

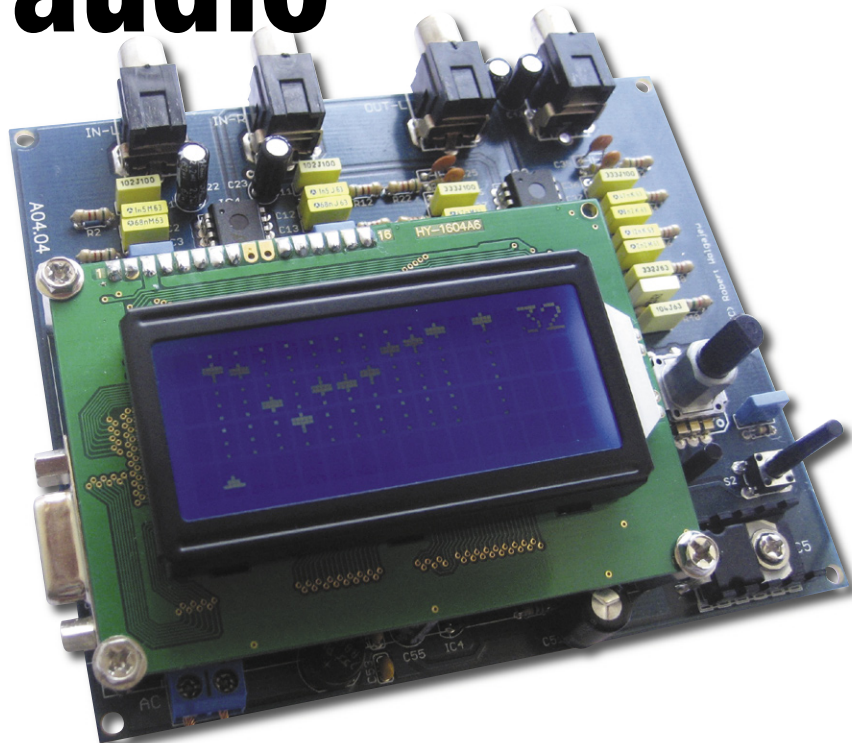


Korektor graficzny dla zestawu audio

Muzyka odtwarzana na jednym zestawie audio (wzmacniacz i kolumny głośnikowe) może dostarczać różnych wrażeń słuchowych w zależności od wielkości, kształtu, a nawet umebłowania pomieszczenia odsłuchowego. Jedną z metod „normalizowania” tych wrażeń jest odpowiednia korekcja charakterystyki częstotliwościowej toru audio. Funkcję tę może realizować dodatkowy element wieży stereo – korektor graficzny.

Rekomendacje:

jeszcze kilka lat temu trudno było wyobrazić sobie zestaw audio bez korektora graficznego, ale i dzisiaj taki zewnętrzny moduł może być bardzo przydatny do dobrania parametrów akustycznych zestawu audio według indywidualnych preferencji.



Korektory graficzne były jednymi z bardziej popularnych elementów zestawów audio w latach 80-tych i 90-tych. Któż z nas nie chciał w tym czasie wzbogacić swój zestaw o tego typu element, zwłaszcza iż parametry zestawów głośnikowych dostępnych wówczas pozostawały wiele do życzenia. Korektor graficzny po-

zwalał dostosować rzeczywistą charakterystykę przenoszenia do idealnej lub też, zwyczajnie, do naszych upodobań. Nie bez znaczenia było również nadanie „poważniejszego” wyglądu naszej wieży, co z pewnością dla wielu było elementem o pierwszoplanowym znaczeniu. W dzisiejszym, amatorskim sprzęcie audio coraz rzadziej spotykamy takie korektory, a jeśli występują, stanowią zazwyczaj element skomplikowanych rozwiązań opartych na technice DSP. Dotyczy to zwłaszcza zaawansowanego sprzętu car-audio, w którym potrzeba stosowania takich układów wynika z konieczności dostosowania charakterystyki przenoszenia do parametrów akustycznych wnętrza pojazdu. Opisujemy w artykule korektor jest przykładem takiego rozwiązania, o którym można powiedzieć, że jest z pogranicza techniki analogowej i cyfrowej. Wynika to z faktu zastosowania układu scalonego 5-pasmowego korektora graficznego sterowanego cyfrowo, o oznaczeniu TDA7317, produkowanego przez firmę STMicroelectronics. Pomimo, że jest to element dość leciwy (nota aplikacyjna pochodzi z listopada 1999 r.), jest nadal dostępny oraz chętnie stosowany z uwagi na doskonałe parametry elektryczne, jak i przedstawione niżej cechy funkcjonalne:

- zintegrowany 5-pasmowy korektor graficzny sterowany magistralą I²C,
- zintegrowany, dokładny 48-pozycyjny tłumik sterowany magistralą I²C (skok 0,375 dB),
- parametry każdego z pasm korekcji w pełni

AVT-5158

W ofercie AVT:
AVT-5158A – płytką drukowaną
AVT-5158B – płytką + elementy

PODSTAWOWE PARAMETRY

- Płytkę o wymiarach 123x103 mm
- Napięcie zasilania: 13...15 VAC
- Prąd zasilania: 200 mA
- Rezystancja wejściowa: 30 kΩ
- Maksymalny poziom sygnału wejściowego: 2,5 VRMS
- Odstęp sygnału od szumu S/N: 100 dB
- Separacja kanałów: 90 dB
- Zniekształcenia harmoniczne: 0,01%
- Regulacja głośności: 0...-17,625 dB
- Regulacja wzmocnienia/tłumienia w pasmach korektora: ±14 dB
- Pasma regulacji: 32 Hz, 64 Hz, 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 4 kHz, 8 kHz, 16 kHz
- Predefiniowane zestawy nastaw: Rock, Pop, Jazz, Techno, Metal, Classic, Acoustic, Eq Off.
- Liczba pamięci nastaw użytkownika: 8



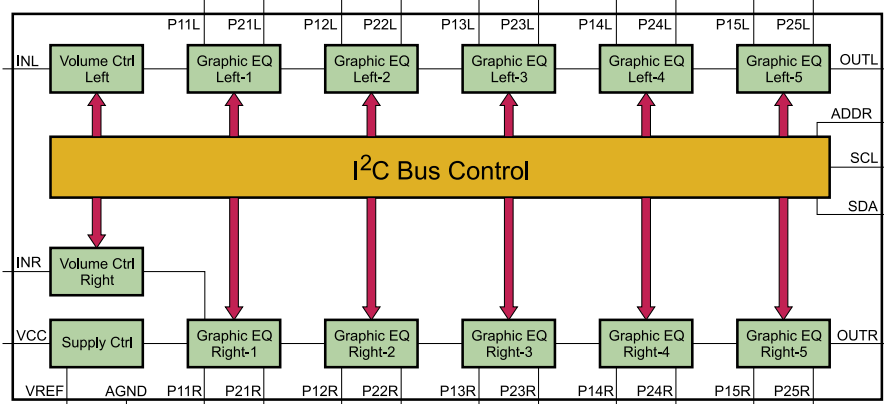
PROJEKTY POKREWNE

wymienione artykuły są w całości dostępne na CD

Tytuł artykułu	Nr EP/EdW	Kit
Korektor graficzny equalizer 5-kanałowy	EdW 6/2001	AVT-2490
Cyfrowy korektor graficzny Equalizer	EdW 12/2001	AVT-2610
Korektor i wzmacniacz akustyczny 4x40W	EP 9/2001	AVT-5035
Equalizer 7-kanałowy	EP 10/1995	AVT-252
Cyfrowy korektor graficzny	EdW 1/2007	---
Lampowy korektor dźwięku	EdW 7/2008	---
Przedwzmacniacz stereo – korektor audio	EP 9/1994	---

Tab. 1. Wybrane parametry układu TDA7317

Symbol	Nazwa parametru	Warunki pomiaru	Min.	Typ.	Max.	Jedn.
V_s	Napięcie zasilania		6	9	10	V
I_s	Prąd zasilania		8	14	20	mA
R_i	Rezystancja wejściowa		20	30	40	k Ω
V_{INmax}	Maksymalny poziom sygnału wejściowego	THD=0,3%	2	2,5		V_{RMS}
IN_s	Separacja wejść		80	100		dB
C_{RANGE}	Zakres regulacji głośności			17,625		dB
A_{VMIN}	Minimalne wzmocnienie		-0,5	0	0,5	dB
A_{VMAX}	Maksymalne tłumienie		16,7	17,625	18,6	dB
A_{STEP}	Krok regulacji wzmocnienia		0,175	0,375	0,575	dB
THD	Zniekształcenia harmoniczne			0,01	0,1	%
C_s	Separacja kanałów		80	100		dB
S/N	Stosunek sygnał/szum	$A_V=0$ dB, $V_{ref}=1$ V_{RMS}		100		dB
B_{STEP}	Krok regulacji wzmocnienia pasm korektora		1	2	3	dB
C_{RANGE}	Zakres regulacji wzmocnienia dla pasm korektora		± 12	± 14	± 16	dB
V_o	Napięcie wyjściowe	THD=0,3%	2	2,5		V_{RMS}
R_o	Rezystancja wyjściowa		5	10	20	Ω



Rys. 1. Schemat blokowy układu TDA7317

- zależne od elementów zewnętrznych,
- regulacja wzmocnienia/tłumienia częstotliwości środkowej filtrów w zakresie ± 14 dB (skok co 2 dB),
- możliwość sprzętowej zmiany adresu w przestrzeni adresowej magistrali I²C,
- bardzo niskie zniekształcenia oraz szумы własne,
- zintegrowany sterownik magistrali I²C pozwa-

lający na kompleksową regulację wszystkich parametrów korektora.

W tab. 1 przedstawiono wybrane parametry układu TDA7317, zaś na rys. 1 przedstawiono uproszczoną, blokową budowę układu.

Jak widać na rys. 1, sygnał wejściowy podlega wstępnej, dokładnej regulacji amplitudy (w zakresie 0...-17,625 dB, z krokiem 0,375 dB), a następnie przechodzi przez 5 fil-

trów pasmowo-przepustowych, których parametry elektryczne są określone przez elementy zewnętrzne (dwa rezystory i dwa kondensatory dla każdego z filtrów). Wewnętrzzną budowę takich filtrów przedstawiono na rys. 2.

Jak widać zintegrowany szereg rezystorów przełączany za pomocą analogowych kluczy CMOS odpowiedzialny jest jedynie za wartość wzmocnienia/tłumienia filtra, podczas gdy grupa elementów zewnętrznych (R1, R2, C1, C2) odpowiada za parametry częstotliwościowe filtra (częstotliwość środkową, szerokość pasma regulacji, dobroć filtra), które to wyznaczamy na podstawie następujących zależności:

$$G_V = 20 \log(A_V)$$

gdzie

$$A_V = \frac{(R_2 \cdot C_2) + (R_2 \cdot C_1) + (R_1 \cdot C_1)}{(R_2 \cdot C_1) + (R_2 \cdot C_2)}$$

$$Q = \frac{\sqrt{(R_1 \cdot C_1 \cdot R_2 \cdot C_2)}}{(R_2 \cdot C_1) + (R_2 \cdot C_2)}$$

$$Q = \frac{f_0}{f_2 - f_1}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{(R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot C_2)}}$$

f_0 – częstotliwość środkowa

f_1, f_2 – 3dB granice filtra

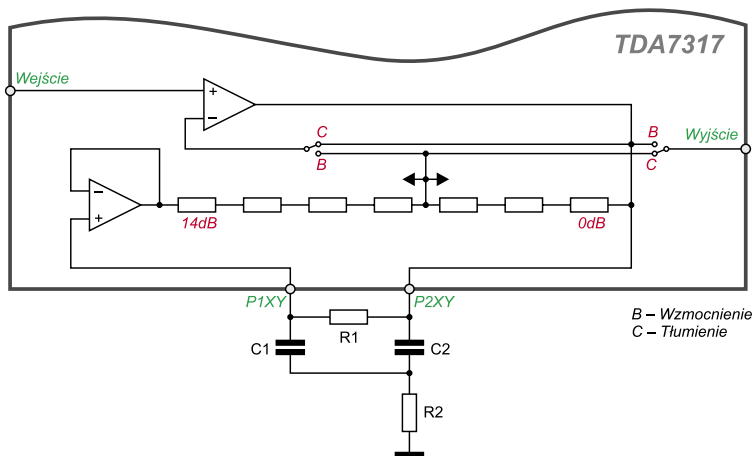
G_V – wzmocnienie/tłumienie przy częstotliwości środkowej

Dla zapewnienia odpowiednich parametrów korektora (współczynnik THD), jak i regulacji (niski „skok” prądowy regulacji), producent układu zaleca, aby wartość rezystora R2 była większa niż 2 k Ω , zaś rezystora R1 mniejsza lub równa 51 k Ω .

Budowa

Na rys. 3 przedstawiono schemat ideowy 10-pasmowego korektora graficznego. Każdy z dwóch zastosowanych w nim układów TDA7317 odpowiada za regulację w zakresie innych pasm. Zestawienie parametrów poszczególnych filtrów łącznie z wartościami elementów kształtujących pasma korekcji przedstawiono w tabeli tab. 2.

Ta dziwna, mogłoby się wydawać, kolejność rzeczywistych pasm korekcji wynika z zaleceń producenta dotyczących konieczności zachowania deklarowanego współczynnika zniekształceń harmonicznych THD. Zalecenie to, poza faktem komplikacji procedury sterującej, nie stanowi żadnego problemu implementacyjnego. Oba układy TDA7317 są sterowane przez mikrokontroler ATmega8 z wykorzystaniem jego sprzętowego interfejsu TWI. Praca dwóch takich układów na wspólnej magistrali jest możliwa dzięki wyposażeniu układu TDA7317 w możliwość sprzętowej zmiany adresu w przestrzeni adresowej magistrali I²C



Rys. 2. Schemat blokowy zintegrowanego filtra scalonego

(wyprowadzenie ADDR). W przedstawionym urządzeniu układy TDA7317 posiadają adresy: 0x84 (U1) i 0x86 (U2). Na rys. 4 przedstawiono wygląd typowej ramki transmisyjnej układu TDA7317, a w tabeli tab. 3 przedstawiono listę rozkazów z opisem znaczenia poszczególnych bitów.

AX: krok 0,375 dB, BX: krok 3 dB, CX: krok 2 dB, X: wartość bez znaczenia.

Jak widać, do układu TDA7317 możemy wysłać dowolną liczbę danych w ramach pojedynczej transmisji (od sygnału Start do sygnału Stop). Jest to możliwe dzięki wprowadzeniu prostego podziału każdego bajtu na część zawierającą informację o rodzaju regulacji, na część zawierającą informację o wartości regulacji oraz na rozróżnienie regulacji głośności od regulacji wzmocnienia/tłumienia filtrów (bit 7). Na list. 1 przedstawiono procedurę konfigurującą interfejs TWI oraz procedurę wysyłającą dane – obie napisane w Bascomie.

Jak widać wykorzystuje się tutaj właściwość rejestru kontrolnego interfejsu TWI (rejestr TWCR) oraz bitu TWINT, który jest ustawiany po wykonaniu każdej operacji (poza sygnałem Stop), przy czym nie jest sprawdzany rejestr statusu (TWSR). Dla porządku należy wspomnieć, iż interfejs TWI może być także obsługiwany w procedurze przerwania od TWI. W tym wypadku należy ustawić odpowiedni bit rejestru sterującego TWCR oraz zadeklarować odpowiednią procedurę obsługi przerwania oraz, co oczywiste, uruchomić globalny system przerwania.

Mikrokontroler odpowiada ponadto za wyświetlanie wszystkich parametrów oraz obsługę wyświetlacza LCD 4x16 znaków, sprzętowo obsługę enkodera, za pomocą którego dokonujemy wszelkich regulacji oraz za obsługę sprzętowego interfejsu szeregowego RS232 (układ U6) przeznaczonego do współpracy z komputerem PC. Ta ostatnia cecha umożliwia obustronną współpracę układu korektora z dedykowaną aplikacją systemu Windows, przy pomocy której możemy w czasie rzeczywistym dokonywać regulacji wszystkich parametrów korektora, korzystając z graficznej aplikacji wyposażonej w czytelny interfejs użytkownika. Wszelkie regulacje mają charakter dwukierunkowy, tzn. zmiany parametrów przeprowadzane w aplikacji są uwidaczniane natychmiast na wyświetlaczu LCD urządzenia i na odwrót, przy czym operacje wykonywane przy użyciu komputera mają priorytet w stosunku do wykonywanych przy użyciu enkodera. Dla osób, które chciałyby się pokusić o samodzielne napisanie aplikacji sterującej pracą korektora przy użyciu komputera, krótkiego omówienia wymaga przyjęta konstrukcja ramki transmisji interfejsu szeregowego. Po pierwsze, przyjęto następujące założenia protokołu transmisji:

- asynchroniczna, dwukierunkowa transmisja danych bez sterowania przepływem,

Tab. 2. Zestawienie parametrów filtrów i wartości odpowiadających im elementów

f ₀ zakładowana	R1 [kΩ]	R2 [kΩ]	C1 [nF]	C2 [nF]	f ₀ rzeczywista [Hz]	Q	A _{Vmax} [dB]
32 Hz	43	7,5	470	220	28	1,12	13,8
2 kHz	47	5,1	4,7	5,6	2004	1,51	14,3
500 Hz	47	5,1	22	22	467	1,52	15,0
125 Hz	47	5,1	68	100	125	1,49	13,5
8 kHz	47	5,1	1	1,5	8393	1,49	13,4
62 Hz	43	7,5	220	100	60	1,11	13,9
4 kHz	47	5,1	2,2	3,3	3815	1,49	13,4
1 kHz	47	5,1	8,2	12	1036	1,49	13,5
250 Hz	47	5,1	33	47	261	1,49	13,6
16 kHz	47	5,1	0,56	0,68	16659	1,51	14,3

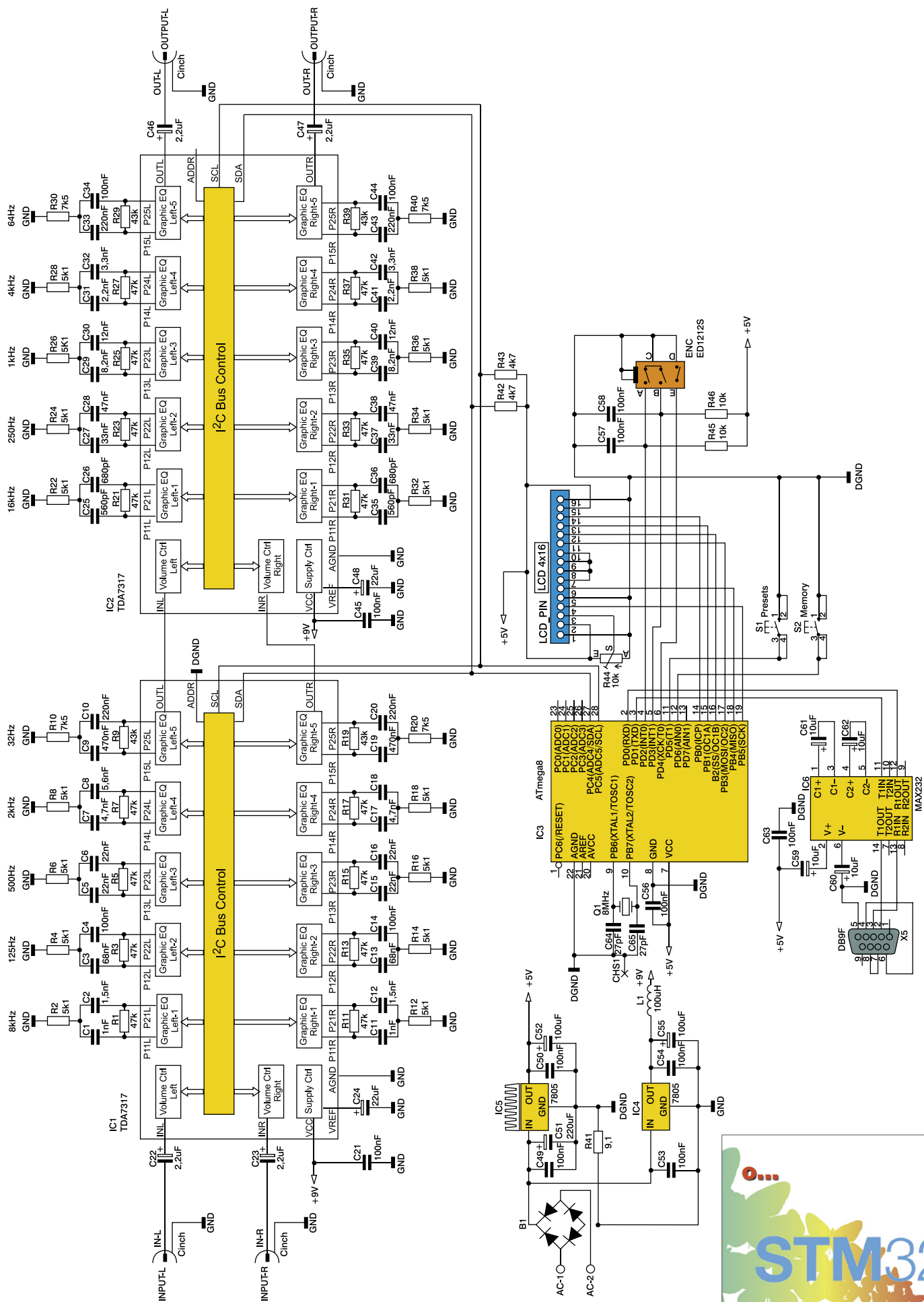
Tab. 3. Zestawienie rozkazów układu TDA7317 i opis znaczenia poszczególnych bitów

MSB							LSB		Funkcja
0	X	B2	B1	B0	A2	A1	A0	Regulacja głośności: krok -0.375 dB	
					0	0	0	0 dB	
					0	0	1	-0,375 dB	
					0	1	0	-0,75 dB	
					0	1	1	-1,125 dB	
					1	0	0	-1,5 dB	
					1	0	1	-1,875 dB	
					1	1	0	-2,25 dB	
					1	1	1	-2,625 dB	
0	X	B2	B1	B0	A2	A1	A0	Regulacja głośności: krok -3 dB	
		0	0	0				0 dB	
		0	0	1				-3 dB	
		0	1	0				-6 dB	
		0	1	1				-9 dB	
		1	0	0				-12 dB	
		1	0	1				-15 dB	
1	D3	D2	D1	D0	C2	C1	C0	Wybór pasma regulacji	
	0	0	0					Pasma 1	
	0	0	1					Pasma 2	
	0	1	0					Pasma 3	
	0	1	1					Pasma 4	
	1	0	0					Pasma 5	
	D3	D2	D1	1	C2	C1	C0	Tłumienie w wybranym paśmie	
	D3	D2	D1	0	C2	C1	C0	Wzmocnienie w wybranym paśmie	
					0	0	0	0 dB	
					0	0	1	2 dB	
					0	1	0	4 dB	
					0	1	1	6 dB	
					1	0	0	8 dB	
					1	0	1	10 dB	
					1	1	0	12 dB	
					1	1	1	14 dB	

- prędkość 600 bitów/sek,
- 8 bitów danych, 1 bit stopu, bez bitów kontroli parzystości i bez kontroli błędów,
- kabel połączeniowy gniazdo-wtyk (bezpółne połączenie odpowiadających sobie wyprowadzeń złącza DB9).

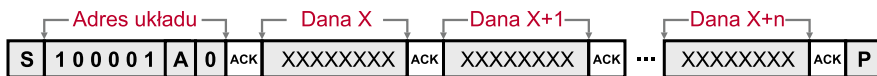
Po drugie, każda regulacja wykonywana przy pomocy enkodera powoduje wysłanie dwóch bajtów danych za pomocą interfejsu szeregowego. Pierwszy bajt określa numer rozkazu, zaś drugi bajt określa wartość regulacji dla wybranego rozkazu. Numer rozkazu (bajt z zakresu 129...139) jest to bajt

z ustawionym najstarszym bitem, którego najmłodsze cztery bity określają numer pasma regulacji (zakres 1...11), przy czym wartości 11 odpowiada regulacja głośności. Wartość regulacji jest to bajt, którego wartość jest zależna od charakteru regulacji (regulacja wzmocnienia/tłumienia filtrów lub regulacja głośności). Dla pasm 1...10 wartość tego bajtu powinna zawierać się w zakresie 0...14, co odpowiada regulacji -14 dB...+14 dB z krokiem 2 db, zaś dla pasma 11 (regulacja głośności) powinna zawierać się w zakresie 0...47, co odpowiada regulacji tłumienia w zakresie 0 dB...-



Rys. 3. Schemat ideowy korektora graficznego





S – I²C Start
 ACK – potwierdzenie odbiornika (ACK)
 P – I²C Stop
 A – sprzętowy adres układu
 [A=1 dla wyprowadzenia ADDR niepodłączonego
 [A=0 dla wyprowadzenia ADDR połączzonego z masą]

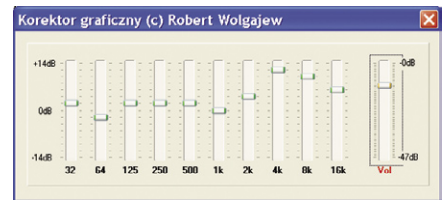
Rys. 4. Ramka transmisyjna układu TDA7317

17,625 dB, z krokiem 0,375 dB. Ta sama sekwencja dwóch bajtów jest wysyłana przez komputer w kierunku do korektora w przypadku regulacji dokonywanej z poziomu aplikacji. Wygląd okna aplikacji przeznaczonej do sterowania pracą korektora graficznego z poziomu systemu Windows przedstawiono na rysunku rys. 5.

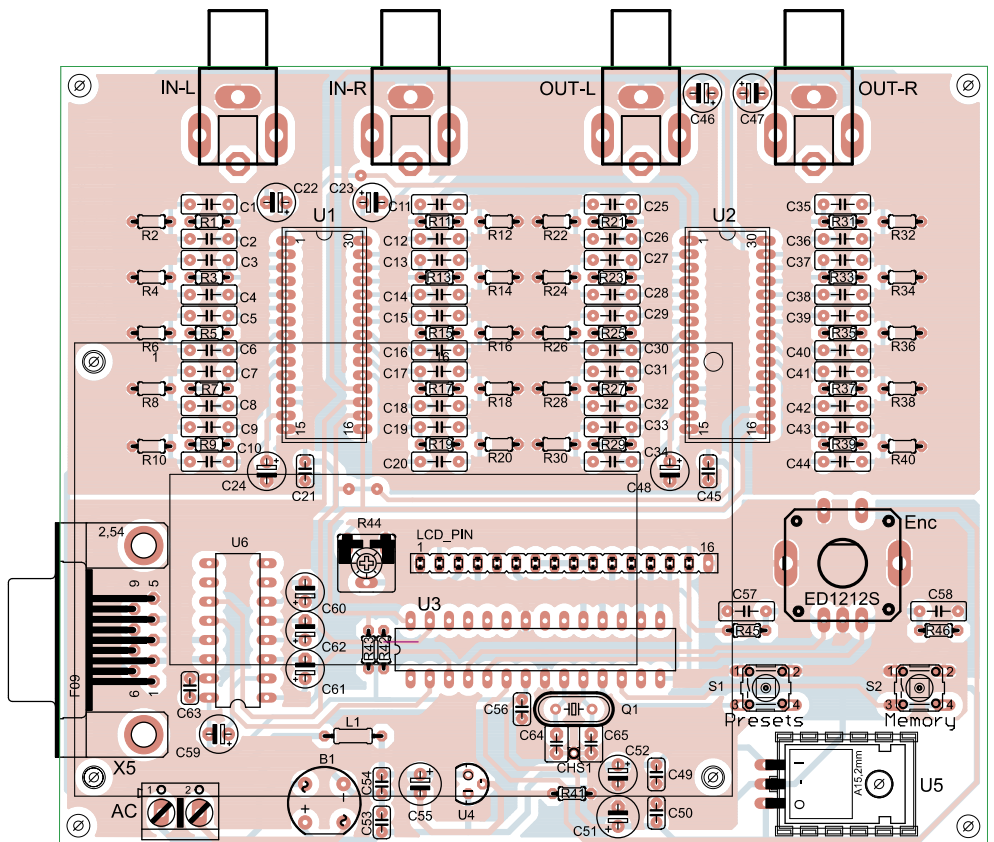
Na uwagę zasługuje także schemat bloku zasilającego (układy U4, U5). W budowie tego modułu zastosowano niezależne zasilanie dla części analogowej i cyfrowej korektora, rozdzielając jednocześnie odpowiednie masy, których jedyne połączenie zostało wykonane przy pomocy rezystora R41 umieszczonego w bloku zasilającym. Tego typu rozwiązanie ma na celu minimalizację ewentualnego, niekorzystnego wpływu cyfrowego toru sterującego-regulacyjnego na analogowa część wykonawczą. Poza tym, projektując dwuwarstwowy obwód drukowany, zadbano o odpowiednie prowadzenie torów sygnałowych, optymalne rozmieszczenie elementów, filtrację zasilania, jak i dobór, umiejscowienie i wielkość tzw. pól masy.

Montaż

Montaż układu rozpoczynamy od wlutowania elementów biernych (należy zwrócić szczególną uwagę na typ i jakość zastosowanych kondensatorów). Następnie lutujemy złącza, gniazda, mikroprzełączniki, enkoder, a na końcu półprzewodniki. Metalową obudowę rezonatora kwarcowego najlepiej jest połączyć z masą układu – przewidziano odpowiednie wyprowadzenie. Wyświetlacz LCD należy zamocować przy pomocy tulei dystansowych do płytki układu wykorzystując przewidziane w tym celu otwory, zaś same połączenie należy wykonać przy użyciu listwy goldpin (gniazdo-wtyk). Scalony stabilizator napięcia zasilania 7805 należy wyposażyć w niewielki radiator wykonany z kawałka blachy, gdyż straty ciepłe wydzielane na tym elemencie są zbyt duże, aby mógł on pracować samodzielnie. Poprawnie zmontowany układ nie wymaga żadnych regulacji i powinien działać bezpośrednio po włączeniu zasilania. Na rysunku rys. 6 przedstawiono schemat montażowy układu.



Rys. 5. Aplikacja systemu Windows współpracująca z korektorem graficznym



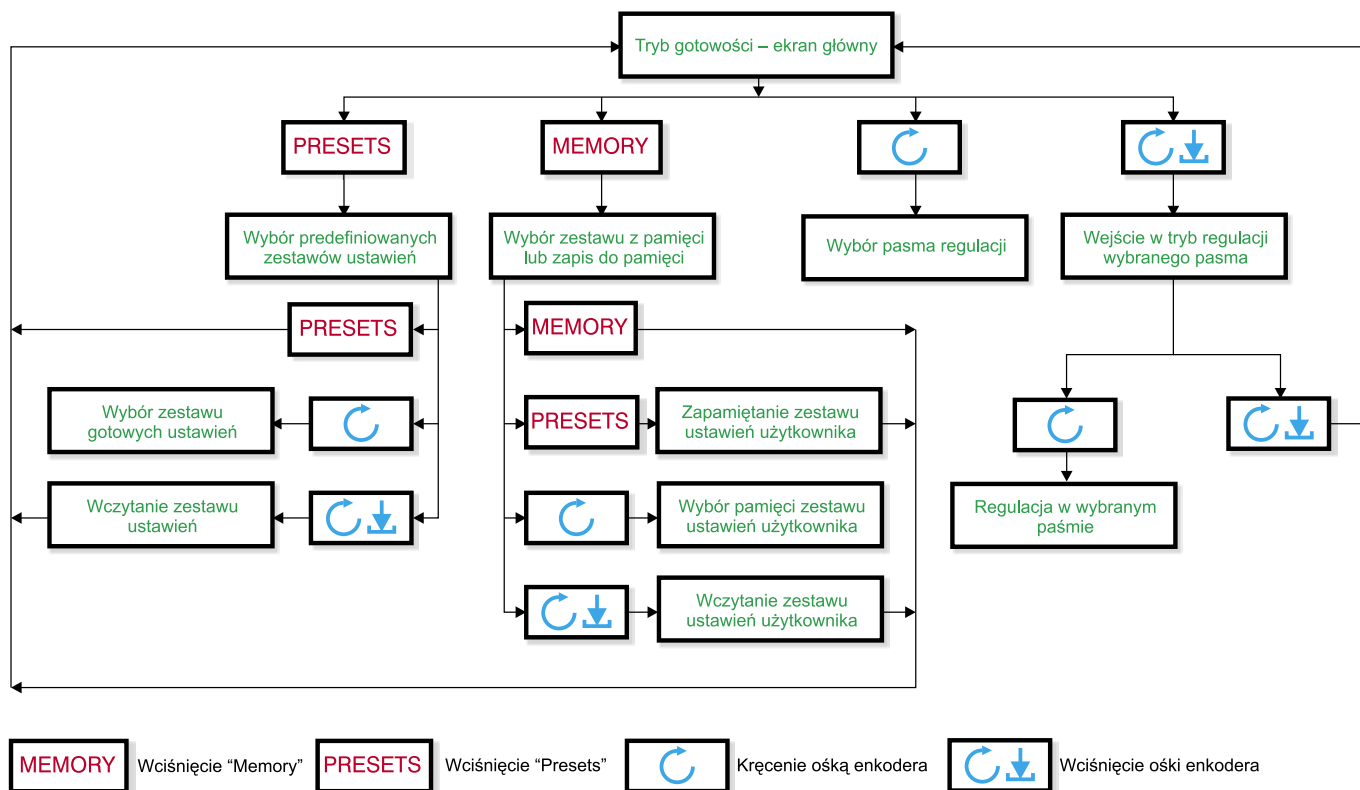
Rys. 6. Schemat montażowy korektora graficznego

```

List. 1. Procedura konfigurująca interfejs TWI i procedura wysyłająca dane
Sub Run_twi
  \Ustawiamy rejestr szybkości transmisji dla częstotliwości transmisji 100kHz
  Twbr = 32
  \Ustawiamy bity preskalera częstotliwości transmisji
  Reset Twsr.twps1
  Reset Twsr.twps0
  \Uruchamiamy interfejs TWI ustawiając odpowiedni bit w rejestrze kontrolnym
  TWI
  \Jednocześnie decydujemy o niewywoływaniu przerwania od TWI
  Twcr = &B00000100
End Sub

Sub Write_twi (Adres As Byte , Bajt As Byte)

  \Inicjujemy wysłanie sygnału Start - ustawione bity TWINT, TWSTA, TWEN
  Twcr = &B10100100
  \Czekamy, aż interfejs TWI wykona zadanie i zgłosi to ustawiając flagę TWINT
  Bitwait Twcr.twint , Set
  \Inicjujemy wysyłanie adresu układu wpisując go do rejestru danych interfejsu
  TWI
  Twdr = Adres
  \Polecamy wysłanie adresu - ustawiony bit TWINT, skasowany TWSTA i ustawiony
  TWEN
  Twcr = &B10000100
  \Czekamy, aż TWI wyśle Adres i zgłosi to ustawiając flagę TWINT
  Bitwait Twcr.twint , Set
  \Inicjujemy wysyłanie bajta danych wpisując go do rejestru danych interfejsu
  TWI
  Twdr = Bajt
  \Polecamy wysłanie - ustawiony bit TWINT, skasowany TWSTA i ustawiony TWEN
  Twcr = &B10000100
  \Czekamy, aż TWI wyśle ten bajt danych i zgłosi to ustawiając flagę TWINT
  Bitwait Twcr.twint , Set
  \Inicjujemy wysłanie sygnału Stop - ustawione bity TWINT, TWSTO i TWEN
  Twcr = &B10010100
  \I NIE czekamy na nic bo po Stop-ie nie jest ustawiana flaga TWINT
End Sub
    
```



Rys. 7. Diagram wyjaśniający sposób obsługi układu korektora graficznego

WYKAZ ELEMENTÓW

Rezystory

R9, R19, R29, R39: 43 kΩ
 R1, R3, R5, R7, R11, R13, R15, R17, R21, R23, R25, R27, R31, R33, R35, R37: 47 kΩ
 R10, R20, R30, R40: 7,5 kΩ
 R2, R4, R6, R8, R12, R14, R16, R18, R22, R24, R26, R28, R32, R34, R36, R38: 5,1 kΩ
 R42, R43: 4,7 kΩ
 R45, R46: 10 kΩ
 R41 – 9,1 Ω
 R44 – potencjometr montażowy 10 kΩ

Kondensatory (monolityczne)

C1, C11: 1 nF
 C10, C20, C33, C43: 220 nF
 C7, C17: 4,7 nF
 C8, C18: 5,6 nF
 C5, C6, C15, C16: 22 nF
 C3, C13: 68 nF

C4, C14, C34, C44, C57, C58: 100 nF
 C21, C45, C49, C50, C53, C54, C56, C63: ceramiczny 100 nF
 C9, C19: 470 nF
 C2, C12: 1,5 nF
 C31, C41: 2,2 nF
 C32, C42: 3,3 nF
 C29, C39: 8,2 nF
 C30, C40: 12 nF
 C27, C37: 33 nF
 C28, C38: 47 nF
 C25, C35: 560 pF
 C26, C36: 680 pF
 C22, C23, C46, C47: 2,2 μF/25 V
 C24, C48: 22 μF/25 V
 C52, C55: 100 μF/25 V
 C51: 220 μF/25 V
 C59, C60, C61, C62: 10 μF/25 V
 C64, C65: ceramiczny 27 pF

Półprzewodniki

U1, U2: TDA7317 (SDIP30)
 U3: ATmega8 (DIP28)
 U4: 78L09 (TO-92)
 U5: 7805 (TO-220)
 U6: MAX232 (DIP16)
 B1: mostek prostowniczy 1 A
Inne
 DISPLAY LCD: wyświetlacz LCD 4x16 typ HY-1604
 Q1: rezonator kwarcowy 8 MHz (niski)
 L1: dławik 100 μH
 S1, S2: mikroprzełącznik z ośką 17 mm
 IN-L, IN-R, OUT-L, OUT-R: gniazdo kątowe typu cinch-mono do druku
 X5: gniazdo kątowe DB9F do druku
 AC: złącze śrubowe typu AK500/2
 ENC: enkoder ze zintegrowanym przyciskiem typu ED12125

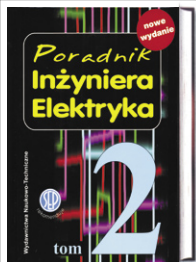
Obsługa

Na rys. 7 przedstawiono diagram obrazujący sposób obsługi korektora. Należy zwrócić uwagę na fakt, iż po włączeniu urządzenia zo-

stanie wczytany pierwszy zestaw nastaw korektora (Bank 0), po czym odpowiednie nastawy zostaną przesłane również przy pomocy interfejsu RS232 do komputera, na którym (według

potrzeb) wcześniej należy uruchomić dedykowaną aplikację w celu synchronizacji nastaw.

Robert Wołgajew, EP
 robert.wolgajew@ep.com.pl

R	E	K	L	A	M	A
 <p>Praca zbiorowa Poradnik inżyniera elektryka Tom 2</p> <p>Tematyka została dobrana w taki sposób, aby była przydatna dla projektantów, wykonawców i osób zajmujących się eksploatacją urządzeń elektrycznych. Materiałem uzupełniającym może być bibliografia, która znajduje się na końcu każdego rozdziału.</p> <p>Uwzględniono także najnowsze normy i akty prawne, od kilku lat gruntownie zmieniane w celu przystosowania ich do wymagań obowiązujących w Unii Europejskiej.</p> <p>stron: 934 cena: 145 zł kod zamówienia: KS-280108</p> <p style="text-align: right;">www.sklep.avt.pl</p>						

