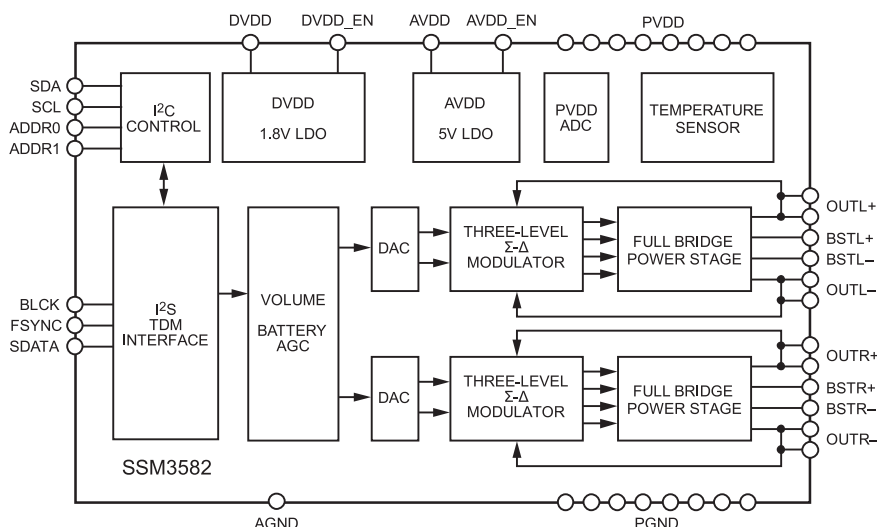


Cyfrowy wzmacniacz mocy stereo z interfejsem I²S

Zaprezentowany moduł jest kompletną cyfrową końcówką mocy audio, pracującą w klasie D. Może posłużyć do realizacji mobilnych systemów nagłośnieniowych, układów transmisji sygnału audio poprzez sieć Ethernet czy wielokanałowych głośników aktywnych. Pozwala w prosty sposób poszerzyć funkcjonalność zestawu AudioDSP, Raspberry Pi lub płytek uruchomionych SoC/FPGA ze złączem Pmod.

Wzmacniacz został zbudowany na bazie układu SSM3582 firmy Analog Devices, który integruje w sobie dwukanałową

końcówkę mocy 2×15 W, pracującą w klasie D ze sprawnością sięgającą 90%, przetwornik DAC (24 bit/192 kHz), regulator



Rysunek 1. Struktura wewnętrzna układu SSM3528

Dodatkowe materiały do pobrania ze strony www.media.avt.pl

W ofercie AVT* AVT-5836

Podstawowe parametry:

- moc wyjściowa do 2×15 W przy 4 Ω i zasilaniu 12 V,
- sprawność sięgająca 90%,
- cyfrowy interfejs audio I²S,
- nie wymaga sygnału zegarowego MCLK dla interfejsu I²S/TDM,
- zintegrowany przetwornik DAC 24 bity/192 kHz,
- wbudowany regulator głośności i limiter,
- rozbudowany układ sterowania i kontroli poprzez magistralę I²C,
- zasilanie napięciem w zakresie 4,5..16 V.

Projekty pokrewne na www.media.avt.pl:

- AVT-5756 Cyfrowy wzmacniacz mocy z interfejsem Bluetooth (EP 4/2020)
- AVT-5717 Opóźniacz dołączenia głośników zasilany 230 V (EP 9/2019)
- AVT-5669 Wzmacniacz mocy audio 4×48 W/4 Ω (EP 4/2019)
- Wzmacniacz z kanałem basowym 2.1 (EP 1/2019)

Uwaga! Elektroniczne zestawy do samodzielnego montażu. Wymagana umiejętność lutowania!

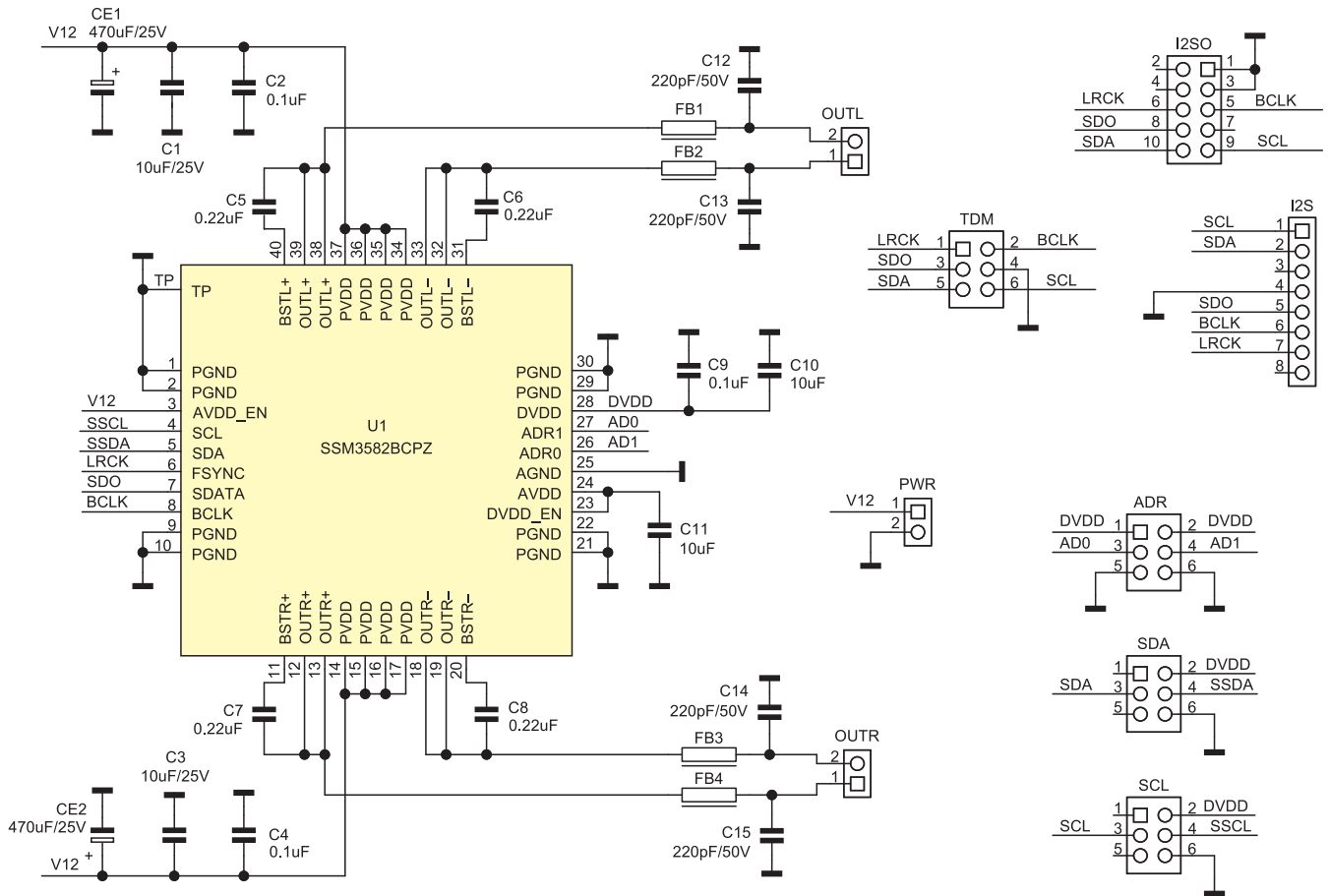
Podstawową wersją zestawu jest wersja [B] nazywana potocznie KIT-em (z ang. zestaw). Zestaw w wersji [B] zawiera elementy elektroniczne (w tym [UK] – jeśli występuje w projekcie), które należy samodzielnie wylutować w dołączoną płytkę drukowaną (PCB). Wykaz elementów znajduje się w dokumentacji, która jest podlinkowana w opisie kitu. Mając na uwadze różne potrzeby naszych klientów, oferujemy dodatkowe wersje:

- wersja [C] – zmontowany, uruchomiony i przetestowany zestaw [B] (elementy wylutowane w płytkę PCB)
- wersja [A] – płytkę drukowaną bez elementów i dokumentacji

Kity w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:

- wersja [A*] – płytkę drukowaną [A] + zaprogramowany układ [UK] i dokumentacja
- wersja [UK] – zaprogramowany układ

Nie każdy zestaw AVT występuje we wszystkich wersjach! Każda wersja ma załączony ten sam plik pdf! Podczas składania zamówienia upewnij się, którą wersję zamawiasz! <http://sklep.avt.pl>. W przypadku braku dostępności na <http://sklep.avt.pl>, osoby zainteresowane zakupem płytek drukowanych (PCB) prosimy o kontakt via e-mail: kity@avt.pl.



Rysunek 2. Schemat wzmacniacza

głośności, limiter, rozbudowany układ sterowania i kontroli poprzez magistralę I²C. Dodatkowo układ zawiera pomocniczy stabilizator LDO do zasilania wbudowanych bloków bezpośrednio z napięcia zasilającego końcówkę mocy oraz ma wbudowany układ resetu po włączeniu zasilania. Dla ułatwienia aplikacji układu, nie jest wymagany sygnał zegarowy MCLK dla interfejsu I²S/TDM. Układ zamknięty jest w obudowie LFCSP40 o wymiarach 6×6 mm z padem termicznym.

W większości aplikacji nie wymaga zastosowania radiatora. Struktura wewnętrzna układu została pokazana na **rysunku 1**.

Budowa i działanie

Schemat układu wzmacniacza został pokazany na **rysunku 2**. Aplikacja nie odbiega od noty katalogowej Analog Devices, proponowanej dla wzmacniacza stereo. Sygnał wejściowy w standardzie I²S/TDM doprowadzony jest do złącza I²S zgodnego

z Pmod lub I²SO zgodnego z AudioDSP, a stąd do interfejsu wejściowego układu U1 typu SSM3582.

Zasilanie końcówki mocy doprowadzone jest do złącza śrubowego PWR, układ pracuje poprawnie przy zasilaniu napięciem 4,5...16 V, należy tylko pamiętać o wydajności źródła dostosowanej do zakładanej mocy wzmacniacza. Do zasilania wewnętrznych bloków układu służy wbudowany stabilizator AVDD_LDO, aktywowany wyprowadzeniem AVDD_EN oraz stabilizator DVDD_LDO, aktywowany sygnałem DVDD_EN. Kondensatory C9...C11 odsprężają zasilania AVDD, DVDD układu U1. Kondensatory

Tabela 1. Adresacja SSM3582

ADRx Pin		Device Address	TDM Slot	
ADRO	ADR1		MONO = 0	MONO = 1
0	0	0x10	1, 2	1
0	1	0x11	3, 4	2
1	0	0x12	5, 6	3
1	1	0x13	7, 8	4
0	Pull-down	0x14	9, 10	5
0	Pull-up	0x15	11, 12	6
1	Pull-down	0x16	13, 15	7
1	Pull-up	0x17	15, 16	8
Pull-down	0	0x18	17, 18	9
Pull-down	1	0x19	19, 20	10
Pull-up	0	0x1A	21, 22	11
Pull-up	1	0x1B	23, 24	12
Pull-down	Pull-down	0x1C	25, 26	13
Pull-down	Pull-up	0x1D	27, 28	14
Pull-up	Pull-down	0x1E	29, 30	15
Pull-up	Pull-up	0x1F	31, 32	16

Wykaz elementów:

Kondensatory:

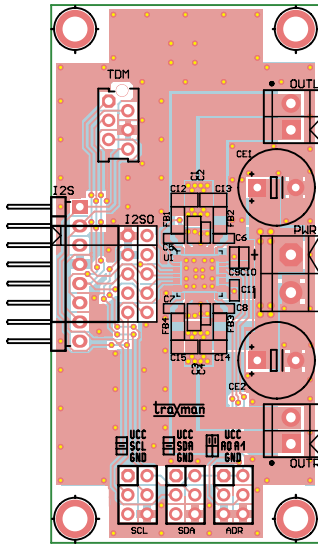
C1, C3: 10 µF/25 V ceramiczny SMD0805
 C2, C4, C9: 0,1 µF/50 V ceramiczny SMD0603
 C5...C8: 0,22 µF/50 V ceramiczny SMD0603
 C10, C11: 10 µF/50 V ceramiczny SMD0603
 C12...C15: 220 pF/50 V ceramiczny SMD0805
 CE1, CE2: 470 µF/25V elektrolityczny LOW ESR R=5 mm

Półprzewodniki:

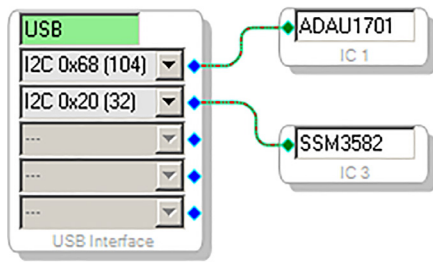
U1: SSM3528BCPZ (LFCSP40)

Pozostałe:

FB1...FB4: dławik ferrytowy BLM21PG121SN1D SMD0805
 ADR, SCL, SDA: IDC6 + zworki
 I2S: złącze kątowe SIP8
 I2S0: złącze kątowe 2x5 pin żeńskie
 OUTL, OUTR: złącze śrubowe DG381-3.5-2
 PWR: złącze śrubowe DG126-5.0-2
 TDM: złącze micromatch 6 pin



Rysunek 3. Schemat płytki PCB wraz z rozmieszczeniem elementów



Rysunek 4. Konfiguracja zestawu AudioDSP i SSM3582

CE1, CE2, C1...C4 zapewniają filtrację i odsprężanie zasilania stopnia mocy. Kondensatory C5...C8 są elementami obwodu bootstrap stopnia mocy. Wzmocniony sygnał wyjściowy, po filtracji w obwodzie z elementami FB1...FB4, C12...C15, doprowadzony jest do złączy śrubowych OUTL, OUTR.

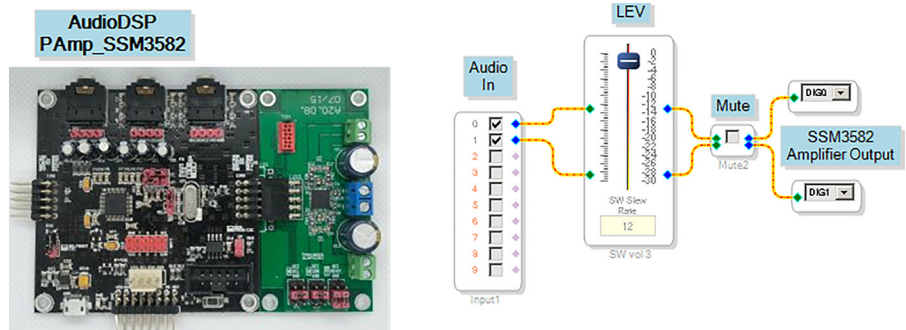
Parametryzacja i kontrola pracy układu odbywa się poprzez interfejs I²C. W przypadku współpracy z systemami Pmod, interfejs I²C należy doprowadzić do dodatkowych pinów 1, 2 złącza I²S, w przypadku AudioDSP nie są wymagane dodatkowe połączenia, gdyż interfejs I²C dostępny jest domyślnie na złączu I²SO (moduł podłączmy z prawej strony zestawu). Złącze TDM umożliwia kaskadowe łączenie modułów, jeżeli realizujemy wzmacniacz wielokanałowy np. w konfiguracji 2.1/5.1. Połączenia pomiędzy poszczególnymi modułami wykonane są taśmą 1:1 ze złączami micromatch 6 pin. Zasilanie do złącza PWR należy doprowadzić niezależnie do każdego modułu wzmacniacza. Układ uzupełniają zworki ADDR, SDA, SCL umożliwiające konfigurację interfejsu I²C. Wszystkie piny wejściowe akceptują napięcie z zakresu 1,8...5,5 V, należy pamiętać o zewnętrznym podwieszeniu magistrali I²C do dodatkowego zasilania części cyfrowej.

Tabela 2. Konfiguracja SSM3582 w trybie samodzielnym

Sample Rate	ADDR0	ADDR1	SDA	SCL	TDM Slot(s)	MONO
32 kHz to 48 kHz	0	Open	0	0	1, 2	0
	1	Open	0	0	3, 4	0
	Pull-down	Open	0	0	5, 6	0
	Pull-up	Open	0	0	7, 8	0
	Open	0	0	0	9, 10	0
	Open	1	0	0	11, 12	0
	Open	Pull-down	0	0	13, 14	0
8 kHz to 12 kHz	Open	Open	0	0	1, 2	0
	0	Open	0	1	1	1
	1	Open	0	1	2	1
	Pull-down	Open	0	1	3	1
	Pull-up	Open	0	1	4	1
	Open	0	0	1	5	1
	Open	1	0	1	6	1
32 kHz to 48 kHz	Open	Pull-down	0	1	7	1
	Open	Pull-up	0	1	8	1
	Open	Open	0	1	1, 2	1
	0	Open	1	0	1, 2	0
	1	Open	1	0	3, 4	0
	Pull-down	Open	1	0	5, 6	0
	Pull-up	Open	1	0	7, 8	0
64 kHz to 96 kHz	Open	0	1	0	9, 10	0
	Open	1	1	0	11, 12	0
	Open	Pull-down	1	0	13, 14	0
	Open	Pull-up	1	0	15, 16	0
	Open	Open	1	0	1, 2	0
	0	Open	1	1	1	1
	1	Open	1	1	2	1
16 kHz to 24 kHz	Pull-down	Open	1	1	3	1
	Pull-up	Open	1	1	4	1
	Open	0	1	1	5	1
	Open	1	1	1	6	1
	Open	Pull-down	1	1	7	1
	Open	Pull-up	1	1	8	1
	Open	Open	1	1	1, 2	0
64 kHz to 96 kHz	Open	Open	1	1	1, 2	0
	0	Open	1	1	1	1
	1	Open	1	1	2	1
	Pull-down	Open	1	1	3	1
	Pull-up	Open	1	1	4	1
	Open	0	1	1	5	1
	Open	1	1	1	6	1
128 kHz to 192 kHz	Open	Pull-down	1	1	7	1
	Open	Pull-up	1	1	8	1
	Open	Open	1	1	1, 2	0

Praca układu SSM3582 może być kontrolowana poprzez magistralę I²C, ale układ może działać także w trybie samodzielnym z konfiguracją sprzętową i ograniczoną funkcjonalnością. W trybie I²C zworki ADDR służą do ustawienia adresu bazowego SSM3582 na magistrali I²C. Adresację pokazano w tabeli 1. Wyróżniono adresy

0x10...0x13 możliwe do bezpośredniego ustawienia za pomocą zworek na płycie. Aby podłączyć magistralę I²C do układu U1, konieczne jest założenie zworek SDA, SCL w pozycji 3-4. W ograniczonym funkcjonalnie trybie samodzielnym położenie zworek, w zależności od konfiguracji, pokazano w tabeli 2.



Rysunek 5. Projekt testowy Test_SSM3582.dspproj

Montaż i uruchomienie

Wzmacniacz zmontowany jest na dwustronnej płytce drukowanej, której schemat wraz

z rozmieszczeniem elementów został pokazany na **rysunku 3**. Przed montażem należy ustalić rodzaj używanego złącza: I²SO

czy I²S. Montaż nie wymaga szczegółowego opisu, a układ zmontowany ze sprawdzonych elementów nie wymaga uruchamiania.

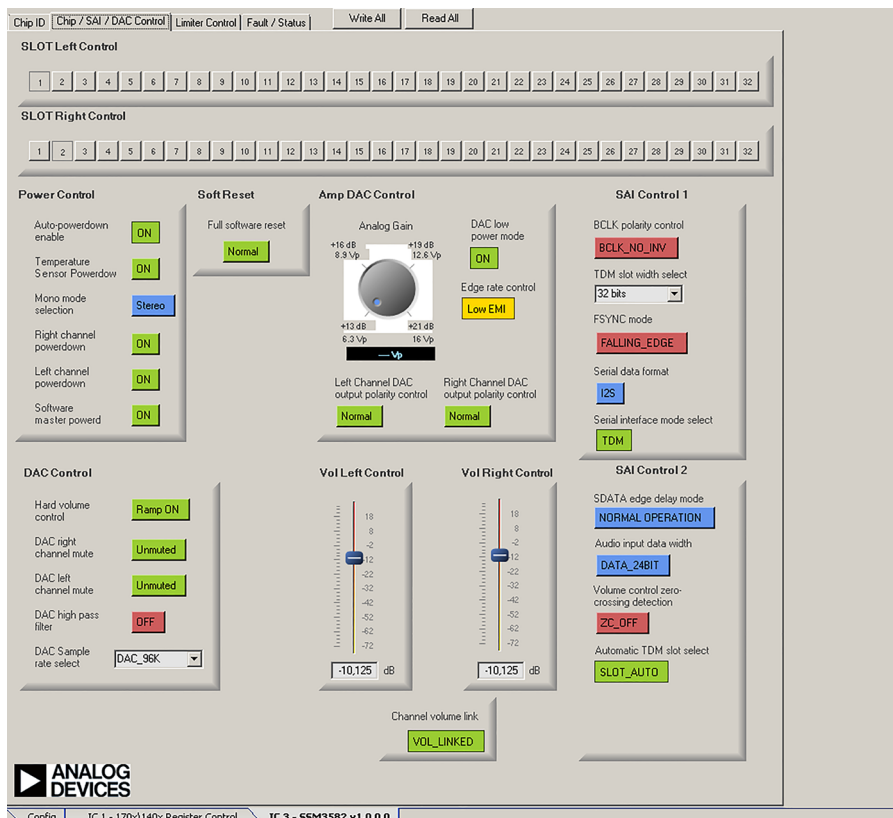
Sprawdzenie działania wzmacniacza można wykonać za pomocą zestawu AudioDSP oraz Raspberry Pi. Układ sprawdzany będzie w trybie sterowania poprzez interfejs I²C, w tym celu należy ustawić zworki ADR w położeniu GND, a zworki SCL i SDA w środkowym położeniu (zwarne piny 3–4). Po zainstalowaniu płytki z lewej strony zestawu AudioDSP, podłączeniu magistrali I²C do Raspberry Pi poprzez złącze I²C, należy jeszcze podłączyć programator USBi, głośniki i zasilanie modułu, np. z zasilacza laboratoryjnego.

Teraz możemy uruchomić środowisko SigmaStudio w celu konfiguracji układu. Do celów testowych przygotowałem projekt *Test_SSM3582.dspproj*, który należy otworzyć. Konfigurację sprzętową pokazano na **rysunku 4**.

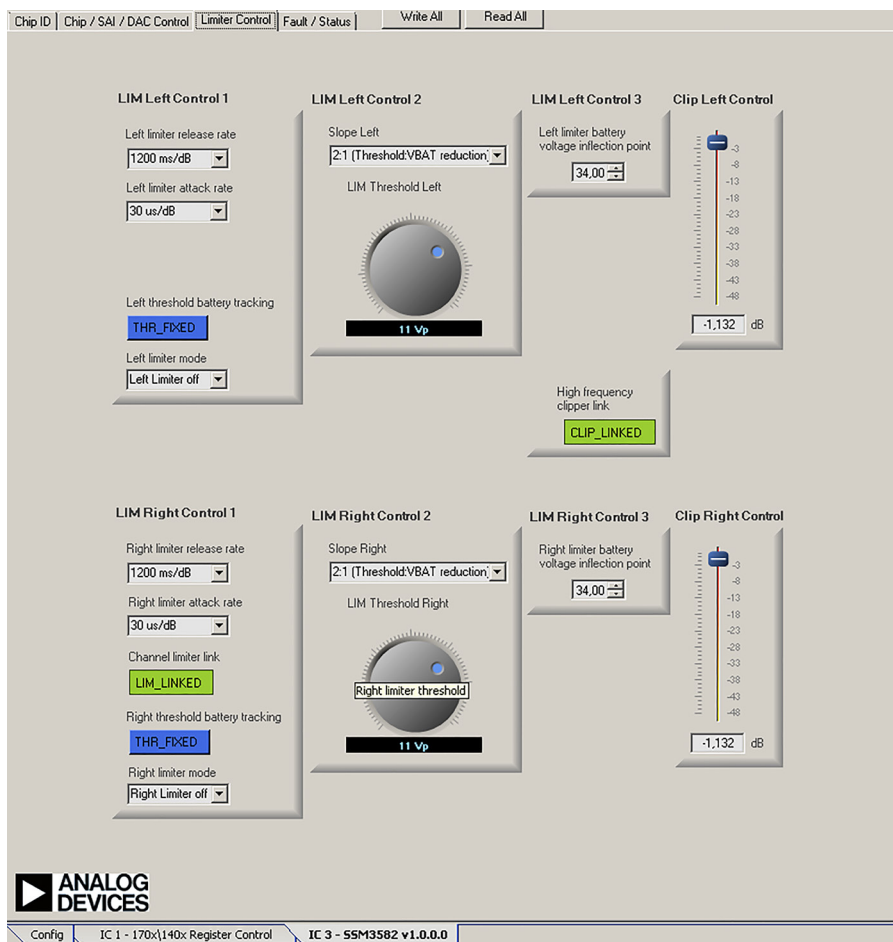
Schemat projektu pokazano na **rysunku 5**. AudioDSP służy jako źródło sygnału o regulowanym poziomie, z interfejsem I²S. Do wejścia analogowego należy doprowadzić sygnał audio, cyfrowy interfejs wyjściowy skonfigurowany jest jako master I²S stereo. Sterowanie układem SSM3582 odbywa się poprzez interfejs I²C w zakładkach konfiguracji sprzętowej. Pierwsza z nich, *Chip/SAI/DAC Control* określa konfigurację interfejsu audio, poziomy sygnału i wzmocnienia układu (**rysunek 6**). Druga zakładka *Limiter Control* określa parametry i sposób pracy wbudowanego limitera, który jest szczególnie przydatny przy pracy z baterii. Pozwala ograniczyć poziom sygnału wyjściowego, gdy napięcie zasilania zmniejsza swoją wartość, redukując nieprzyjemne efekty przy przesterowaniu końcówki mocy (**rysunek 7**). Trzecia zakładka *Fault/Status* pozwala monitorować stan pracy układu, m.in. temperaturę struktury, wartość napięcia zasilania oraz zadziałania zabezpieczeń (**rysunek 8**). Zmieniając wartość zasilania i ustawienia limitera, można sprawdzić skuteczność działania układu. **Uwaga – przy wyłączaniu limitera należy zmniejszyć poziom sygnału, aby nie uszkodzić głośników.**

Za pomocą komputera Raspberry, dołączonego poprzez I²C, za pomocą skryptu i kilku poleceń systemowych możemy przejąć kontrolę nad SSM3582. W pierwszej kolejności sprawdzamy obecność układu na magistrali poleceniem `i2cdetect -y 1`. Układ SSM3582 widoczny jest pod adresem `0x10`. Pozostałe adresy `0x50` i `0x51` są adresami programatora USBi i pamięci EEPROM płytki Audio DSP, nie należy pod nie zapisywać, gdyż może to uszkodzić firmware programatora.

Do konfiguracji układu przygotowałem krótki skrypt pokazany na **listingu 1**. Skrypt należy uruchomić poleceniem `./ssm3582.sh` po nadaniu atrybutu wykonalności `sudo chmod +x ssm3582.sh`, po uprzednim



Rysunek 6. Konfiguracja układu SSM3582



Rysunek 7. Konfiguracja limitera

wyłączeniu zasilania wzmacniacza. Jeżeli Raspberry jest także źródłem sygnału I²S, każdorazowo należy skonfigurować częstotliwość próbkowania, modyfikując rejestr pod adresem 0x06, zgodnie z kartą katalogową układu i dopasowując zapisaną jego wartość do częstotliwości próbkowania odtwarzanego pliku dźwiękowego. Regulację

głośności można sprawdzić poleceniem `i2cset -y 1 0x10 0x07 0x55`, przy zmianie wartości 0x55 na 0xAA powinno być słyszalne przyciszenie wzmacniacza. Szczegółową mapę rejestrów SSM3582 pokazuje **tabela 3**. Poleceniem `i2cget -y 1 0x10 0x1A` można sprawdzić wartość napięcia zasilania układu, posiłkując się wzorem:

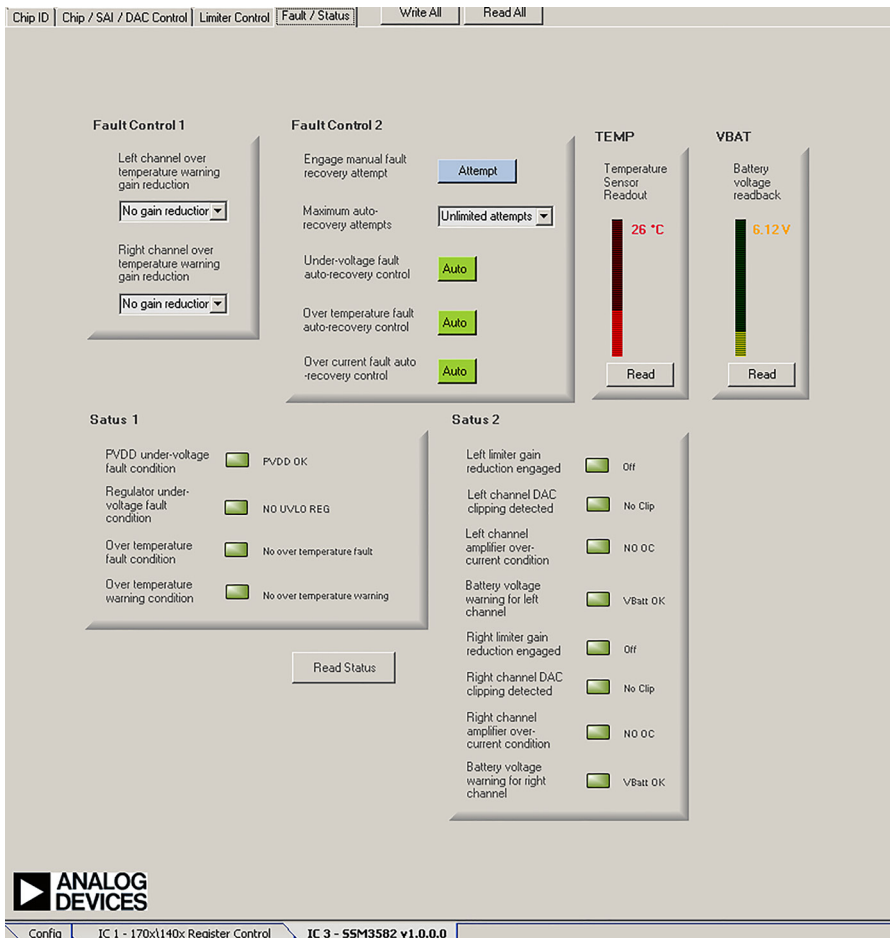
$$U_{zas} = 3,8\text{ V} + 12,4\text{ V} \times (\text{odczytana wartość rejestru } 0x1A \text{ dziesiętnie}) / 255$$

W modelu odczytano wartość 0x2B (43D), co odpowiada napięciu 5,9 V pochodzącemu z akumulatora żelowego 6 V.

Dokładny opis zawartości rejestrów znajduje się w karcie katalogowej SSM3582. Polecam korzystanie z najnowszych wersji,

Tabela 3. Mapa rejestrów układu SSM3582

Reg	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Reset	RW
0x00	VENDOR_ID									0x41	R
0x01	DEVICE_ID1									0x35	R
0x02	DEVICE_ID2									0x82	R
0x03	REVISION									0x01	R
0x04	POWER_CTRL	APWDN_EN	RESERVED	TEMP_PWDN	MONO	R_PWDN	L_PWDN	RESERVED	SPWDN	0xA1	R/W
0x05	AMP_DAC_CTRL	DAC_LPM	RESERVED	DAC_POL_R	DAC_POL_L	EDGE	RESERVED		ANA_GAIN	0x8A	R/W
0x06	DAC_CTRL	DAC_HV	DAC_MUTE_R	DAC_MUTE_L	DAC_HPF	RESERVED		DAC_FS		0x02	R/W
0x07	VOL_LEFT_CTRL									0x40	R/W
0x08	VOL_RIGHT_CTRL									0x40	R/W
0x09	SAL_CTRL1	RESERVED	BCLK_POL		TDM_BCLKS		FSYNC_MODE	SDATA_FMT	SAL_MODE	0x11	R/W
0x0A	SAL_CTRL2	SDATA_EDGE	RESERVED	RESERVED	DATA_WIDTH	VOL_ZC_ONLY	CLIP_LINK	VOL_LINK	AUTO_SLOT	0x07	R/W
0x0B	SLOT_LEFT_CTRL	RESERVED						TDM_SLOT_L		0x00	R/W
0x0C	SLOT_RIGHT_CTRL	RESERVED						TDM_SLOT_R		0x01	R/W
0x0E	LIM_LEFT_CTRL1	LIM_RRT_L	LIM_ATR_L	LIM_ATR_R	RESERVED	RESERVED	VBAT_TRACK_L	LIM_EN_L		0xA0	R/W
0x0F	LIM_LEFT_CTRL2		LIM_THRES_L				RESERVED	SLOPE_L		0x51	R/W
0x10	LIM_LEFT_CTRL3			VBAT_INF_L						0x22	R/W
0x11	LIM_RIGHT_CTRL1	LIM_RRT_R	LIM_ATR_R	LIM_LINK			VBAT_TRACK_R	LIM_EN_R		0xA8	R/W
0x12	LIM_RIGHT_CTRL2		LIM_THRES_R				RESERVED	SLOPE_R		0x51	R/W
0x13	LIM_RIGHT_CTRL3			VBAT_INF_R						0x22	R/W
0x14	CLIP_LEFT_CTRL			DAC_CLIP_L						0xFF	R/W
0x15	CLIP_RIGHT_CTRL			DAC_CLIP_R						0xFF	R/W
0x16	FAULT_CTRL1	RESERVED	RESERVED	OTW_GAIN_R	RESERVED	RESERVED	RESERVED	OTW_GAIN_L		0x00	R/W
0x17	FAULT_CTRL2	MRCV	RESERVED	MAX_AR	RESERVED	RESERVED	ARCV_UV	ARCV_OT	ARCV_OC	0x30	R/W
0x18	STATUS1	UVLO_PVDD	UVLO_VREG	RESERVED	RESERVED	RESERVED	RESERVED	OTF	OTW	0x00	R
0x19	STATUS2	LIM_EG_R	CLIP_R	AMP_OC_R	BAT_WARN_R	LIM_EG_L	CLIP_L	AMP_OC_L	BAT_WARN_L	0x00	R
0x1A	VBAT			VBAT						0x00	R
0x1B	TEMP			TEMP						0x00	R
0x1C	SOFT_RESET			RESERVED					S_RST	0x00	R/W



Rysunek 8. Status układu SSM3582

```

pi@raspberrypi:~$ i2cdetect -y 1
00:  0  1  2  3  4  5  6  7  8  9  a  b  c  d  e  f
10: 10  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --
20:  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --
30:  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --
40:  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --
50: 50 51  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --
60:  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --
70:  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --
pi@raspberrypi:~$

```

Rysunek 9. Detekcja układu SSM3582 na magistrali I²C

Listing 1. Skrypt konfiguracyjny dla ssm3582.sh

```

#!/bin/bash
echo "SSM3582 Example Config"
i2cset -y 1 0x10 0x04 0x80
i2cset -y 1 0x10 0x05 0x88
i2cset -y 1 0x10 0x06 0x12
i2cset -y 1 0x10 0x07 0x4A
i2cset -y 1 0x10 0x08 0x4A
i2cset -y 1 0x10 0x09 0x10
i2cset -y 1 0x10 0x0A 0x07
i2cset -y 1 0x10 0x0B 0x00
i2cset -y 1 0x10 0x0C 0x01
i2cset -y 1 0x10 0x0E 0xA0
i2cset -y 1 0x10 0x0F 0x51
i2cset -y 1 0x10 0x10 0x22
i2cset -y 1 0x10 0x11 0xA8
i2cset -y 1 0x10 0x12 0x51
i2cset -y 1 0x10 0x13 0x22
i2cset -y 1 0x10 0x14 0xF9
i2cset -y 1 0x10 0x15 0xF9
i2cset -y 1 0x10 0x16 0x00
i2cset -y 1 0x10 0x17 0x30
i2cset -y 1 0x10 0x1C 0x00

```

natomiast w przypadku problemów warto zapytać na forum ez.analog.com. Przykładowy projekt ułatwiający uruchomienie znajduje się w materiałach dodatkowych do projektu.

Adam Tatus
adam.tatus@ep.com.pl

REKLAMA

The advertisement features a laptop displaying the Elektronika Praktyczna forum website. The website header includes the title "ELEKTRONIKA PRAKTYCZNA" and the tagline "Międzynarodowy magazyn elektroników konstruktorów". Navigation buttons for "strona domowa", "więcej...", "forum", and "Szukaj..." are visible. A prominent banner for "Aktyw Forum" encourages registration and offers a reward of magazine subscriptions. Below the banner, a table lists forum topics:

Elektronika od podstaw do praktyki	Tematy	Posty	Ostatni post	Ostatnie posty
1. Elektronika - tematy dowolne Tematy ogólne związane z elektroniką. Dyskusja n/t podzespołów, zasad działania komponentów itp. Moderatorzy: Jacek Bogusz, Moderatorzy	5109	26678	Re: Okap czy pochłaniacz autor: cezik 20 lis 2020, o 08:44	wczoraj, o 16:30 Czeresniak: Moim zdaniem warto po prostu rozesłać znajomym, którzy roześlą swoim znajomym, którzy... Wiesz o co mi chodzi, to naprawdę szybko działa. Dobr
2. Serwis urządzeń elektronicznych Pytania i porady dotyczące serwisu urządzeń elektronicznych Moderatorzy: Jacek Bogusz, Grzegorz Becker, Moderatorzy	1121	4799	dymomierz autor: mr.kajak 14 lut 2020, o 13:02	wczoraj, o 07:30 zidane: Drukarnia Fingerprint. Współpracuję z nimi od dłuższego czasu. Dobra drukarnia z którą w firmie współpracuję już od dawna. W ofercie mają trad
3. Aparatura kontrolno-pomiarowa i narzędzia Wszystko na temat aparatury kontrolno-pomiarowej oraz	31	179	Gdzie dostane bezpiecznik 10x... autor: porlock	

At the bottom of the laptop screen, it says "MacBook Pro". Below the laptop, the text reads: "O projektach, mini, soft i wielu innych diskutuj na <https://forum.ep.com.pl>"