

POMMAX3v2 — INSTRUKCJA UŻYTKOWNIKA

Krzysztof Mazur

Cechy produktu

- magistrala BUSMAT
- 8 wejść analogowych
- pomiar prądu lub napięcia
- 12-bitowy przetwornik ADC
- 15-bitowa rozdzielczość
- wbudowany filtr antyaliasingowy
- kompatybilność interfejsu z POMMAX

1 Ogólny opis

POMMAX3v2 jest kartą wejść analogowych z wbudowanym filtrem antyaliasingowym. Interfejs dla hosta jest kompatybilny z POMMAX. Daje to możliwość łatwej wymiany karty POMMAX na POMMAX3v2 bez konieczności modyfikacji oprogramowania oraz z minimalną zmianą sposobu podłączania sygnałów wejściowych. Karta POMMAX3v2 obsługuje prądowe lub napięciowe sygnały analogowe. Każdy kanał może być innego typu lub mieć inny zakres. Karta ma wejścia zgodne z kartą POMMAX, poza:

1. brakiem obsługi 5-go kanału na każdym przetworniku,
2. różnicowym podłączeniem kanału 4 na każdym przetworniku. Wiąże się to z koniecznością podłączenia masy przetwornika ADC poza kartą.

Karta POMMAX3v2 jest przeznaczona do dokładnego pomiaru sygnałów o częstotliwościach poniżej kilku herców. Wbudowany filtr anty-aliasingowy tłumi wyższe częstotliwości przez co eliminuje efekt aliasingowy. Dzięki temu karta ta może być stosowana do pomiarów sygnałów w których występują duże wysokoczęstotliwościowe zakłócenia. Umożliwia to także pomiar sygnałów generowanych przez układy dyskretne w czasie bez odpowiednich filtrów formujących.

Parametry ogólne

Interfejs magistrali	BUSMAT
Napięcie zasilania	5 V
Tolerancja napięcia zasilania	±5%
Pobór prądu	do 50 mA
Temperatura pracy	10 °C do 50 °C
Temp. przechowywania	-40 °C do 70 °C
Ilość wejść	do 8
Zakresy pomiarowe	-10 V do 10 V -20 mA do 20 mA ¹
Maksymalna częstotliwość próbkowania f_{max}	do 1600 Hz
Dokładność pomiaru	0.5% zakresu
Rozdzielczość ADC	12 bit
Rozdzielczość	15 bit

¹zakres -18.95 mA do 18.95 mA dla starszych kart

2 Specyfikacja dostawy

Karta POMMAX3v2 dostępna jest w następujących wersjach:

Model	dokładność	typ wejść
POMMAX3-V2	1.5%	wspólna masa
POMMAX3-V2P	0.5%	wspólna masa

Domyślnie karty przystosowane są do następujących standardów wejść:

Kanał	Typ wejścia	Zakres
0-3	napięciowe	-10 V do 10 V
4-7	prądowe	-20 mA do 20 mA

W przypadku innych zakresów wartości oporników podane są w załączniku B.

3 Podłączanie wejść analogowych

Opis wyprowadzeń dla POMMAX3-V2:

Pin	Opis
1	A7-
2	Nie podłączone
3	A7+
4	A4-, A5-, A6-, masa ADC 1
5	A6+
6	A5+
7	A4+
8	A3-
9	Nie podłączone
10	A3+
11	A0-, A1-, A2-, masa ADC 0
12	A2+
13	A1+
14	A0+

Wejścia 3 i 7 są wejściami różnicowymi. W przypadku podłączania źródeł podłączonych do ziemi, należy podłączyć masę odpowiedniego ADC (pin 4 dla wejścia 7, pin 11 dla wejścia 8) do masy źródła oddzielnym przewodem. W przypadku podłączania źródeł niepodłączonych do ziemi („floating”) należy połączyć masę odpowiedniego ADC przy karcie.

4 Konfiguracja zworek

Karta konfigurowana jest za pomocą sześciu zworek JP4-0, JP4-1 oraz czterech zworek adresowych A14-A17.

Za pomocą zworek JP4-0 oraz JP4-1 ustawia się tryb działania karty:

JP4-0 (AR-2c)	JP4-1	Tryb
0	0	tylko ARBus
0	1	BAR2 dla AR-3c
1	0	BAR2 dla AR-2c
1	1	tylko BAR2

W przypadku wybrania trybu „tylko ARBus” karta widziana jest tylko jako urządzenie ARBus o numerze wybranym na zworkach A17–A14. W przypadku systemów nie obsługujących ARBus można wymusić automatyczne mapowanie obszaru pamięci BAR2, kompatybilnego z POMMAX, za pomocą trybu „BAR2 dla AR-2c” lub „BAR2 dla AR-3c”. W przypadku trybu „BAR2 dla AR-2c” obszar ten mapowany jest pod adresem 0x11e00. W przypadku trybu „BAR2 dla AR-3c” obszar ten mapowany jest pod adresem 0xd8600 + $id * 0x800$, gdzie id to wybrany numer karty ARBus.

Adresy mapowania regionu pamięci BAR2, kompatybilnego z POMMAX, dla wybranego trybu „tylko BAR2”:

A17	A16	A15	A14	Adres
0	0	0	0	0x11e00
0	0	0	1	0xc4000
0	0	1	0	0xc8000
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1	1	1	0	0xf8000
1	1	1	1	0xfc000

W przypadku rejestratorów AR-2c zalecana konfiguracja zwerek to:

	JP4-0	JP4-1	A17–A14
AR-2c	1	0	1000

W przypadku rejestratorów AR-3c konfiguracja zależy od wersji oraz konfiguracji. W przypadku nowych instalacji jest dowolność w wyborze numeru karty. Ważne jest tylko to, by nie wybrać takiego samego jak inna karta ARBus. W przypadku starych rejestratorów AR-3c bez obsługi ARBus¹ trzeba wybrać tryb kompatybilności i ustawić zworkę JP4-1. W przypadku wymiany kart bez zmiany konfiguracji rejestratora konfiguracja zależy od wymienianej karty.

	JP4-0	JP4-1	A17–A14
tryb natywny	0	0	xxxx
tryb kompat.	0	1	xxxx
POMMAX	0	1	0011
POMMAX3-V0	1	1	1000

5 Konfiguracja karty

Karta POMMAX3v2 posiada możliwość zapamiętania dodatkowej konfiguracji w pamięci flash. Możliwe jest ustawienie:

1. częstotliwości próbkowania,
2. programowych wzmocnień dla poszczególnych kanałów.

¹ar3c-kernel < 3.1.0 lub libar3ccfg < 1.1.0

5.1 AR-2c — konfiguracja w AR-2c

W rejestratorze AR-2c kartę POMMAX można konfigurować za pomocą programu ar2c-gconf dostępnego na <ftp://ftp.podlesie.net/pub/gconf>.

5.1.1 Załadowanie gotowej konfiguracji karty

By załadować gotową konfigurację do karty należy:

1. załadować plik z konfiguracją za pomocą „Otwórz”,
2. ustawić metodę komunikacji z rejestratorem za pomocą „Ustawienia”,
3. wysłać konfigurację do karty za pomocą „Wyslij”,
4. zapisać konfigurację do flash za pomocą „Flash”,

5.1.2 Odczyt konfiguracji karty

By odczytać konfigurację karty należy:

1. ustawić metodę komunikacji z rejestratorem za pomocą „Ustawienia”,
2. odczytać konfigurację z karty za pomocą „Pobierz”.

Uwaga: nie wszystkie dane są pamiętane w karcie, przykładowo jeżeli chodzi o konfigurację wzmocnień to pamiętane są tylko wzmocnienia.

5.2 Zmiana konfiguracji

By zmienić konfigurację karty należy:

1. odczytać konfigurację z karty lub otworzyć ją z pliku,
2. wybrać kartę, którą się chce konfigurować. W przypadku zalecanej konfiguracji zwerek będzie to karta oznaczona jako „PCI 08.0”. Po wybraniu można sprawdzić, czy zgadza się producent i numer urządzenia, powinno być „Vendor” równe 0xff00 oraz „Urządzenie” równe 0x0003.
3. wcisnąć przycisk „Konfiguruj kartę”
4. wybrać konfigurowany przetwornik ADC,
5. zmieniać parametry,
6. zaakceptować parametry za pomocą „Zaakceptuj”,
7. ewentualnie powrócić kroki 4 do 6 dla kolejnych ADC,

Po zaakceptowaniu można konfigurację zapisać do pliku lub wysłać do karty.

5.3 AR-2c — konfiguracja w AR-3c

Przykłady dotyczą stosowania `pommax3-ctrl` w rejestratorze AR-3c. Ogólna składnia:

```
$ pommax3-ctrl -d urządzenie -a adc
opcje
```

Urządzenie to ścieżka do urządzenia PCI, 1: *numer*, gdzie *numer* to numer karty ustawiony na zworkach. *adc* to numer przetwornika — 0 lub 1.

Ustawić częstotliwość próbkowania 1280 Hz:

```
$ pommax3-ctrl -d 1:0 -a 0 --freq 1280
```

Włączyć programowe skalowanie pomiarów:

```
$ pommax3-ctrl -d 1:0 -a 0 --enable
gain
```

Ustawić wzmocnienia:

```
$ pommax3-ctrl -d 1:0 -a adc -g kanał:mnożnik
```

np.

```
$ pommax3-ctrl -d 1:0 -a 1 -g 3:0.8705
```

Zapis konfiguracji do pamięci flash:

```
$ pommax3-ctrl -d 1:0 -a 1 --save
```

5.4 ar3c-kernel < 3.1.0

W hardware należy użyć sterownika `pommax` i ustawić adres karty za pomocą `membase` na `0xd8600 + devno * 0x800`. Przykładowo dla karty o numerze 5 jest to `0xdae00`:

```
pommax card "pommax3v2"
membase 0xdae00
inputmask 0x0f0f
inputbase 4
```

5.5 ar3c-kernel 3.1.0 ≤ x < 3.4.0

W hardware należy użyć sterownika `pommax` i ustawić adres karty za pomocą `devpath` na `PCI(1, devno, 0, 2)`. Przykładowo dla karty o numerze 5:

```
pommax card "pommax3v2"
devpath PCI(1,5,0,2)
inputmask 0x0f0f
inputbase 4
```

5.6 ar3c-kernel ≥ 3.4.0

`ar3c-kernel 3.4.0` posiada natywny sterownik do kart POMMAX3v2. Jedyne co trzeba zrobić to skojarzyć nazwę urządzenia z numerem urządzenia poprzez:

```
device "pommax3" PCI 1:5:0
```

A następnie skonfigurować dwa urządzenia, do których następnie podłącza się moduły I/O jak w przypadku innych kart, odpowiadające dwóm ADC za pomocą:

```
master "pommax3-adc0" device "pommax3"
subdevice 0
master "pommax3-adc1" device "pommax3"
subdevice 1
```

Moduły muszą mieć typ fizyczny danych `word` oraz typ logiczny danych `a16le`.

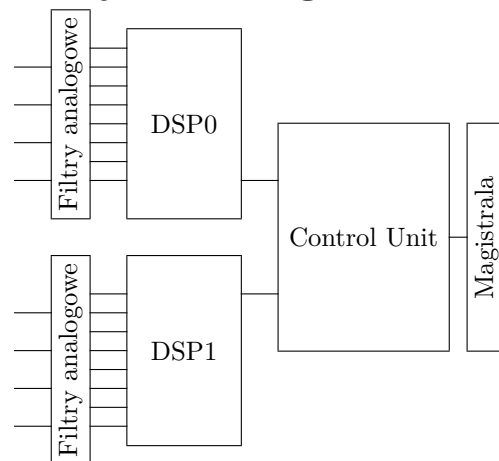
6 Interfejs komunikacji z hostem

Karta POMMAX3v2 używa magistrali BUSMAT do komunikacji z hostem. Jest widziana jako 4 obszary pamięci:

1. 256 bajtów konfiguracji zgodnej z PCI pod adresem `0xd8000 + id * 0x800`, gdzie *id* to wybrany numer karty ARBus.
2. 4096 bajtów bufora okrężnego z 16-bitowymi próbkami, adres wybierany za pomocą rejestru Base Address Register 0,
3. 256 bajtów rejestrów sterujących, adres wybierany za pomocą rejestru Base Address Register 1,
4. 512 bajtów pamięci o formacie zgodnym z POMMAX, adres wybierany za pomocą rejestru Base Address Register 2,

Rys. 1 przedstawia mapę pamięci konfiguracji. Dokładny opis interfejsu znajduje się w *POMMAX2 — Programming Interface rev 0.0*[1].

7 Wejścia analogowe



Karta POMMAX3v2 zawiera dwa procesory DSP ze zintegrowanym 8-kanalowym multiplekserem i 12-bitowym przetwornikiem ADC. Procesory DSP są używane do próbkowania wejść oraz cyfrowej filtracji antyaliasingowej.

Karta POMMAX3v2 dostosowana jest do akwizycji sygnałów o widmie ograniczonym do częstotliwości kilku herców z częstotliwością kilkudziesięciu herców. W celu ograniczenia efektu aliasingowego każdy analogowy jest odpowiednio przetwarzany. Przetwarzanie odbywa się w trzech etapach. Pierwszym etapem jest filtracja sygnału filtrem analogowym. Parametry tego filtra nieznacznie się różnią dla różnych zakresów. Dodatkowo

Offset	3	2	1	0
0x00	Device ID (0x0003)		Vendor ID (0xff00)	
0x04	Status		Command	
0x08	Base Class (0x11)	Sub-class (0x80)	ProgIF (0x00)	Revision ID (0x01)
0x0c	Reserved	Header Type	Reserved	Reserved
0x10	Base Address Register 0			
0x14	Base Address Register 1			
0x18	Base Address Register 2			
0x1c–0x2b	Reserved			
0x2c	Subsystem Device ID		Subsystem Vendor ID	
0x30–0xef	Reserved			
0xf0	0x53	0x42	0x52	0x41
0xf4–0xff	Reserved			

Rysunek 1: Mapa pamięci konfiguracji PCI karty POMMAX2

mogą wpływać na nie dokładności elementów pasywnych. Z tego powodu częstotliwość odcięcia tego filtru jest dużo większa jak wymagana dla filtru antyaliasingowego przez co ma on bardzo mały wpływ na użyteczną część sygnału.

Drugim etapem jest próbkowanie sygnału i jego przetworzenie za pomocą filtru cyfrowego realizowanego przez procesory DSP. Próbkowanie odbywa się z częstotliwością f_s . Częstotliwość ta oraz parametry filtru cyfrowego zależą od oprogramowania karty.

Trzecim opcjonalnym etapem jest dalsze przetworzenie sygnału przez użytkownika. Zalecane jest zastosowanie filtru dolnoprzepustowego Butterwortha 2-go rzędu o częstotliwości odcięcia s_u , która może być odczytana z tablicy 1. Przykładowa implementacja tego etapu została przedstawiona w załączniku A.

Parametry całego toru wejść analogowych dla różnych wersji karty oraz częstotliwości próbkowania użytkownika zostały przedstawione w tablicy 1. Kolumny opisane jako 0.04 dB, 0.5 dB oraz 3 dB przedstawiają maksymalne częstotliwości dla których amplituda sygnału jest zniekształcana nie więcej jak odpowiednio 0.04 dB, 0.5 dB oraz 3 dB. S oznacza minimalne tłumienie częstotliwości aliasingowych. s_u oznacza zalecaną częstotliwość odcięcia dla filtru Butterwortha implementowanego przez użytkownika. S_u oznacza minimalne tłumienie częstotliwości aliasingowych w przypadku zastosowania zalecanego filtru po stronie użytkownika. Parametr t_d określa opóźnienie grupowe z uwzględnieniem filtru wykonywanego po stronie użytkownika.

Charakterystyki amplitudowe toru wejść analogowych dla częstotliwości próbkowania $f_u = 100$ Hz zostały przedstawione na rysunku 2. Zastosowanie opcjonalnego filtru przez użytkownika znacząco poprawia tłumienie w paśmie zaporowym nie mając dużego wpływu na pasmo przepustowe.

Typ oraz zakres wejść analogowych musi być ustalony poprzez odpowiedni dobór oporników i kondensatorów. Typowe wartości znajdują się w tablicy 2. Rezystory powinny zapewniać maksymalny względny błąd w stosunku do wartości nominalnej mniejszy jak $\pm 0.25\%$ ($\pm 1\%$ dla kart o niepewności 1.5%). W przypadku kondensatorów błąd ten powinien być mniejszy jak $\pm 10\%$.

A Implementacja filtru użytkownika

Trzeci, opcjonalny etap przetwarzania jest wykonywany po stronie użytkownika.

Zalecane jest użycie filtru dolnoprzepustowego Butterwortha 2-go rzędu o częstotliwości odcięcia równej s_u . Wartość s_u należy odczytać z tablicy 1. Parametry takiego filtru można otrzymać za pomocą wielu narzędzi do wspomagania projektowania filtrów. Między innymi za pomocą GNU Octave z zainstalowanym octave-forge poprzez:

```
> [B, A] = butter(2, s_u / (f_u / 2));
```

gdzie f_u to częstotliwość odczytu wejść analogowych przez użytkownika. Wektory B i A określają współczynniki wielomianów filtru postaci:

$$H(z^{-1}) = \frac{B(z^{-1})}{A(z^{-1})}$$

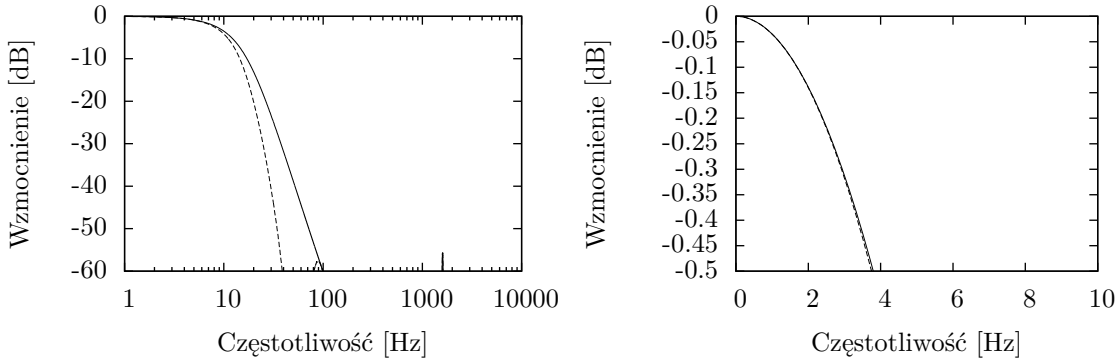
Przykładowo dla $f_u = 100$ Hz należy przyjąć $s_u = 15$ Hz. Transmitancja filtru wynosi wtedy w przybliżeniu:

$$H(z^{-1}) \approx \frac{0.1311 + 0.2622z^{-1} + 0.1311z^{-2}}{1 - 0.7478z^{-1} + 0.2722z^{-2}} \quad (1)$$

W przypadku wielu procesorów lepsze jest skorzystanie z arytmetyki stałoprzecinkowej. W przypadku procesora 32-bitowego zalecane jest zaimplementowanie filtru 1

Tablica 1: Parametry torów wejść analogowych.

f_u [Hz]	0.04 dB[Hz]	0.5 dB[Hz]	3 dB[Hz]	S [dB]	s_u [Hz]	S_u [dB]	t_d [ms]
10	0.32	0.80	1.3	20.3	2	31.5	251
100	1.07	3.7	8.6	38.5	15	54.6	46



Rysunek 2: Charakterystyka amplitudowa toru wejść analogowych dla $f_u = 100$ Hz. Linia przerywana przedstawia charakterystykę z użyciem przez użytkownika dodatkowego filtra dolnoprzepustowego.

jako:

$$H(z^{-1}) = \frac{4296(1 + 2z^{-1} + z^{-2})}{32768 - 24504z^{-1} + 8920z^{-2}}$$

Filtr ten można przedstawić w postaci równania różnicowego:

$$y(i) = \frac{1}{32768}(4296(x(i) + 2x(i-1) + x(i-1))) - 24504y(i-1) + 8920y(i-2))$$

Przykładowa implementacja w języku C:

```
int filter(int x)
{
    static int x1; /* x(i-1) */
    static int x2; /* x(i-2) */
    static int y1; /* y(i-1) */
    static int y2; /* x(i-1) */

    static int e; /* poprzedni błąd kwantyzacji */
    int y;
    int dy;
    int t;

    dy = (x + 2 * x1 + 1 * x2) * 4296
        - 8264 * y1 - 8920 * y2 - e;
    x2 = x1;
    x1 = x;

    t = dy;
    dy += (dy >= 0) ? 16384 : -16384;
    dy /= 32768;
    e = 32768 * dy - t;
    y2 = y1;
    y1 += dy;
    return y1;
}
```

Tablica 2: Parametry elementów dla wejść analogowych.

Zakres	Jedn.	R_1	R_{10}	R_2	R_8	R_9	C_1	C_2	R_{wej}
-10 do 10	V	62 k Ω	62 k Ω	39 k Ω	75 k Ω	15 k Ω	1 μ F	100 nF	150 k Ω
-18.95 do 18.95 ¹	mA			110 Ω	75 k Ω	15 k Ω	1 μ F	100 nF	110 Ω
-20 do 20	mA			110 Ω	75 k Ω	16 k Ω	1 μ F	100 nF	110 Ω

B Konfiguracje oporników

B.1 Wejścia napięciowe

Załącznik ten przedstawia zalecane konfiguracje oporników. Przy wyborze oporników uwzględniono:

1. błąd zakresu,
2. dryft temperaturowy opornów,
3. wymagania dla dynamiki ($R_8 \geq 4.9R_9$),
4. moc wydzielana na oporniku pomiarowym dla prądów (max. 0.2 W),
5. preferencje dla oporników o nominalnej rezystancji 1 k Ω do 100 k Ω .

Założono oporniki o tolerancji 1%.

Pozostałe elementy należy wybrać w następujący sposób: $C_1 = 1 \mu\text{F}$, $C_2 = 100 \text{ nF}$, $R_{10} = R_1$.

Zakres [V]	R_1 [k Ω]	R_2 [k Ω]	R_8 [k Ω]	R_9 [k Ω]	Zakres [V]	R_1 [k Ω]	R_2 [k Ω]	R_8 [k Ω]	R_9 [k Ω]
1.00	36.0	100.00	75.0	3.0	1.02	51.0	75.00	82.0	2.4
1.05	10.0	∞	75.0	6.2	1.07	56.0	33.00	91.0	1.6
1.10	27.0	62.00	91.0	3.9	1.13	22.0	91.00	91.0	5.1
1.15	1.2	∞	75.0	7.5	1.18	24.0	∞	91.0	7.5
1.21	51.0	22.00	75.0	1.2	1.24	20.0	∞	91.0	8.2
1.27	33.0	91.00	75.0	3.9	1.30	30.0	91.00	91.0	5.1
1.33	51.0	100.00	82.0	3.6	1.37	1.3	∞	75.0	9.1
1.40	51.0	18.00	82.0	1.3	1.43	91.0	62.00	91.0	2.2
1.47	33.0	62.00	91.0	4.7	1.50	2.0	∞	75.0	10.0
1.54	33.0	56.00	91.0	4.7	1.58	22.0	100.00	91.0	7.5
1.62	30.0	82.00	91.0	6.2	1.65	5.6	∞	91.0	13.0
1.69	75.0	51.00	91.0	2.7	1.74	30.0	68.00	91.0	6.2
1.78	75.0	47.00	91.0	2.7	1.82	51.0	39.00	82.0	3.0
1.87	30.0	91.00	75.0	6.2	1.91	2.2	∞	91.0	16.0
1.96	36.0	47.00	75.0	4.3	2.00	16.0	∞	75.0	12.0
2.05	11.0	∞	75.0	13.0	2.10	75.0	22.00	75.0	1.5
2.15	47.0	36.00	75.0	3.3	2.21	36.0	51.00	91.0	6.2
2.26	27.0	100.00	82.0	9.1	2.32	56.0	12.00	75.0	1.3
2.37	43.0	56.00	82.0	5.6	2.43	30.0	∞	91.0	16.0
2.49	22.0	∞	82.0	16.0	2.55	39.0	43.00	75.0	5.1
2.61	62.0	75.00	91.0	6.2	2.67	82.0	91.00	75.0	4.7
2.74	51.0	24.00	91.0	3.6	2.80	43.0	68.00	75.0	6.8
2.87	75.0	13.00	91.0	1.6	2.94	56.0	39.00	91.0	5.1
3.01	62.0	16.00	91.0	2.4	3.09	91.0	51.00	91.0	4.3
3.16	39.0	100.00	91.0	12.0	3.24	91.0	100.00	75.0	5.6
3.32	82.0	82.00	91.0	6.8	3.40	47.0	75.00	82.0	9.1
3.48	47.0	20.00	91.0	4.3	3.57	91.0	∞	91.0	16.0
3.65	47.0	27.00	75.0	4.7	3.74	68.0	22.00	91.0	3.6
3.83	47.0	43.00	82.0	7.5	3.92	33.0	56.00	91.0	13.0
4.02	36.0	100.00	82.0	15.0	4.12	68.0	39.00	91.0	6.2
4.22	82.0	6.80	91.0	1.2	4.32	82.0	100.00	82.0	9.1
4.42	27.0	62.00	91.0	18.0	4.53	39.0	62.00	82.0	13.0
4.64	51.0	62.00	75.0	10.0	4.75	68.0	100.00	91.0	13.0
4.87	62.0	20.00	82.0	4.3	4.99	68.0	10.00	82.0	2.2
5.11	33.0	47.00	91.0	16.0	5.23	39.0	36.00	75.0	10.0
5.36	51.0	47.00	91.0	12.0	5.49	62.0	30.00	75.0	6.2
5.62	51.0	82.00	82.0	16.0	5.76	62.0	47.00	75.0	9.1
5.90	62.0	51.00	91.0	12.0	6.04	56.0	82.00	91.0	18.0
6.19	75.0	18.00	91.0	4.7	6.34	51.0	13.00	82.0	4.7
6.49	68.0	3.60	75.0	1.0	6.65	39.0	36.00	91.0	16.0
6.81	47.0	12.00	82.0	5.1	6.98	91.0	43.00	75.0	7.5
7.15	51.0	30.00	91.0	12.0	7.32	75.0	12.00	91.0	3.9
7.50	56.0	20.00	82.0	7.5	7.68	68.0	56.00	91.0	16.0
7.87	51.0	33.00	82.0	13.0	8.06	75.0	62.00	82.0	15.0

Zakres [V]	R_1 [k Ω]	R_2 [k Ω]	R_8 [k Ω]	R_9 [k Ω]	Zakres [V]	R_1 [k Ω]	R_2 [k Ω]	R_8 [k Ω]	R_9 [k Ω]
8.25	91.0	56.00	75.0	11.0	8.45	68.0	33.00	91.0	12.0
8.66	75.0	15.00	75.0	4.7	8.87	43.0	30.00	91.0	18.0
9.09	47.0	16.00	91.0	10.0	9.31	91.0	6.80	75.0	2.0
9.53	68.0	3.00	91.0	1.5	9.76	51.0	16.00	91.0	10.0
10.0	62.0	39.00	75.0	15.0	10.2	75.0	47.00	91.0	18.0
10.5	75.0	3.90	75.0	1.6	10.7	47.0	18.00	75.0	11.0
11.0	56.0	4.30	82.0	2.7	11.3	68.0	12.00	75.0	5.6
11.5	62.0	20.00	75.0	10.0	11.8	91.0	47.00	82.0	16.0
12.1	51.0	10.00	91.0	8.2	12.4	68.0	5.10	91.0	3.3
12.7	56.0	2.70	91.0	2.2	13.0	75.0	33.00	91.0	18.0
13.3	68.0	15.00	91.0	10.0	13.7	75.0	18.00	82.0	10.0
14.0	91.0	1.80	91.0	1.0	14.3	68.0	2.40	75.0	1.5
14.7	51.0	15.00	91.0	15.0	15.0	68.0	20.00	91.0	15.0
15.4	51.0	4.70	91.0	5.1	15.8	56.0	3.60	82.0	3.3
16.2	75.0	16.00	91.0	12.0	16.5	82.0	2.00	75.0	1.2
16.9	62.0	2.70	82.0	2.4	17.4	68.0	5.10	91.0	4.7
17.8	62.0	13.00	82.0	12.0	18.2	56.0	1.10	91.0	1.3
18.7	51.0	7.50	91.0	10.0	19.1	75.0	9.10	82.0	7.5
19.6	91.0	13.00	75.0	8.2	20.0	51.0	0.91	91.0	1.3
20.5	56.0	0.91	75.0	1.0	21.0	56.0	13.00	91.0	18.0
21.5	56.0	1.30	75.0	1.5	22.1	91.0	2.20	75.0	1.6
22.6	75.0	7.50	75.0	6.8	23.2	91.0	12.00	82.0	10.0
23.7	56.0	9.10	82.0	13.0	24.3	51.0	5.60	75.0	8.2
24.9	75.0	1.10	82.0	1.2	25.5	56.0	1.00	82.0	1.5
26.1	56.0	1.30	82.0	2.0	26.7	82.0	12.00	75.0	12.0
27.4	75.0	0.91	75.0	1.0	28.0	56.0	1.20	91.0	2.2
28.7	62.0	3.60	75.0	5.1	29.4	75.0	3.30	82.0	4.3
30.1	62.0	0.75	82.0	1.2	30.9	82.0	11.00	75.0	13.0
31.6	82.0	12.00	82.0	16.0	32.4	91.0	4.70	91.0	6.2
33.2	62.0	2.20	75.0	3.6	34.0	56.0	1.30	75.0	2.4
34.8	62.0	2.70	82.0	5.1	35.7	68.0	0.75	82.0	1.3
36.5	68.0	0.56	91.0	1.1	37.4	75.0	1.20	91.0	2.2
38.3	68.0	7.50	82.0	15.0	39.2	51.0	1.50	91.0	4.3
40.2	75.0	0.51	91.0	1.0	41.2	56.0	2.70	82.0	6.8
42.2	51.0	0.33	91.0	1.0	43.2	68.0	0.43	91.0	1.0
44.2	56.0	3.00	75.0	7.5	45.3	82.0	5.60	91.0	12.0
46.4	51.0	0.30	91.0	1.0	47.5	62.0	0.56	75.0	1.3
48.7	62.0	4.30	75.0	11.0	49.9	82.0	4.30	82.0	9.1
51.1	91.0	2.70	75.0	4.7	52.3	68.0	0.43	75.0	1.0
53.6	68.0	5.60	91.0	18.0	54.9	91.0	5.60	82.0	12.0
56.2	56.0	1.50	75.0	4.7	57.6	62.0	3.90	75.0	12.0
59.0	68.0	0.47	91.0	1.5	60.4	62.0	1.00	75.0	3.0
61.9	82.0	1.30	82.0	3.3	63.4	82.0	0.43	82.0	1.1
64.9	56.0	0.62	75.0	2.2	66.5	91.0	5.10	91.0	15.0
68.1	56.0	1.60	91.0	7.5	69.8	68.0	3.60	91.0	15.0
71.5	62.0	1.30	75.0	4.7	73.2	62.0	1.50	75.0	5.6
75.0	51.0	1.10	75.0	5.1	76.8	75.0	3.60	91.0	15.0
78.7	51.0	1.80	75.0	9.1	80.6	91.0	0.82	91.0	2.7
82.5	68.0	1.60	91.0	7.5	84.5	56.0	0.22	82.0	1.1
86.6	75.0	0.56	91.0	2.4	88.7	75.0	0.68	91.0	3.0
90.9	51.0	1.80	91.0	13.0	93.1	68.0	2.40	82.0	12.0
95.3	82.0	2.40	82.0	10.0	97.6	82.0	0.82	82.0	3.3
100	91.0	0.33	75.0	1.1	102	68.0	0.36	91.0	2.0
105	91.0	0.56	91.0	2.4	107	82.0	0.30	82.0	1.3
110	82.0	1.00	91.0	5.1	113	75.0	0.24	82.0	1.2
115	91.0	2.20	82.0	10.0	118	56.0	1.00	75.0	6.8
121	75.0	1.00	91.0	6.2	124	62.0	0.24	82.0	1.6
127	56.0	0.12	91.0	1.0	130	82.0	0.56	82.0	3.0
133	91.0	2.40	82.0	13.0	137	51.0	0.24	91.0	2.4
140	51.0	1.00	75.0	9.1	143	91.0	0.56	91.0	3.3

Zakres [V]	R_1 [k Ω]	R_2 [k Ω]	R_8 [k Ω]	R_9 [k Ω]	Zakres [V]	R_1 [k Ω]	R_2 [k Ω]	R_8 [k Ω]	R_9 [k Ω]
147	75.0	0.30	75.0	1.8	150	56.0	0.43	75.0	3.6
154	75.0	0.39	82.0	2.7	158	51.0	0.62	91.0	7.5
162	68.0	1.60	91.0	16.0	165	91.0	0.82	75.0	4.7
169	75.0	0.39	91.0	3.3	174	62.0	1.50	91.0	18.0
178	68.0	0.51	91.0	5.1	182	75.0	0.27	82.0	2.2
187	62.0	0.12	75.0	1.1	191	56.0	1.10	75.0	13.0
196	91.0	0.62	91.0	5.1	200	68.0	1.10	82.0	12.0
205	82.0	0.18	82.0	1.5	210	75.0	1.50	91.0	18.0
215	68.0	1.20	91.0	16.0	221	75.0	1.00	91.0	12.0
226	62.0	0.82	82.0	11.0	232	56.0	0.13	91.0	2.0
237	91.0	0.15	82.0	1.3	243	68.0	0.27	75.0	3.0
249	82.0	0.16	91.0	1.8	255	75.0	1.10	75.0	13.0
261	91.0	0.43	91.0	4.7	267	75.0	1.10	82.0	15.0
274	68.0	0.68	82.0	10.0	280	68.0	0.39	82.0	5.6
287	51.0	0.56	91.0	13.0	294	91.0	1.00	75.0	11.0
301	62.0	0.16	75.0	2.4	309	51.0	0.16	82.0	3.3
316	51.0	0.20	75.0	3.9	324	51.0	0.39	75.0	8.2
332	56.0	0.27	91.0	6.2	340	75.0	0.30	82.0	4.7
348	82.0	0.82	75.0	12.0	357	82.0	0.82	91.0	15.0
365	82.0	0.16	82.0	2.4	374	82.0	0.27	91.0	4.7
383	68.0	0.22	75.0	3.9	392	68.0	0.36	91.0	8.2
402	75.0	0.51	82.0	10.0	412	91.0	0.91	82.0	16.0
422	62.0	0.51	75.0	12.0	432	68.0	0.43	82.0	10.0
442	91.0	0.51	75.0	8.2	453	82.0	0.16	82.0	3.0
464	51.0	0.30	82.0	10.0	475	82.0	0.33	91.0	7.5
487	91.0	0.18	75.0	3.0	499	68.0	0.56	82.0	16.0
511	62.0	0.39	75.0	11.0	523	68.0	0.16	91.0	4.7
536	56.0	0.20	75.0	6.2	549	75.0	0.47	82.0	13.0
562	91.0	0.22	75.0	4.3	576	51.0	0.10	91.0	4.3
590	68.0	0.22	91.0	7.5	604	51.0	0.30	91.0	15.0
619	75.0	0.15	75.0	3.9	634	51.0	0.33	82.0	16.0
649	82.0	0.22	75.0	5.6	665	68.0	0.15	82.0	5.1
681	91.0	0.56	75.0	15.0	698	68.0	0.11	91.0	4.3
715	68.0	0.39	82.0	16.0	732	68.0	0.33	91.0	15.0
750	62.0	0.12	91.0	5.6	768	62.0	0.22	82.0	10.0
787	68.0	0.18	75.0	6.8	806	91.0	0.33	91.0	12.0
825	62.0	0.12	91.0	6.2	845	75.0	0.24	91.0	11.0
866	91.0	0.13	75.0	3.9	887	51.0	0.10	75.0	5.6
909	62.0	0.10	82.0	5.1	931	82.0	0.24	82.0	10.0
953	82.0	0.36	75.0	15.0	976	75.0	0.16	75.0	6.8

B.2 Wejścia prądowe

Zakres [mA]	R_1 [Ω]	R_2 [Ω]	R_8 [k Ω]	R_9 [k Ω]	Zakres [mA]	R_1 [Ω]	R_2 [Ω]	R_8 [k Ω]	R_9 [k Ω]
1.00	0.0	680.0	82.0	4.7	1.02	0.0	430.0	91.0	3.3
1.05	0.0	910.0	91.0	7.5	1.07	0.0	750.0	82.0	5.6
1.10	0.0	560.0	91.0	4.7	1.13	0.0	160.0	75.0	1.1
1.15	0.0	130.0	91.0	1.1	1.18	0.0	680.0	82.0	5.6
1.21	0.0	470.0	82.0	3.9	1.24	0.0	240.0	82.0	2.0
1.27	0.0	160.0	91.0	1.5	1.30	0.0	150.0	82.0	1.3
1.33	0.0	300.0	82.0	2.7	1.37	0.0	110.0	82.0	1.0
1.40	0.0	750.0	82.0	7.5	1.43	0.0	360.0	91.0	3.9
1.47	0.0	390.0	75.0	3.6	1.50	0.0	910.0	82.0	10.0
1.54	0.0	620.0	91.0	7.5	1.58	0.0	430.0	75.0	4.3
1.62	0.0	220.0	75.0	2.2	1.65	0.0	820.0	91.0	11.0
1.69	0.0	120.0	91.0	1.5	1.74	0.0	390.0	82.0	4.7
1.78	0.0	200.0	82.0	2.4	1.82	0.0	750.0	82.0	10.0
1.87	0.0	510.0	91.0	7.5	1.91	0.0	300.0	75.0	3.6
1.96	0.0	820.0	75.0	11.0	2.00	0.0	620.0	91.0	10.0

Zakres [mA]	$R_1[\Omega]$	$R_2[\Omega]$	$R_8[k\Omega]$	$R_9[k\Omega]$	Zakres [mA]	$R_1[\Omega]$	$R_2[\Omega]$	$R_8[k\Omega]$	$R_9[k\Omega]$
2.05	0.0	300.0	91.0	4.7	2.10	0.0	270.0	82.0	3.9
2.15	0.0	680.0	91.0	12.0	2.21	0.0	200.0	82.0	3.0
2.26	0.0	820.0	75.0	13.0	2.32	0.0	270.0	82.0	4.3
2.37	0.0	150.0	82.0	2.4	2.43	0.0	180.0	91.0	3.3
2.49	0.0	160.0	82.0	2.7	2.55	0.0	820.0	75.0	15.0
2.61	0.0	680.0	91.0	15.0	2.67	0.0	390.0	75.0	6.8
2.74	0.0	130.0	75.0	2.2	2.80	0.0	560.0	91.0	13.0
2.87	0.0	430.0	75.0	8.2	2.94	0.0	150.0	82.0	3.0
3.01	0.0	680.0	82.0	16.0	3.09	0.0	200.0	75.0	3.9
3.16	0.0	360.0	75.0	7.5	3.24	0.0	110.0	75.0	2.2
3.32	0.0	240.0	75.0	5.1	3.40	0.0	470.0	82.0	12.0
3.48	0.0	510.0	91.0	15.0	3.57	0.0	91.0	75.0	2.0
3.65	0.0	470.0	82.0	13.0	3.74	0.0	330.0	75.0	8.2
3.83	0.0	270.0	91.0	8.2	3.92	0.0	82.0	91.0	2.4
4.02	0.0	430.0	75.0	12.0	4.12	0.0	150.0	75.0	3.9
4.22	0.0	270.0	75.0	7.5	4.32	0.0	110.0	91.0	3.6
4.42	0.0	330.0	91.0	12.0	4.53	0.0	160.0	91.0	5.6
4.64	0.0	270.0	82.0	9.1	4.75	0.0	390.0	75.0	13.0
4.87	0.0	82.0	91.0	3.0	4.99	0.0	160.0	91.0	6.2
5.11	0.0	130.0	91.0	5.1	5.23	0.0	330.0	75.0	12.0
5.36	0.0	390.0	75.0	15.0	5.49	0.0	160.0	82.0	6.2
5.62	0.0	110.0	75.0	3.9	5.76	0.0	300.0	75.0	12.0
5.90	0.0	300.0	91.0	15.0	6.04	0.0	120.0	91.0	5.6
6.19	0.0	200.0	91.0	10.0	6.34	0.0	270.0	82.0	13.0
6.49	0.0	68.0	82.0	3.0	6.65	0.0	120.0	91.0	6.2
6.81	0.0	300.0	82.0	16.0	6.98	0.0	150.0	82.0	7.5
7.15	0.0	240.0	82.0	13.0	7.32	0.0	100.0	82.0	5.1
7.50	0.0	180.0	91.0	11.0	7.68	0.0	62.0	91.0	3.6
7.87	0.0	56.0	82.0	3.0	8.06	0.0	130.0	82.0	7.5
8.25	0.0	150.0	91.0	10.0	8.45	0.0	160.0	75.0	9.1
8.66	0.0	110.0	91.0	7.5	8.87	0.0	180.0	82.0	12.0
9.09	0.0	68.0	75.0	3.9	9.31	0.0	47.0	91.0	3.3
9.53	0.0	110.0	82.0	7.5	9.76	0.0	68.0	91.0	5.1
10.0	0.0	160.0	75.0	11.0	10.2	0.0	200.0	82.0	16.0
10.5	0.0	91.0	75.0	6.2	10.7	0.0	160.0	82.0	13.0
11.0	0.0	16.0	91.0	1.3	11.3	0.0	16.0	75.0	1.1
11.5	0.0	150.0	75.0	12.0	11.8	0.0	150.0	91.0	15.0
12.1	0.0	160.0	82.0	15.0	12.4	0.0	39.0	82.0	3.3
12.7	0.0	75.0	91.0	7.5	13.0	0.0	15.0	82.0	1.3
13.3	0.0	120.0	82.0	12.0	13.7	0.0	12.0	75.0	1.0
14.0	0.0	68.0	91.0	7.5	14.3	0.0	43.0	91.0	4.7
14.7	0.0	100.0	75.0	10.0	15.0	0.0	13.0	82.0	1.3
15.4	0.0	120.0	75.0	13.0	15.8	0.0	36.0	82.0	3.9
16.2	0.0	27.0	91.0	3.3	16.5	0.0	82.0	75.0	9.1
16.9	0.0	62.0	82.0	7.5	17.4	0.0	15.0	75.0	1.6
17.8	0.0	27.0	75.0	3.0	18.2	0.0	68.0	91.0	10.0
18.7	0.0	100.0	91.0	16.0	19.1	0.0	30.0	75.0	3.6
19.6	0.0	75.0	75.0	10.0	20.0	0.0	68.0	82.0	10.0
20.5	0.0	39.0	82.0	5.6	21.0	0.0	27.0	82.0	3.9
21.5	0.0	18.0	75.0	2.4	22.1	0.0	56.0	91.0	10.0
22.6	0.0	30.0	75.0	4.3	23.2	0.0	27.0	82.0	4.3
23.7	0.0	15.0	82.0	2.4	24.3	0.0	18.0	91.0	3.3
24.9	0.0	82.0	82.0	16.0	25.5	0.0	24.0	91.0	4.7
26.1	0.0	10.0	75.0	1.6	26.7	0.0	18.0	75.0	3.0
27.4	0.0	13.0	75.0	2.2	28.0	0.0	22.0	75.0	3.9
28.7	0.0	36.0	91.0	8.2	29.4	0.0	15.0	82.0	3.0
30.1	0.0	16.0	75.0	3.0	30.9	0.0	20.0	75.0	3.9
31.6	0.0	56.0	91.0	15.0	32.4	0.0	11.0	75.0	2.2
33.2	0.0	12.0	82.0	2.7	34.0	0.0	47.0	75.0	11.0
34.8	0.0	39.0	82.0	10.0	35.7	0.0	10.0	75.0	2.2

Zakres [mA]	$R_1[\Omega]$	$R_2[\Omega]$	$R_8[k\Omega]$	$R_9[k\Omega]$	Zakres [mA]	$R_1[\Omega]$	$R_2[\Omega]$	$R_8[k\Omega]$	$R_9[k\Omega]$
36.5	0.0	12.0	91.0	3.3	37.4	0.0	39.0	91.0	12.0
38.3	0.0	27.0	91.0	8.2	39.2	0.0	47.0	75.0	13.0
40.2	0.0	18.0	91.0	5.6	41.2	0.0	15.0	75.0	3.9
42.2	0.0	27.0	75.0	7.5	43.2	0.0	11.0	91.0	3.6
44.2	0.0	39.0	75.0	12.0	45.3	0.0	30.0	82.0	10.0
46.4	0.0	27.0	82.0	9.1	47.5	0.0	36.0	82.0	13.0
48.7	0.0	15.0	82.0	5.1	49.9	0.0	27.0	91.0	11.0
51.1	0.0	12.0	91.0	4.7	52.3	0.0	33.0	75.0	12.0
53.6	0.0	33.0	91.0	15.0	54.9	0.0	16.0	82.0	6.2
56.2	0.0	24.0	91.0	11.0	57.6	0.0	30.0	75.0	12.0
59.0	0.0	30.0	91.0	15.0	60.4	0.0	12.0	91.0	5.6
61.9	0.0	20.0	91.0	10.0	63.4	0.0	15.0	91.0	7.5
64.9	0.0	16.0	75.0	6.8	66.5	0.0	11.0	82.0	5.1
68.1	0.0	30.0	82.0	16.0	69.8	0.0	15.0	82.0	7.5
71.5	0.0	27.0	82.0	15.0	73.2	0.0	10.0	82.0	5.1
75.0	0.0	18.0	91.0	11.0	76.8	0.0	16.0	75.0	8.2
78.7	0.0	11.0	75.0	5.6	80.6	0.0	13.0	82.0	7.5
82.5	0.0	15.0	91.0	10.0	84.5	0.0	16.0	75.0	9.1
86.6	0.0	12.0	75.0	6.8	88.7	0.0	18.0	82.0	12.0
90.9	0.0	16.0	91.0	12.0	93.1	0.0	16.0	82.0	11.0
95.3	0.0	11.0	82.0	7.5	97.6	0.0	15.0	75.0	10.0
100	0.0	16.0	75.0	11.0	102	0.0	12.0	75.0	8.2
105	0.0	10.0	82.0	7.5	107	0.0	16.0	82.0	13.0
110	0.0	1.6	91.0	1.3	113	0.0	11.0	91.0	10.0
115	0.0	15.0	75.0	12.0	118	0.0	6.2	82.0	5.1
121	0.0	12.0	91.0	12.0	124	0.0	10.0	91.0	10.0
127	0.0	7.5	91.0	7.5	130	0.0	1.5	82.0	1.3
133	0.0	3.0	91.0	3.0	137	0.0	1.2	75.0	1.0
140	0.0	6.8	91.0	7.5	143	0.0	4.3	91.0	4.7
147	0.0	3.0	82.0	3.0	150	0.0	1.3	82.0	1.3
154	0.0	6.2	75.0	6.2	158	0.0	3.6	82.0	3.9
162	0.0	2.7	91.0	3.3	165	0.0	1.8	82.0	2.0
169	0.0	1.2	91.0	1.5	174	0.0	1.5	75.0	1.6
178	0.0	2.7	75.0	3.0	182	0.0	2.4	91.0	3.3
187	0.0	1.2	82.0	1.5	191	0.0	3.0	75.0	3.6
196	0.0	1.1	91.0	1.6	200	0.0	1.8	91.0	2.7

Literatura

- [1] Krzysztof Mazur, *POMMAX2 — Programming Interface rev 0.0*, 2012