibias schakeling wordt de ruststroom automatisch ingesteld en continu bewaakt. Via een LCD interface met twee drukknopjes kan de grootte van de ruststroom ingesteld worden. Er zijn geen handmatige instellingen en bewakingen meer nodig; de schakeling werkt volledig automatisch en controleert de optimale ruststroom continu, zelfs tijdens muziekweergave.

Korte beschrijving

Door middel van een ADC (Analoog naar Digitaal converter) wordt de spanning over een kleine kathode weerstand gemeten. Die spanning is evenredig met de ruststroom. De waarde ervan wordt opgeslagen in een processor, waar hij vergeleken wordt met een ruststroom die de gebruiker heeft ingesteld.

De negatieve voorspanning van de buis is digitaal instelbaar. Er wordt namelijk gebruik gemaakt van een DAC (Digitaal naar Analoog converter). De spanning aan de uitgang van de DAC wordt aangestuurd door de resul-

Proefprint voor
de DA-converter
AD5337

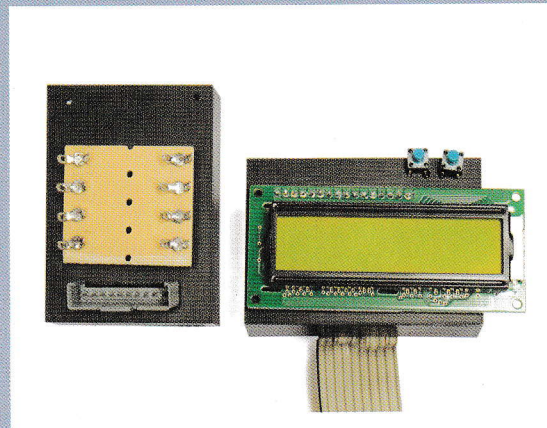
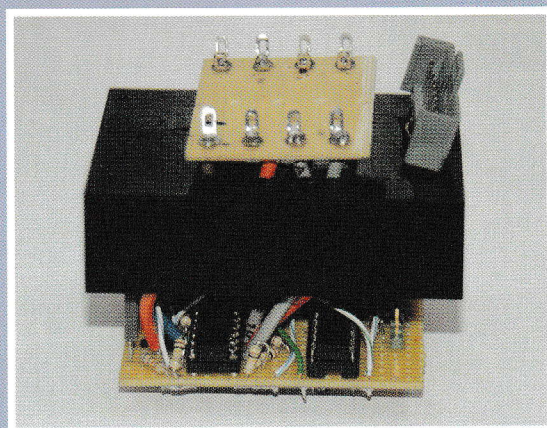
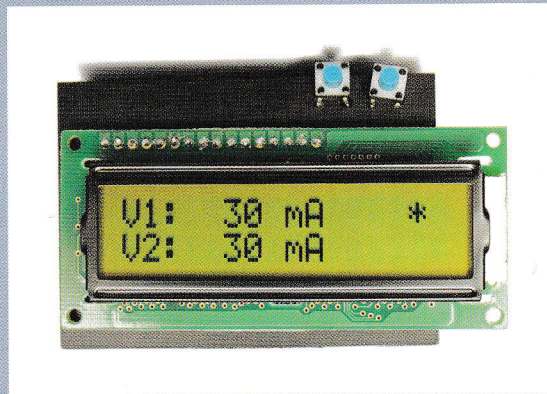
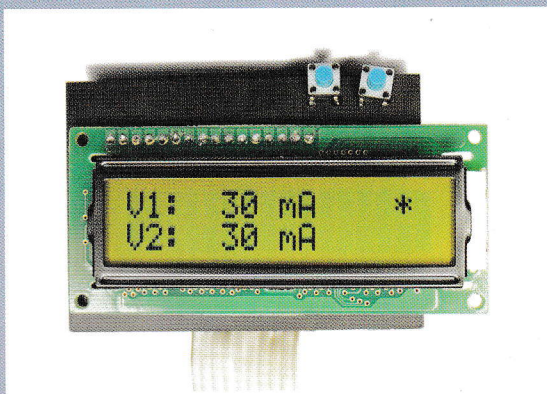


Het display geeft de
ruststroom aan

Nu zonder bandkabel

Montage van de
Digibias schakeling

Digibias met display



taten van de processor berekeningen. Deze spanning wordt uiteindelijk gebruikt om de negatieve voorspanning in te stellen.

■ Bewaking tijdens muziekweergave

Wanneer er geen audio ingangssignaal aanwezig is, kan de processor de buis gemakkelijk instellen op de gewenste waarde. Maar op het moment dat de buis ingangssignalen versterkt, gaat de stroom door de kathode weerstand lang niet altijd evenredig mee veranderen. Hierdoor klopt de meting van de ADC in veel gevallen niet. De oplossing is dat de processor een groot aantal keren de stroom meet en hier een soort middeling op toepast. Zolang het audio ingangssignaal symmetrisch is, wat over een zekere tijdspanne altijd het geval is, is de ruststroom af te leiden uit deze middeling. Dit gaat alleen goed zolang de buis in zijn klasse A gebied werkt, want dan verandert de stroom door de buis ook symmetrisch rondom de ingestelde ruststroom.

Wanneer de buis in klasse B gaat werken is deze eenvoudige middeling niet meer voldoende. Het signaal op de kathode weerstand is dan namelijk niet meer symmetrisch rondom de ruststroom verdeeld. De stroom wordt dan meer groter dan kleiner dan de ruststroom. Bij een standaard middeling wordt daardoor een te grote gemiddelde stroom gemeten, waardoor de buis door de controle schakeling afgeknepen (bijregelen tot lagere ruststroom) wordt.

De oplossing hiervoor is om een smal meetvenster in het klasse A werkgebied van de buis te creëren. Dit venster wordt door de processor om de gekozen ruststroom gelegd. Wanneer de momentane stroom groter is dan dit venster, wordt de waarde van de meting vastgelegd op de bovenste grens van het venster. Dit

gebeurt aan de onderkant van het venster ook. Het resultaat is dat de processor alleen 'meet' binnen het venster dat rondom het gekozen instelpunt ligt. In dit venster is het signaal symmetrisch en is via een normale middeling de ruststroom af te lezen. Anders geformuleerd: de schakeling meet alleen in een smal klasse A gebied rondom de ruststroom. Wat daarbuiten gebeurt (bijvoorbeeld uitsturing in het klasse B werkgebied) wordt genegeerd. Hierdoor heeft de dan optredende asymmetrie in de stroom geen invloed meer op de eigenlijke meting en middeling. Zie 1) voor een volledig analoge schakeling die op dezelfde manier werkt.

■ Digibias hardware

De toegepaste processor is de PIC16F690 van Microchip. Dit 20 pins IC heeft een ingebouwde ADC en de schakeling werkt standaard op 4 MHz.

De spanning over de kleine kathodeweerstand bij de eindbuis (10 Ohm) wordt eerst twee keer versterkt door een niet inverterende opamp schakeling. Bij 40 mA door de buis 'ziet' de ADC dan 0,8 V. Hierdoor zit de te meten spanning voldoende in het meetbereik (0 tot 5 V) van de ADC en wordt de resolutie van de meting voldoende groot. Deze voorversterker fungeert ook als impedantie buffer tussen de kathodeweerstand en de ADC.

De DAC in deze schakeling is de AD5337 van Analog Devices. Dit is een goedkope (2,30 euro) twee kanaals DAC potentiometer, die via twee datalijnen bestuurd wordt. Het IC is 8 pins en is alleen verkrijgbaar in een MSOP SSD behuizing. Precies soldeerwerk is hier dus essentieel. Het is daarom aan te raden een 'prototyping board' te gebruiken, waar dit IC gemakkelijker op te solderen is.

De uitgang van de DAC wordt geïnverteerd via een tweede opamp schakeling. Aan de uitgang daarvan verschijnt dan een spanning tussen 0 V en -5 V. Deze spanning wordt gevoerd naar de basis van een PNP transistor. Afhankelijk van de spanning op de basis van de transistor loopt er een stroom door de collector. Hoe meer negatief de spanning op de basis, des te meer stroom er loopt, waardoor de spanning over de collectorweerstand ($R_4 = 10 \text{ k}\Omega$ in het schema) groter wordt. Hierdoor gaat de uitgangsspanning meer naar 0 V. De viervoudige opamp TL074 (zie figuur 3) die zorg draagt voor de voorversterking en inversie, wordt gevoed uit een positieve V_{cc} en negatieve V_{ss} spanning van plus en min 15 V.

De instelling van de gehele schakeling gebeurt via een LCD uitleesscherm en twee drukknopjes. Deze knoppen zijn via pull-up weerstanden verbonden met de processor. De data voor de LCD wordt aangeleverd via een CD4094 8 bits schuifregister, zodat er minder pinnen nodig zijn op de processor. De LCD en de knoppen zijn op deze manier makkelijk te verbinden met de rest van de schakeling via een bandkabel. Zo kan de hoofdprint weggewerkt worden in de versterker terwijl de interface bediening en uitlezing op het frontpaneel bevestigd kan worden.

Software downloaden

Voor de software is gebruik gemaakt van de CC5X compiler, Standard Edition. Hiermee wordt de 16F690 in de taal C geprogrammeerd. Deze open source software kan van de website 2) gehaald worden en staat vrij ter beschikking.

Meer details over de ADC

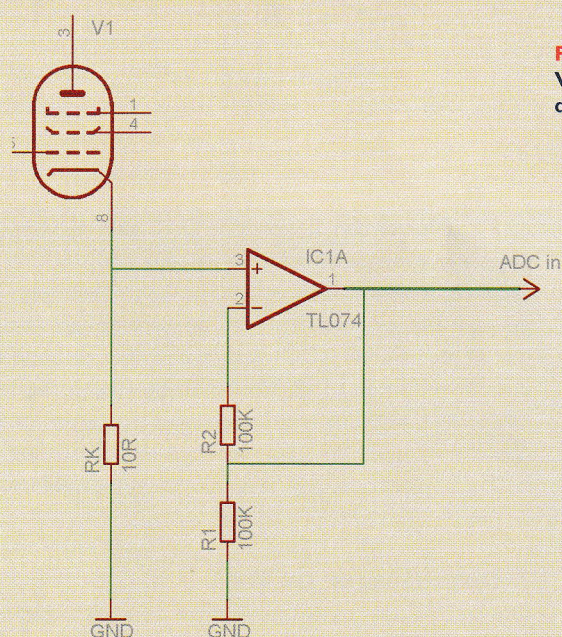
De ingebouwde ADC van de 16F690 is 10 bits en heeft 10 kanalen. Per buis is één kanaal nodig. Via een software gestuurde multiplexer moeten de kanalen geselecteerd worden. Dit wordt ingesteld in het ADCON0 register van de processor. Uiteraard moeten de pinnen die bij de kanalen horen wel geconfigureerd worden als

analoge input. (via de TRIS en ANSEL registers)

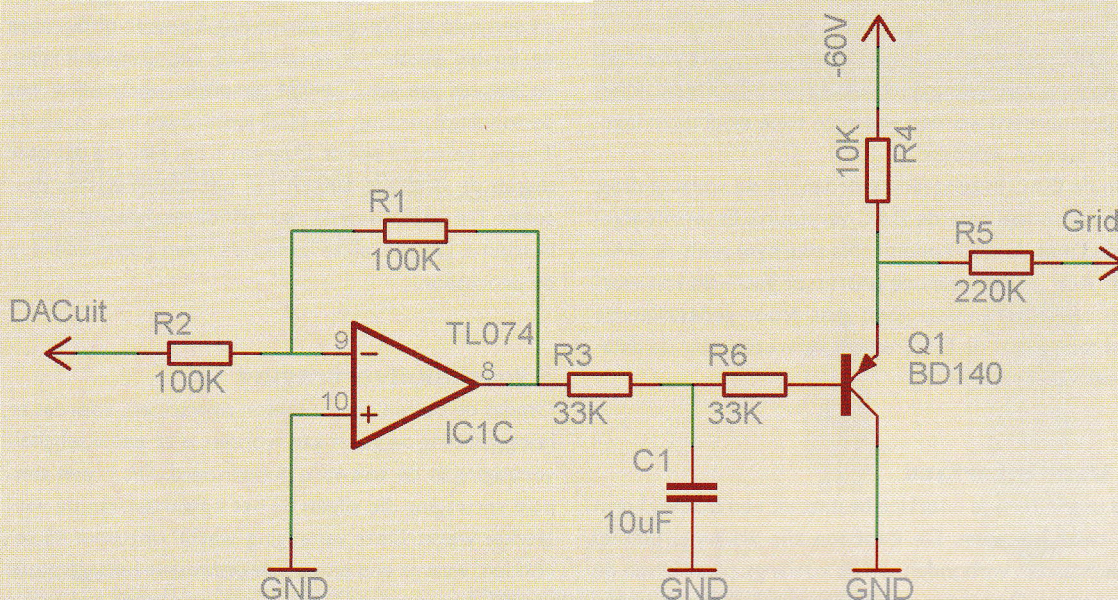
De klok van de ADC is via het ADCON1 register ingesteld op 1 MHz. Snelheid is niet echt belangrijk bij deze schakeling, omdat er een middeling wordt toegepast op de gemeten waarden.

In de software worden steeds 20000 stroommetingen gedaan, waarvan de gemiddelde waarde genomen wordt. Hier wordt gebruik gemaakt van een 24 bit variabele. De 16F690 heeft weliswaar een 8 bit core, maar de compiler ondersteunt 24 bit variabelen en gebruikt dus meerdere bytes uit de processor om de variabele te realiseren. Dit gaat ten koste van de snelheid, maar die is in dit geval niet essentieel.

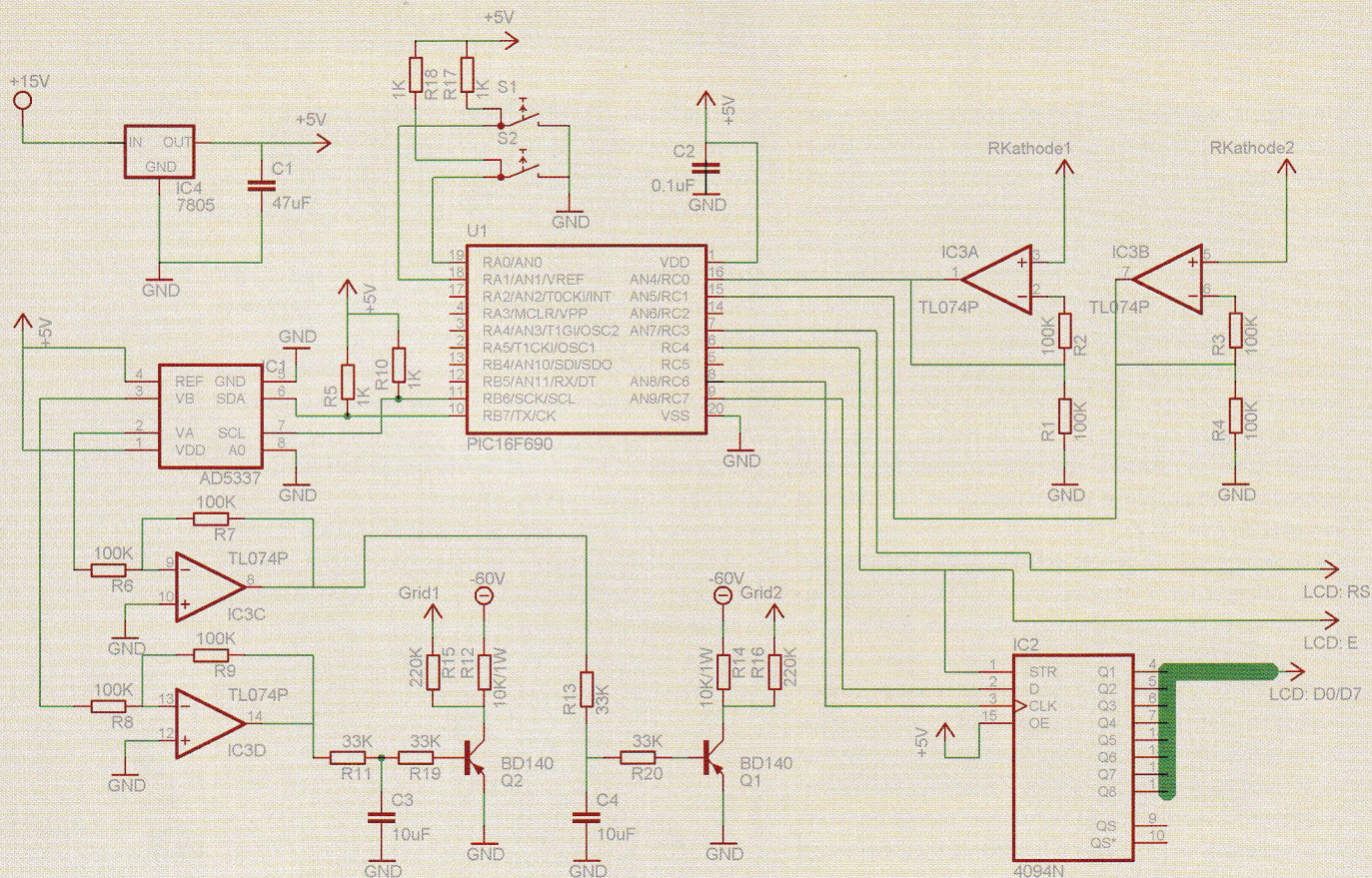
Wanneer de gemiddelde ruststroom waarde hoger is dan de gekozen waarde, wordt een 'controle variabele' verhoogd. Deze 'controle variabele' wordt verlaagd, wanneer er bij een volgende meting een ruststroom waarde wordt gemeten die onder de gekozen waarde ligt. Wanneer nu deze controle variabele lager wordt



Figuur 1:
Voorversterker van
de te meten spanning



Figuur 2:
Spanningsinversie en
regeling van de negatieve
roosterspanning
die via R5 naar het
stuurrooster wordt
gevoerd.



Figuur 3: Overzichtschema van de totale DigiBias schakeling. Merk op dat de TL074 gevoed wordt met $V_{cc}/V_{ss} = \pm 15\text{ V}$ (niet getekend).

dan -3 of hoger dan 3, wordt de DAC gebruikt om de negatieve voorspanning aan te passen.

Deze controle variabele voorkomt schommelingen van de negatieve voorspanning. Het kan namelijk best zo zijn dat de gemiddelde ADC waarde een keer te hoog is, door meetfouten of door quantisatie fouten. Bij het delen van een 24 bits getal kunnen er ook fouten optreden. Pas wanneer de ADC meting drie keer te hoog of te laag is, wordt de negatieve voorspanning aangepast.

Details over de DAC

Om de DAC en dus de uiteindelijke de negatieve voorspanning in te kunnen stellen praat de processor met de DAC. Deze interfacing gaat via 2 lijnen. Een kloklijn en een datalijn. De interface van de AD5337 is I2C compatible.

De DAC is 2 kanaals en via een adressering kunnen dus twee verschillende spanningen aan de uitgangen van het IC gegenereerd worden waarmee twee eindbuizen ingesteld kunnen worden.

Om de DAC in te stellen worden, na de startconditie, 4 bytes serieel naar de DAC verstuurd. Er wordt afgesloten met de stop conditie. Na elke byte geeft de DAC een 'Ack', zodat vanuit de processor gecheckt kan worden of de transmissie goed gaat. Voor gedetailleerde interfacing met de DAC wordt verwezen naar de datasheet van de AD5337.

User interface

De user interface interface bestaat uit een LCD-scherm en twee knoppen. De knoppen zijn via twee pull-up weerstanden verbonden aan de voedingsspanning van de processor. De pinnen van de processor waar de knop-

pen aan zitten zijn geconfigureerd als digitale input en zijn door de pull-up weerstanden altijd hoog, tenzij de knop wordt ingedrukt.

De processor detecteert wanneer een knop wordt ingedrukt, maar voert de volgende behandeling pas uit, zodra de knop weer losgelaten wordt. De knoppen worden softwarematig gedebounced.

Met de knoppen kan de gewenste ruststroom gekozen worden. Deze gekozen waarde wordt gebruikt om het eerder besproken meetvenster mee te creëren, waarmee de gemeten kathodestroom wordt vergeleken. De LCD geeft aan op welke ruststroom de eindbuizen staan ingesteld. De LCD wordt in 8 bit mode bestuurd door de processor. Door middel van het 4094 schuifregister IC worden deze 8 bits serieel uit de processor geklokt. Daardoor zijn slechts 2 pinnen nodig, een klok en een data lijn. Verder zijn er nog 2 pinnen nodig voor de 'Enable' en de 'RS' van de LCD. De 'Output Enable' en 'Strobe' van het CD4094 zijn allebei verbonden met de voedingsspanning. De LCD leest alleen data in, als de 'Enable' gestuurd wordt. Daarom is het niet erg dat daar tussen de data alle pinnen van het schuifregister passeert. De LCD wordt net als de standaard 44780 bestuurd. De gebruikte karakters staan gedefinieerd in de processor.

Inschakelvertraging

Omdat de buizen eerst moeten opwarmen, voordat er hoogspanning op gezet kan worden, is er een inschakelvertraging in de software gerealiseerd. Dit is een simpele vertraging die alleen bij het opstarten van de versterker werkt. Deze vertraging 'wacht' ongeveer 45 seconden, waarna een pin van de processor hooggemaakt wordt. Aan deze pin kan via een transistor een relais

verbonden worden die de 'standby' schakelaar van een buizenversterker kan vervangen.

Wanneer gebruik wordt gemaakt van een gewone standby schakelaar, kan de Digibias schakeling elk moment op pauze worden gezet door beide knoppen van de interface in te drukken. De schakeling doet nu niets meer, de stuurroosterspanning staat op maximaal negatief, totdat weer één van de knoppen ingedrukt wordt waarbij de gehele procedure opnieuw opstart.

Voeding

De voeding van de schakeling is dermate standaard dat hier verder geen aandacht aan wordt besteed. Deze bestaat uit +15 V en -15 V rechtstreeks naar de TL074. Via een 7805 voltage regulator wordt een stabiele 5 V bron gerealiseerd voor de I6F690 en de AD5337. De LCD werkt ook op 5 V evenals het 4094 schuifregister IC. De benodigde -60 tot -80 V voor de uiteindelijke negatieve stuurspanning op de roosters van de eindbuizen kan met de al besproken 40 of 50 V wikkeling op de voedingstrafo worden gemaakt. Hierbij is dubbelfasige gelijkrichting en enkelvoudige buffering met 1000 μ F meer dan voldoende goed.

Evaluatie en de praktijk

De Digibias is in meerdere buizenversterkers getest. Daarbij bleek vooral dat de grootte van de tijdlussen een belangrijke factor is voor de stabiliteit. Omdat alle wachttijden programmatisch gemakkelijk instelbaar zijn, werd uiteindelijk voor de nu volgende procedure gekozen. Na het inschakelen van de netspanning wacht de Digibias 45 seconden, terwijl de negatieve roosterspanning maximaal negatief is. De gloeidraden krijgen zo de tijd om goed warm te worden en de eindbuizen trekken geen stroom. Daarna treedt de volgende tijdus in werking, waarbij de negatieve roosterspanning redelijk snel steeds minder negatief wordt, totdat de gewenste ruststroom wordt bereikt. Deze tijdus duurt ongeveer 15 seconden en deze tijd hangt ook nog iets af van de gebruikte eindbuizen. Hebben die namelijk veel negatieve roosterspanning nodig, dan wordt de tijd iets minder dan 15 seconden. Bij weinig negatieve voorspanning duurt het iets langer dan 15 seconden. Hierna treedt een tijdus met grote middelingstijd op, ongeveer in tijdblok-

ken van 3 seconden. Deze lus herhaalt zich steeds. De tijd van 3 seconden is ruim voldoende om onrust in de regeling van de negatieve roosterspanning te voorkomen. Ook wordt door deze lange tijd voorkomen dat er enige modulatie optreedt door laagfrequente signalen in de muziek. Het kleine R-C netwerk (33 k Ω + 10 μ F voor de regeltor BD140) functioneert daarbij als deglitching netwerk wat opnieuw onrust in de negatieve roosterspanning voorkomt. Als de netspanning uitgeschakeld wordt keert de processor, na hernieuwd inschakelen, direct weer naar zijn eerste procedure terug, waarna het zachte opstarten opnieuw begint.

Aangezien de ontwikkelde software open source is, kan ieder natuurlijk zijn eigen procedures ontwikkelen en aan de praktijk optimaal aanpassen. Bij onze testen is gebleken dat de hierboven geschetste procedure prettig werkt en de eindbuizen rustig en stabiel naar hun instelpunt voert en hen daar continu laat zijn.

23

Literatuur en bronnen

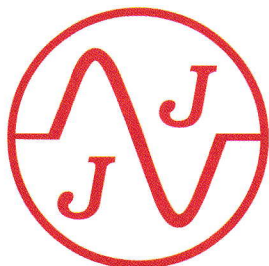
- 1) Menno van der Veen: "High-End buizenversterkers 2"; hoofdstuk 12; Segment, ISBN 90-5381-204-0
- 2) members.home.nl/hugozwier/digibias.html : alhier downloaden van software van de Digibias
- 3) Voor vragen: jochemzwier@gmail.com

Componentenlijst:

I6F690 1x
AD5337ARMZ 1x
TL074 1x
CD4094 1x
44780 compatible LCD 1x
2x momentschakelaar
BD140 2x
100 K 4x
10 K/1W 2x
220 K 2x
68 K 2x
1 k 4x
10 k 1x
10 k instelpot 1x (LCD, Contrast)
47 μ F/16V 1x
0,1 μ F 1x
7805 1x

JJ eind-en voorversterker buizen

ecc81/12at7 - ecc82/12au7 - ecc83s/12ax7 - ecc803s - ecc832/12dw7
e88cc/6922,6dj8 - ecc99 - el84/6bq5 - 7591s - el34/6ca7 - kt77 - 6v6s
6l6gc/5881 - 7027a - el509s - 300b - 2a3-40w



Bots Electronics - Valkenswaard
Tel.: +31 (0)40-2071777 Fax: +31 (0)40-2071779

JJ Electronic

Internet: www.Botselec.nl E-mail: Info@Botselec.nl

