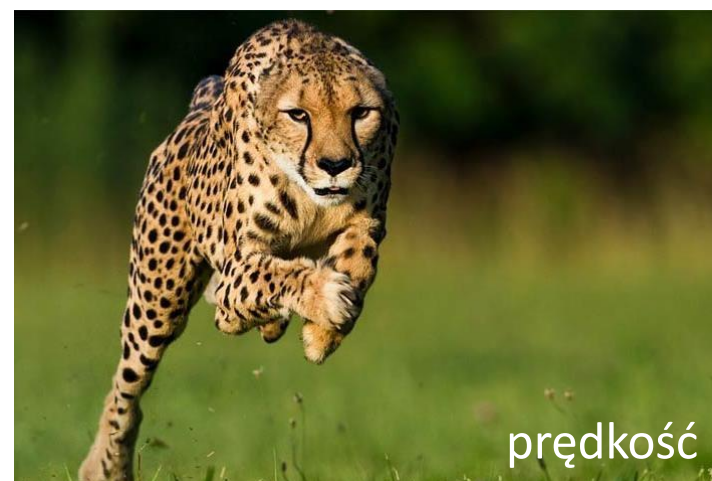
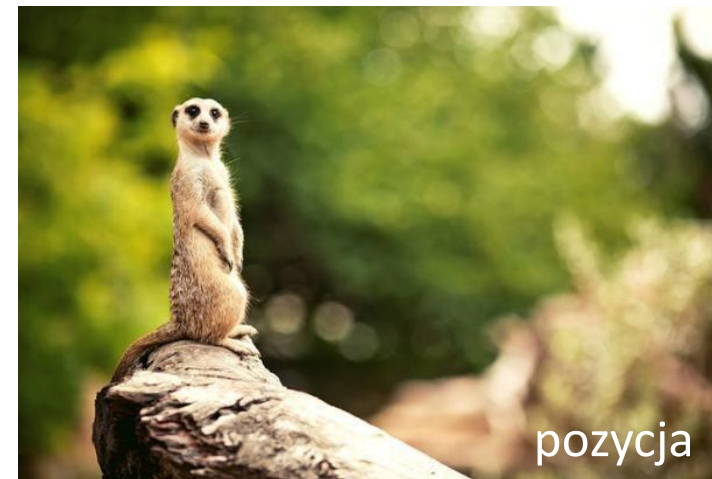


Optymalizacja sterowania

- Ogólny
- Optymalizacja sterowania za pomocą 5 parametrów
- Silnik innej firmy
 - ? Silnik asynchroniczny bez enkodera
 - ? ES silniki

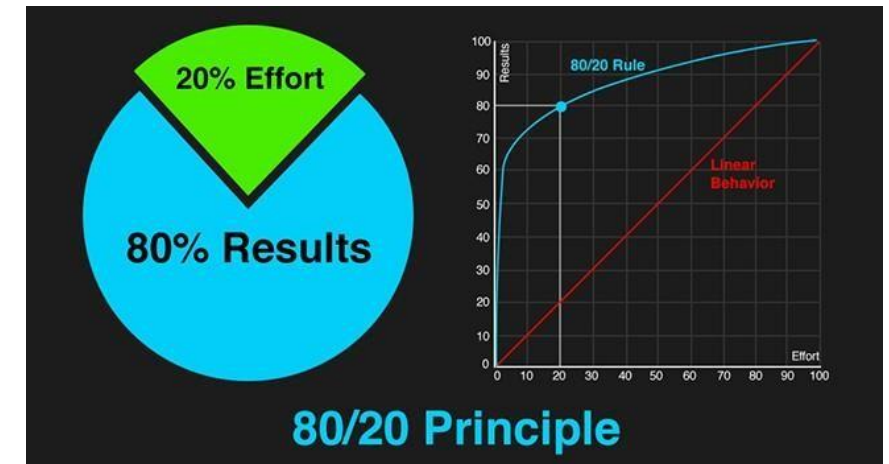
1. Ustaw cel optymalizacji
2. Wybierz odpowiedni sprzęt
3. Ustaw kontroler napędu
 - Konfiguracja projektu zawiera podstawowe ustawienia dla wszystkich standardowych silników STÖBER



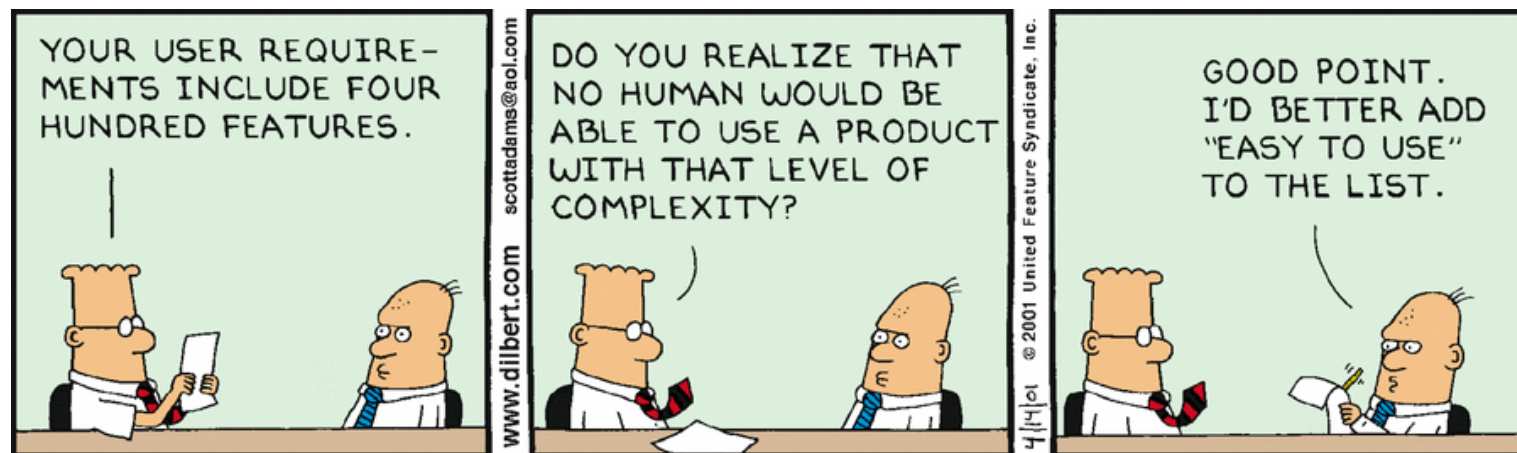
Jeśli sprzęt nie został odpowiednio dobrany, oprogramowanie może to zrekompensować tylko w ograniczonym zakresie.



- Wartości domyślne nie są losowe
 - Często dają rozsądny wynik
 1. Sprawdź rzeczywiste zachowanie za pomocą Scope
 2. W razie potrzeby dostosuj wartości
- Zoptymalizuj 80% wszystkich aplikacji za pomocą tylko 5 parametrów :
 - C34
 - C31, C32
 - I20, I25

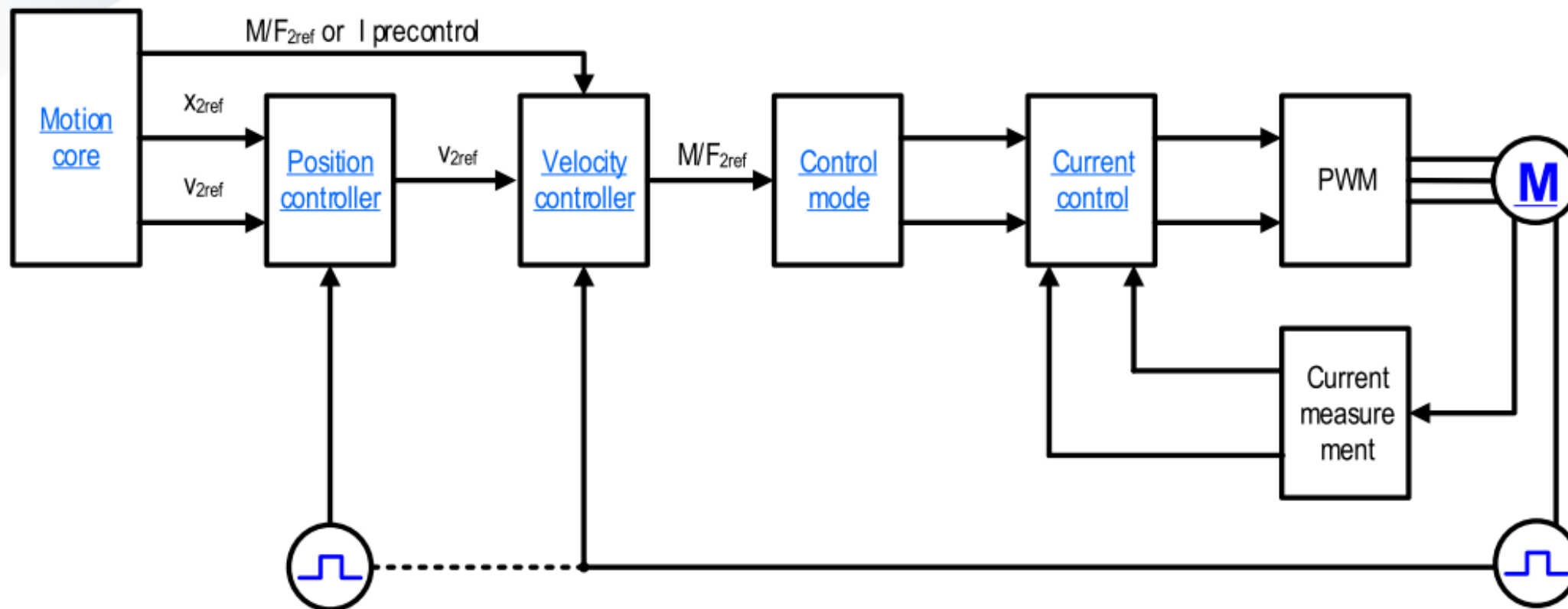


- Wiele dostępnych parametrów ma zastosowanie tylko w szczególnych przypadkach
 - Wizardy i tak je wyświetlają
(Zajrzyj do toolbox'a: znajdź odpowiednie narzędzie!)
 - Nie zmieniaj parametrów których nie znasz!

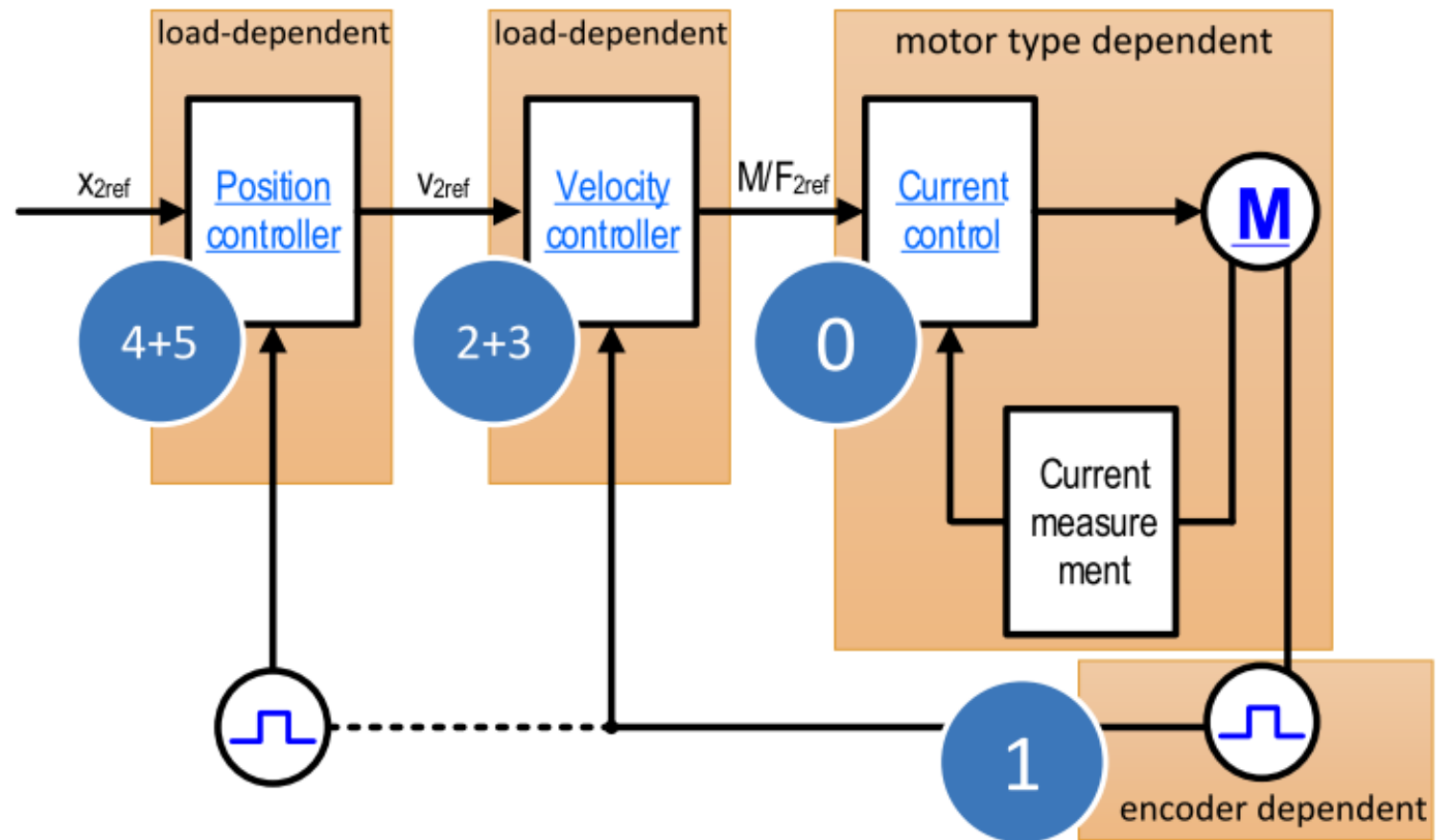


T1 : ECI 1118-G2 A1 : Axis 1	
B21 V/f-characteristic	0: Linear
B22 V/f-factor	100 %
B23 V/f boost	10 %
B24 Switching frequency	8: 8 kHz
B31 Oscillation damping	30 %
B32 SLVC-dynamics	300 ms
B46 Observer feedback	1,010
B47 Proportional part of speed approximation	1,000
B48 Integral part of speed approximation	50,000
B55 Magnetic saturation coefficient	0,300
B56 Proportional part of voltage controller	10,0 %
B57 Integral part of voltage controller	10,0 %
B58 Proportional part of flux controller	20,0 %
B59 Updating current controller gain	0: Inactive
B60 Daturation coefficient current controller	
B60[0] Daturation coefficient current controller	0,50 %
B60[1] Daturation coefficient current controller	0,00 %
B63 Mmax/Mnom	2,5
B91 Field weakening	1: Active
B92 Voltage limit field weakening	80 %
B93 Integral gain for field weakening	100,0 %
C11 Maximal zulässige Eintriebsdrehzahl	12000 rpm
C33 Lowpass reference speed	0,0 ms
C36 Reference torque/force low pass	1,0 ms
C37 Reference torque filter	25 %
C39 Derating speed controller	100,0 %
C332	<not available>
E98 Ud	<offline>
E99 Uq	<offline>
F102 Torque/force feed forward	0,0 %
F103 Starting torque/force when releasing brake	<offline>

- Silniki synchroniczne serwo
- Sterowanie wektorowe



- Obwody pętli regulacji (systemy) są zoptymalizowane...
 - ... od wewnątrz na zewnątrz
 - ... od siłownika do wartości zadanej
 - ... po jednym na raz



- Kontrola pozycji używana przez:
 - Aplikację Drive Based
 - Komendy MC_MoveAbsolute, MC_MoveRelative, MC_MoveAdditive
 - Aplikacje CiA 402
 - Tryby operacyjne: Profile position; Cyclic synchronous position
 - Jog
 - Tryby operacyjne: Position control
- Zawsze wymagana jest kontrola prędkości
 - (Zawsze wymagane jest również sterowanie prądowe ze sterowaniem wektorowym)



- Zoptymalizuj 80% wszystkich aplikacji za pomocą tylko 5 parametrów :
 - C34
 - C31, C32
 - I20, I25
- STÖBER standardowe silniki
 - Silniki synchroniczne serwo ED, EK, EZ (ES)
 - Lean motors LM
 - C34 jest ustawiany automatycznie
 - Silniki asynchroniczne IE2, IE3
 - Sterowanie wektorowe (z encoderem)



- SD6 standardowy przypadek
- SD6A02
- EZ301
 - ECI 1118-G2
 - EQN 1135
- Lekki dysk jako masa zewnętrzna
- oprogramowanie V 6.4-D





- Nie zmieniać!!!
 - Dla standardowych silników Stober (catalog)
 - Ustawienia zależą od silnika i uzwojenia
 - Kalibrowany w ośrodkach badawczych Stober
 - Zawarte w bazie danych silników DS6 i elektronicznej tabliczce znamionowej
- Nie jesteś pewien czy obecny kontroler działa tak, jak powinien?
 - Zrób Scope dla wartości zadanej i aktualnej I_q
 - Czy rzeczywista wartość E93 jest zgodna z wartością E166?
(Jeśli to konieczne sprawdź obciążony zamiast nieobciążonego)

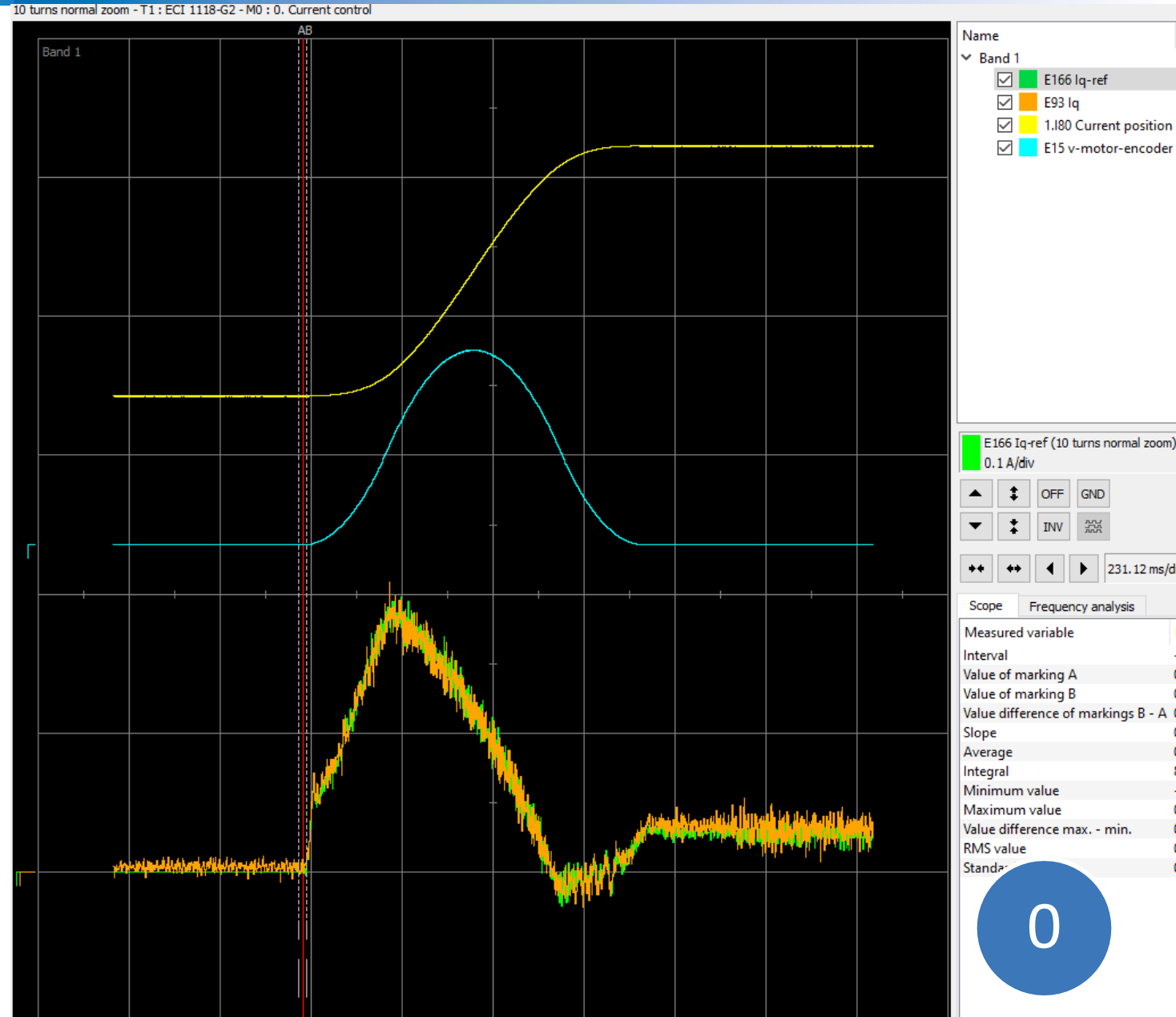
Krok 0: Regulator prądowy

- Scope (wykres)
 - Domyślne nastawy parametrów
 - E166, E93, czas 250 us
 - Wysoki poziom powiększenia
 - Wygląda dziwnie?



Krok 0: Regulator prądowy

- Scope
 - E166, E93, czas 250 us
 - Normalny poziom powiększenia
 - Nie, wszystko jest w porządku.

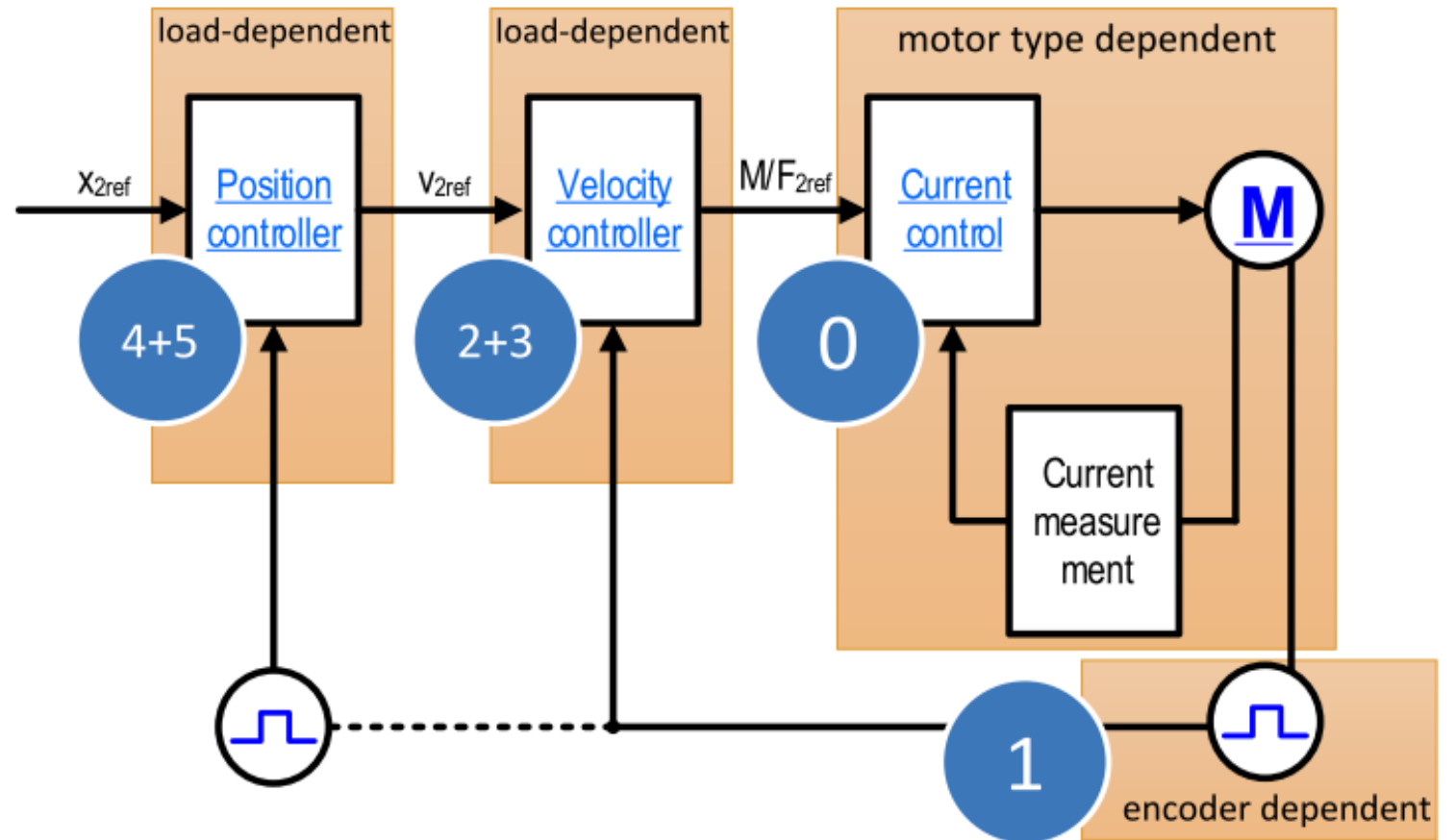


- Wnioski
 - Aktualne ustawienia sterownika zależą **tylko** od typu silnika.
 - Aktualne ustawienia kontrolera **NIE** zależą od obciążenia ani aplikacji.
 - Regulatory prądu są doskonale ustawione dla standardowych silników STÖBER (konfiguracja projektu, elektroniczna tabliczka znamionowa)

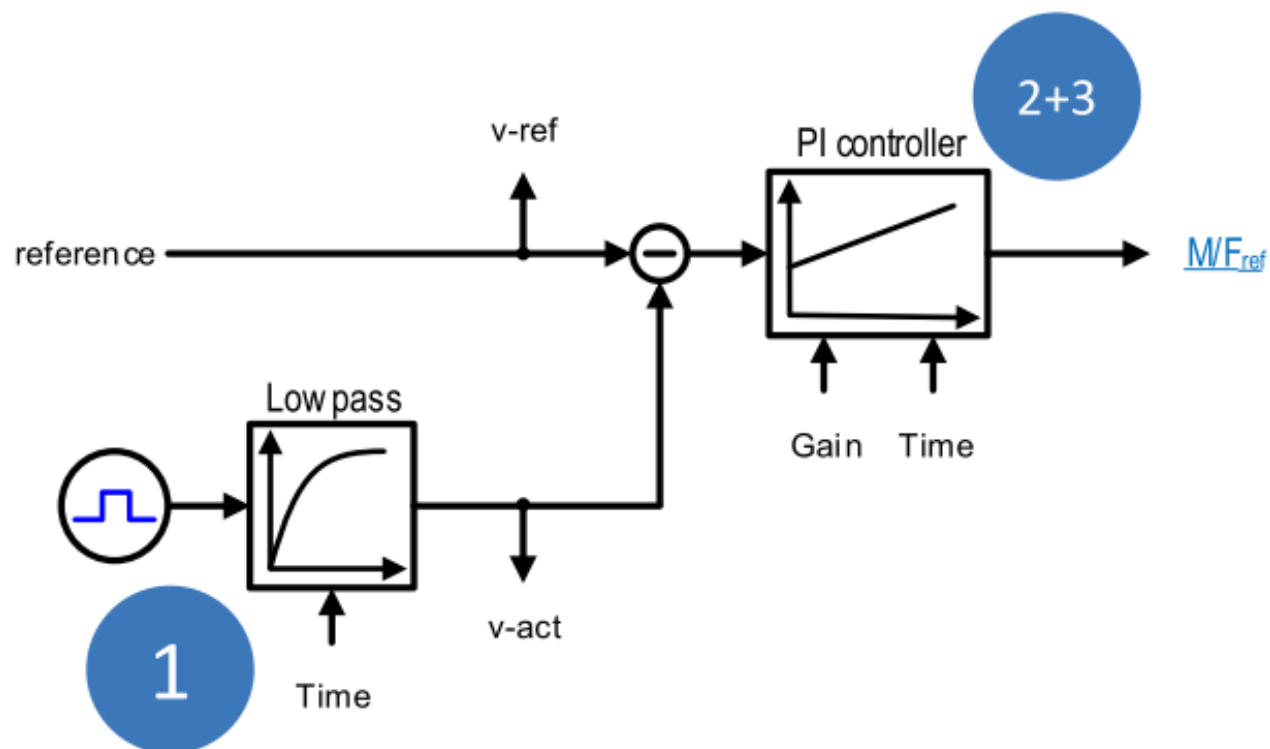
⇒ Regulatory prądu wymagają jedynie dostosowania do silników innych producentów.



- Obwody pętli regulacji (systemy) są zoptymalizowane...
 - ... od wewnątrz na zewnątrz
 - ... od siłownika do wartości zadanej
 - ... po jednym na raz



Kroki 1-3: Regulator prędkości



- C34 Aktualna prędkość silnika filtr dolnoprzepustowy
 - Wybierz wystarczająco wysoki, aby zminimalizować szum pomiaru i kwantyzacji
 - Wybierz jak najniżej, aby uniknąć niepotrzebnego czasu martwego.
 - Długie czasy martwe
 - Robią system niestabilny
 - Redukują dynamikę
 - Bezpośredni wpływ na możliwą maksymalną intensywność

Krok 1: Regulator prędkości: Filtruj w czasie rzeczywistym

- Nie jestem pewien, czy koder jest wystarczający ?
 - Ustaw C34 = 0
 - Scope podczas zezwolenia (zatrzymania wybiegiem; brak szybkiego zatrzymania)
- Scope
 - E15, czas 250 us
 - ECI 1118-G2

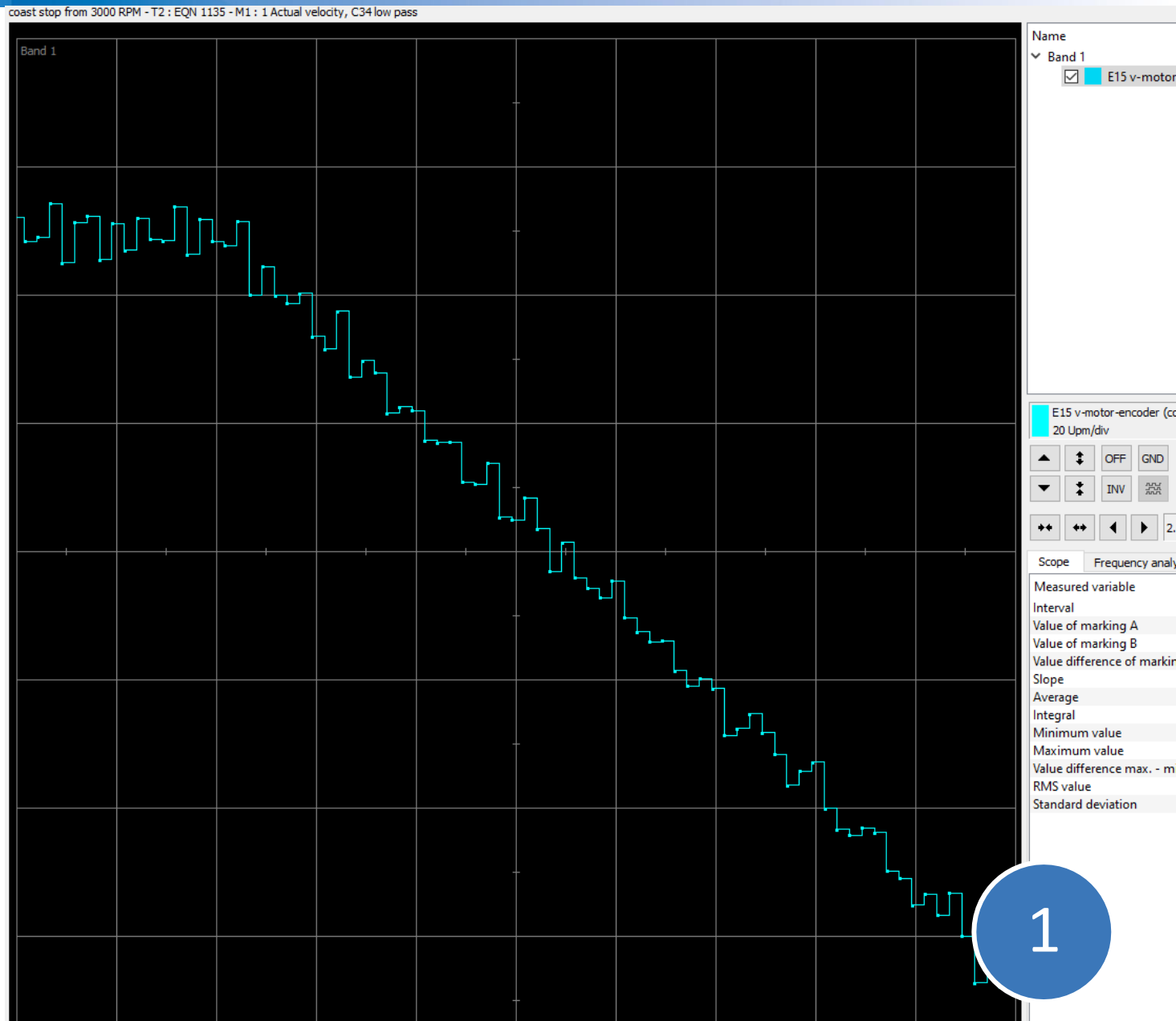


coast stop from 3000 RPM - T1: ECI 1118-G2 - M1: 1 Actual velocity, C34 low pass



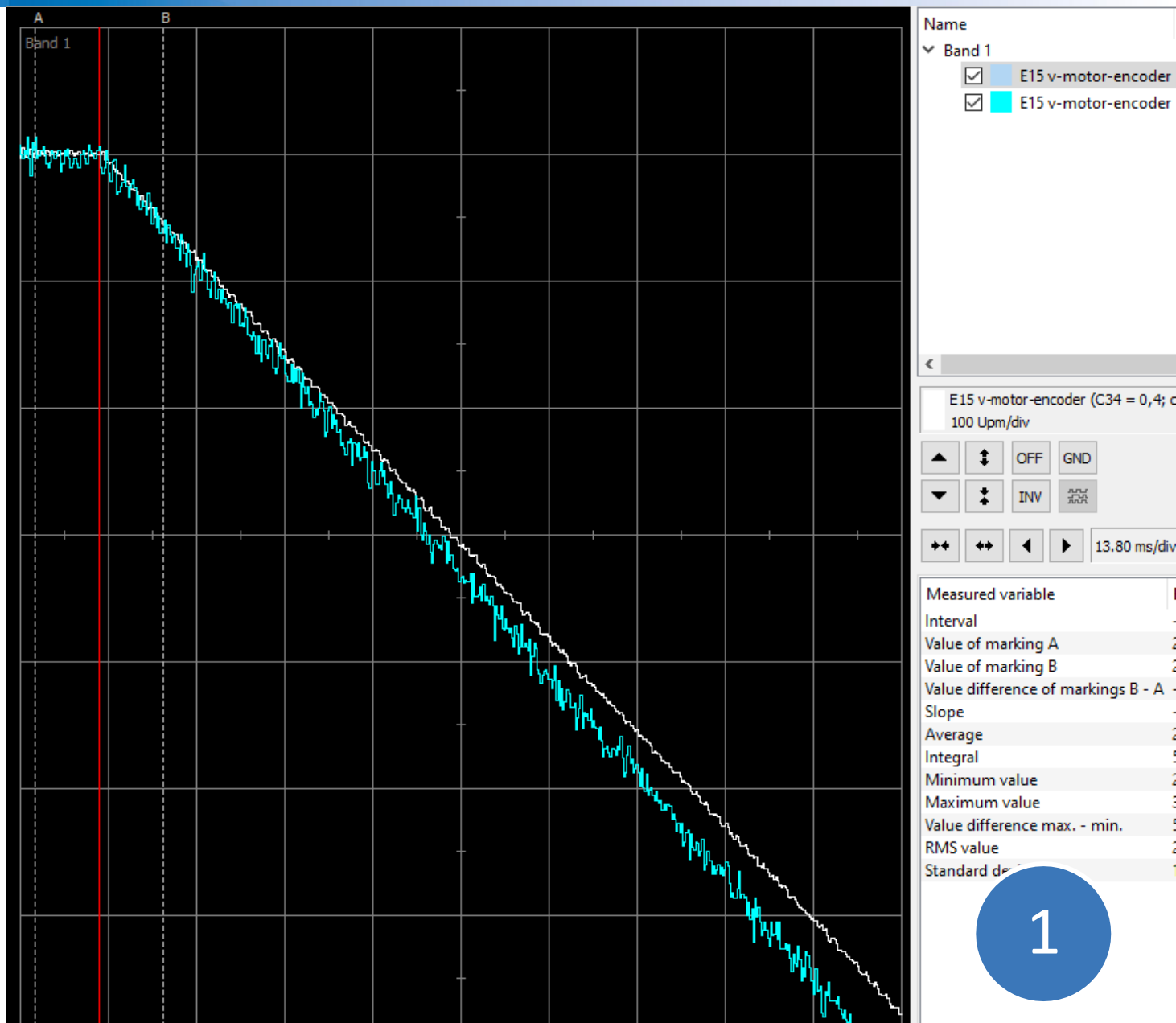
Krok 1: Regulator prędkości: Filtruj w czasie rzeczywistym

- Nie jestem pewien, czy koder jest wystarczający?
 - Ustaw C34 = 0
 - Scope podczas zezwolenia (zatrzymania wybiegiem; brak szybkiego zatrzymania)
- Scope
 - E15, czas 250 us
 - EQN 1135



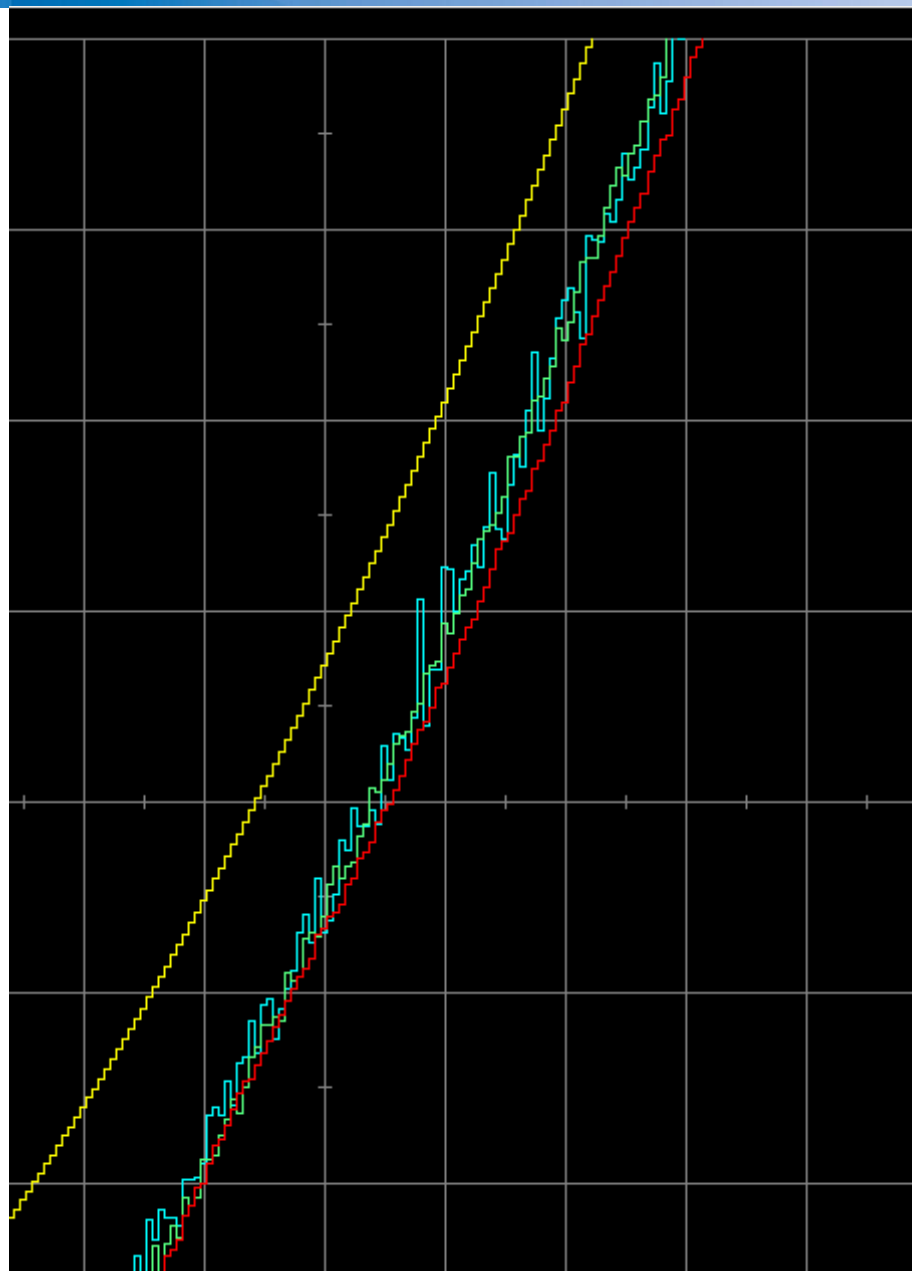
Krok 1: Regulator prędkości: Filtruj w czasie rzeczywistym

- Jak dobry będzie E15 z filtrami?
 - Ustaw $C34 = 0.4$ (biała linia)
 - Scope podczas zezwolenia (zatrzymania wybiegiem; brak szybkiego zatrzymania)
- Scope
 - E15, czas 250 us
 - ECI 1118-G2



Krok 1: Regulator prędkości: Filtruj w czasie rzeczywistym

- Różne filtry dla dynamiki ?
 - Ustaw C34 = 0.4 | 1 | 3
 - Scope podczas przyspieszania
- Scope
 - E15, czas 250 us
 - ECI 1118-G2



Name Image

Band 1

- ☒ E06 V-reference motor C34 = 0.4;
- ☒ E15 v-motor-encoder C34 = 0.4;
- ☒ E15 v-motor-encoder C34 = 1; st
- ☒ E15 v-motor-encoder C34 = 3; st

E15 v-motor-encoder (C34 = 3; start from 0 RPM)
5 Upm/div

▲ ▼ OFF GND
▼ ▲ INV

5.00 ms/div

Measured variable	E15 v-motor
Interval	-10.00 ms -
Value of marking A	0.010 Upm
Value of marking B	0.246 Upm
Value difference of markings B - A	0.236 Upm
Slope	11.803 Upm
Average	18 Upm
Integral	129 Upm
Minimum value	8 Upm
Maximum value	6 Upm
Value difference max. - min.	0.314 Upm
RMS value	0.050 Upm

- C34: zalecane wartości dla standardowych enkoderów

C34 | Actual motor speed low pass | V0

Filter time constant for the actual velocity of the motor encoder (display: E15).

C34 affects the smooth operation of the motor and the dynamics that can be achieved with the drive; as C34 increases, smooth operation rises and the dynamics drop.

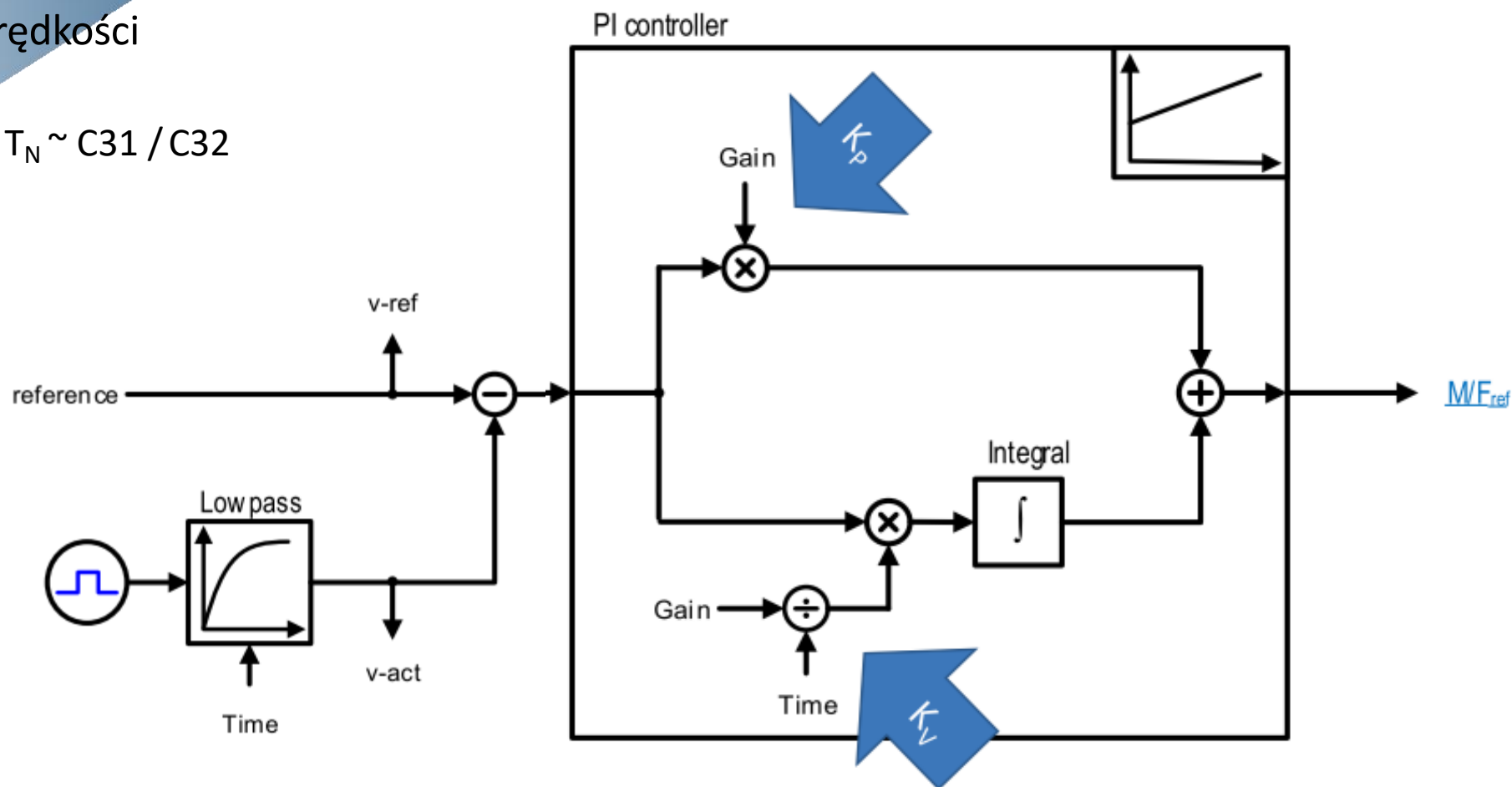
Encoders	Evaluation	Guide value C34 [ms]
ECN 1113, EQN 1125	EnDat 2.1 digital	0.8 – 1.2
EQN 1325	EnDat 2.1 digital	0.8 – 1.2
ECI 1118-G1, EQI 1130	EnDat 2.1 digital	1.4 – 1.8
ECI 1319, EQI 1329, EQI 1331	EnDat 2.1 digital	1.2 – 1.8
ECI 1119, EQI 1131	EnDat 2.2 digital	0.4 – 0.6
ECI 119, EBI 135	EnDat 2.2 digital	0.4 – 0.6
ECN 1123, EQN 1135	EnDat 2.2 digital	0.1 – 0.4
ECN 1325, EQN 1337	EnDat 2.2 digital	0.0 – 0.2
ECI 1118-G2, EBI 1135	EnDat 2.2 digital	0.4 – 0.6
EQN 1125	EnDat 2.1 sin/cos	0.4 – 0.8
EQN 1325	EnDat 2.1 sin/cos	0.2 – 0.8
EKM 36	HIPERFACE DSL	0.4 – 0.6
Resolver, 2-pin	Analog	1.4 – 2.0
Incremental 1024	HTL/TTL	2.0
Incremental 2048	HTL/TTL	1.4
Incremental 4096	HTL/TTL	0.8

Krok 1: regulator prędkości

- C34 dla silników Lean Motor: DO **NOT** TOUCH!!!
 - Ustawiane przez firmware



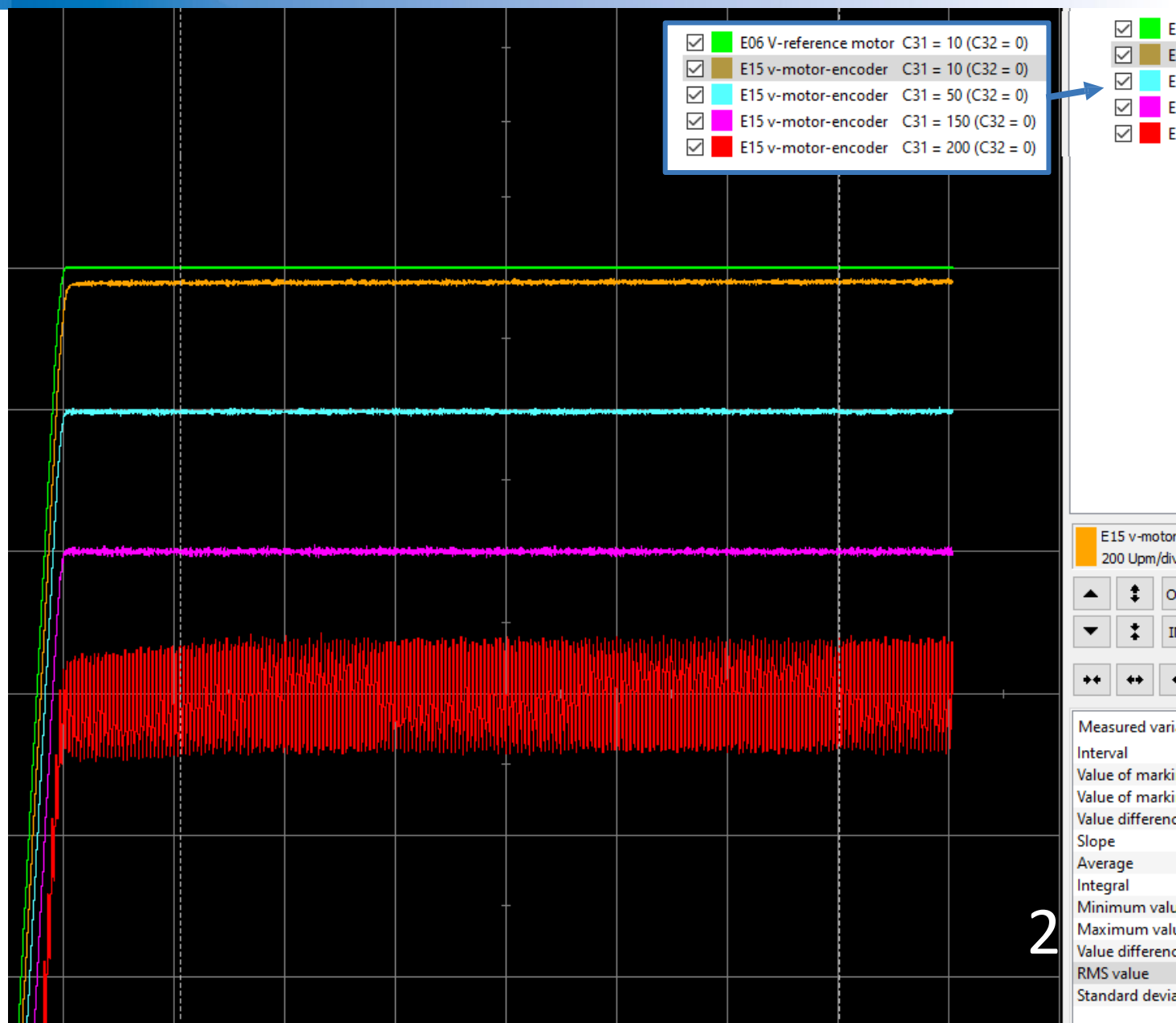
- Regulator prędkości
 - $K_p = C31$
 - $K_v \sim K_p / T_N \sim C31 / C32$



- $K_p = C31$ Wzmocnienie proporcjonalne regulatora prędkości
 - Standardy regulacji:
 1. Zaczynij od domyślnej wartości
 2. Ustaw $C32 = 0$: Człon całkowania dezaktywowany
 - Ten krok jest zgodny z klasyczną doktryną: praca bez członu całkowania może być pomocna dla potencjalnie niestabilnych systemów.
 - W przypadku stabilnych systemów można użyć domyślnego $C32$
 3. Zwiększ $C31$, aby znaleźć granicę stabilności.
 4. Wybierz $C31$ około 10% poniżej granicy stabilności.
 - Scope
 - E15 aktualna prędkość
 - E06 zadana prędkość

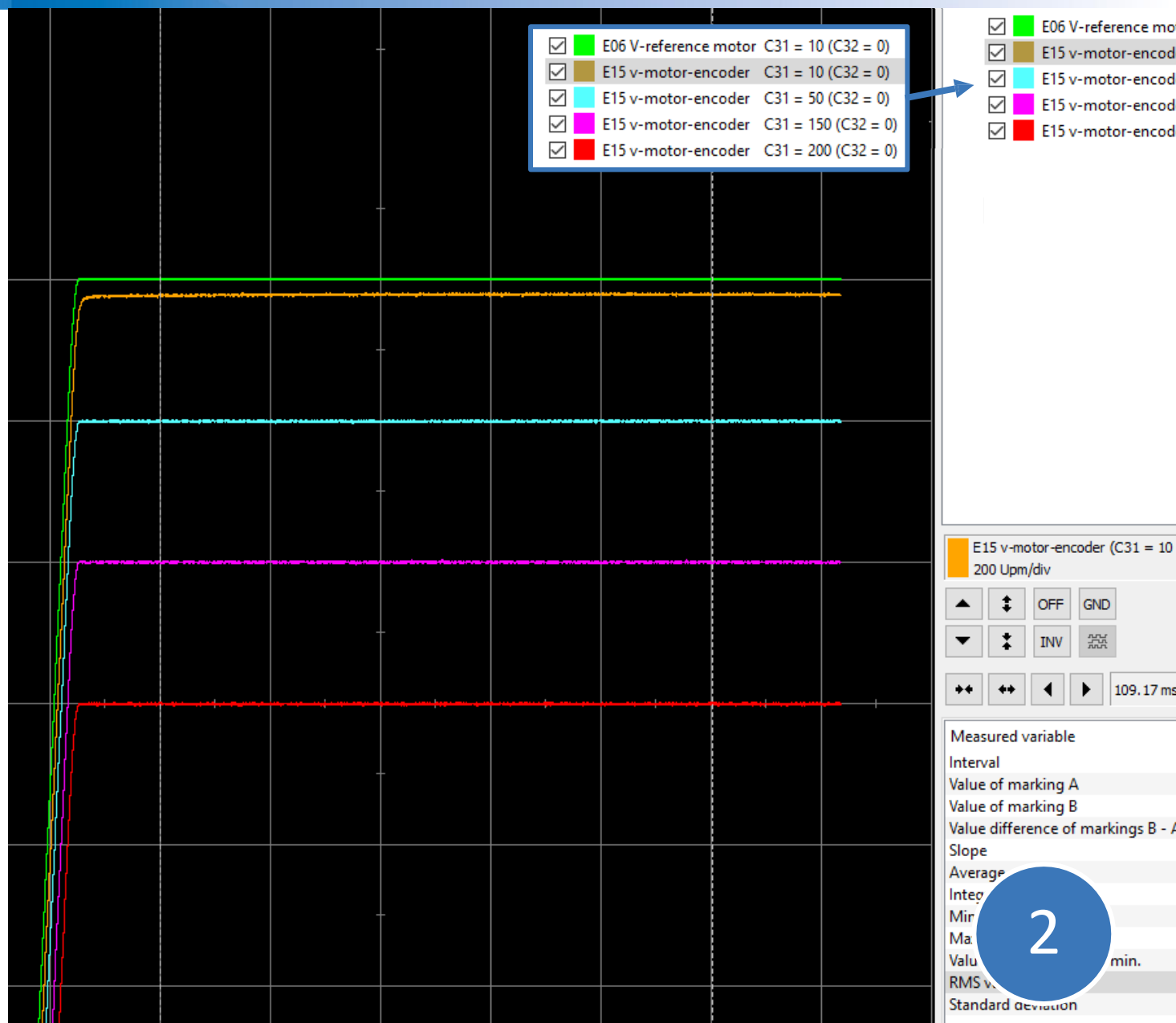
Krok 2: Regulator prędkości: wzmocnienie proporcjonalne

- Granica stabilności ?
 - $C31 = 10 \mid 50 \mid 150 \mid 200$
- Scope
 - E15, E06, czas 250 us
 - ECI 1118-G2 ($C34 = 0.4 \text{ ms}$)
 - $v = 18000 \text{ }^\circ/\text{s}$
 - acc, dec = $180000 \text{ }^\circ/\text{s}^2$
 - $j = 18\text{E}+6 \text{ }^\circ/\text{s}^3$



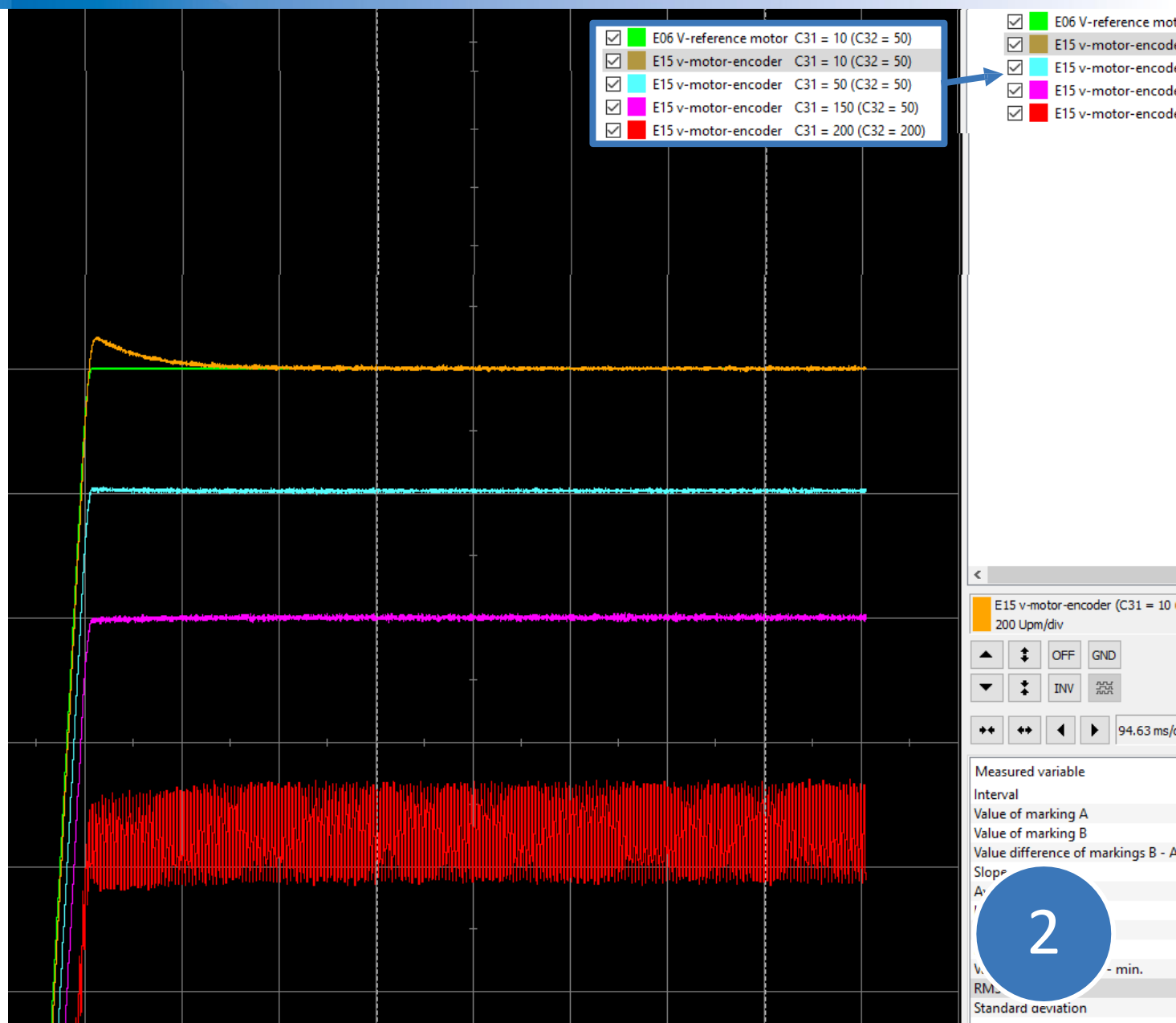
Krok 2: Regulator prędkości: wzmocnienie proporcjonalne

- Granica stabilności
- z lepszym enkoderem ?
 - C31 = 10 | 50 | 150 | 200
- Scope
 - E15, E06, czas 250 us
 - EQN 1135 (C34 = 0.1 ms)
 - $v = 18000 \text{ }^\circ/\text{s}$
 - $\text{acc, dec} = 180000 \text{ }^\circ/\text{s}^2$
 - $j = 18\text{E}+6 \text{ }^\circ/\text{s}^3$



Krok 2: Regulator prędkości: wzmocnienie proporcjonalne

- Powrót do gorszego enkodera ECI; wpływ wzmocnienia integralnego ?
 - C32 = 50 (domyślnie)
 - C31 = 10 | 50 | 150 | 200
- Scope
 - E15, E06, czas 250 us
 - ECI 1118-G2 (C34 = 0.4 ms)
 - $v = 18000 \text{ }^\circ/\text{s}$
 - $\text{acc, dec} = 180000 \text{ }^\circ/\text{s}^2$
 - $j = 18\text{E}+6 \text{ }^\circ/\text{s}^3$

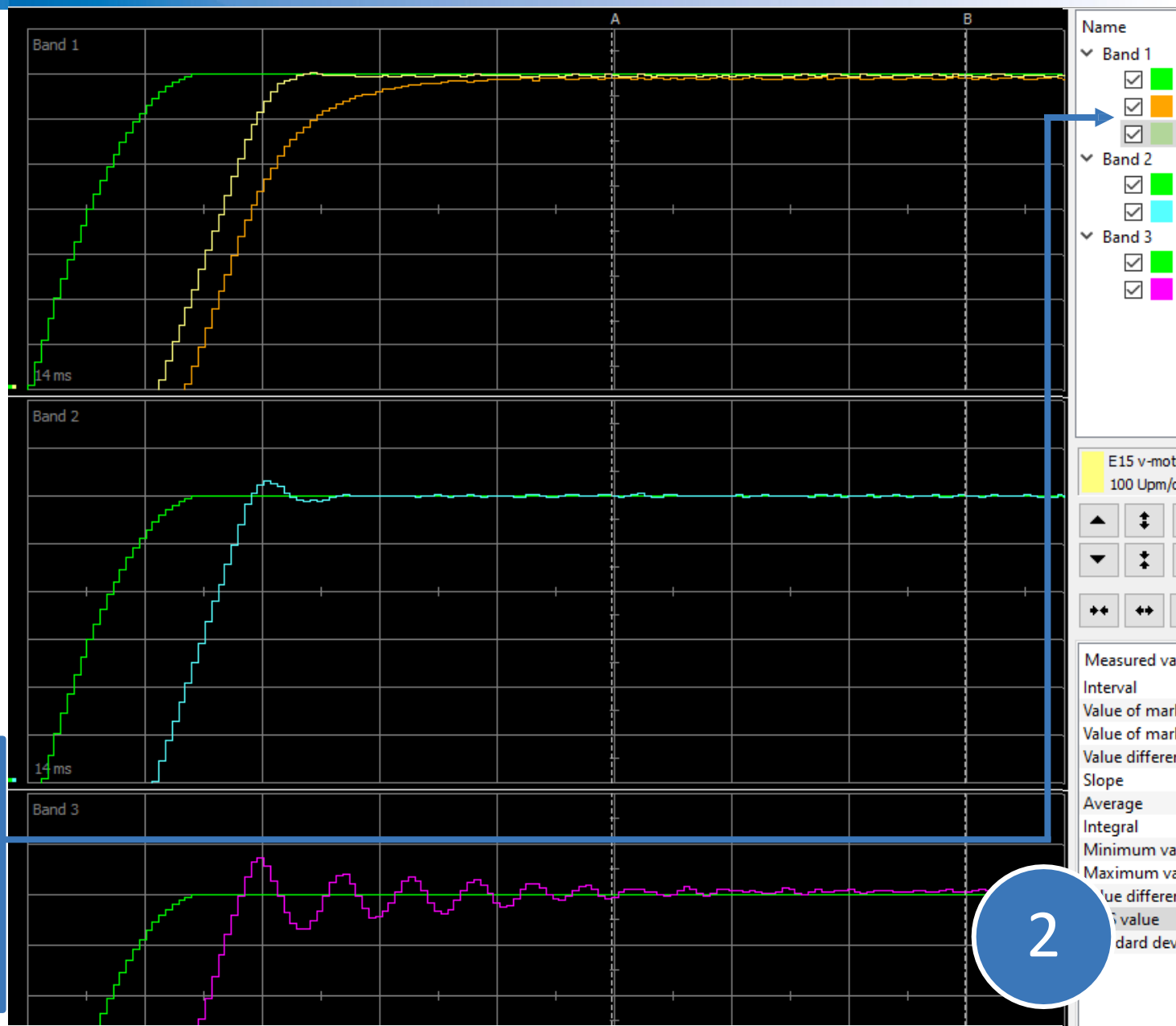


Krok 2: Regulator prędkości: wzmocnienie proporcjonalne

- Bardziej dynamiczne/większe szarpnięcie w ustawionej wartości (i wyższy poziom powiększenia)
 - C31 = 20 | 50 | 100 | 150
- Scope
 - E15, E06, czas 250 us
 - ECI 1118-G2 (C34 = 0.4 ms)
 - $v = 18000 \text{ }^\circ/\text{s}$
 - $\text{acc, dec} = 1800000 \text{ }^\circ/\text{s}^2$
 - $j = 180\text{E}+6 \text{ }^\circ/\text{s}^3$



Band 1		
☒	E06 V-reference motor	C31 = 10 (C32 = 0)
☒	E15 v-motor-encoder	C31 = 10 (C32 = 0)
☒	E15 v-motor-encoder	C31 = 20 (C32 = 0)
Band 2		
☒	E06 V-reference motor	C31 = 20 (C32 = 0)
☒	E15 v-motor-encoder	C31 = 50 (C32 = 0)
Band 3		
☒	E06 V-reference motor	C31 = 150 (C32 = 0)
☒	E15 v-motor-encoder	C31 = 150 (C32 = 0)



- $K_V \sim K_P / T_N \sim C31 / C32$
- C31 Wzmocnienie proporcjonalne regulatora prędkości
 - Został już ustawiony w kroku 2 = 20 %
- C32 Czas całkowania regulatora prędkości
 - Standard regulacji :
 1. Zacznij od domyślnej wartości.
 2. Zmniejsz C31 aby regulować szybciej ALE:
 - Od 1 ms udział całkowy zostanie dezaktywowany, co oznacza, że cel nie zostanie osiągnięty .
 - Scope
 - E15 rzeczywista prędkość
 - E06 zadana prędkość

Krok 3: Kontroler prędkości: wzmocnienie całkowania

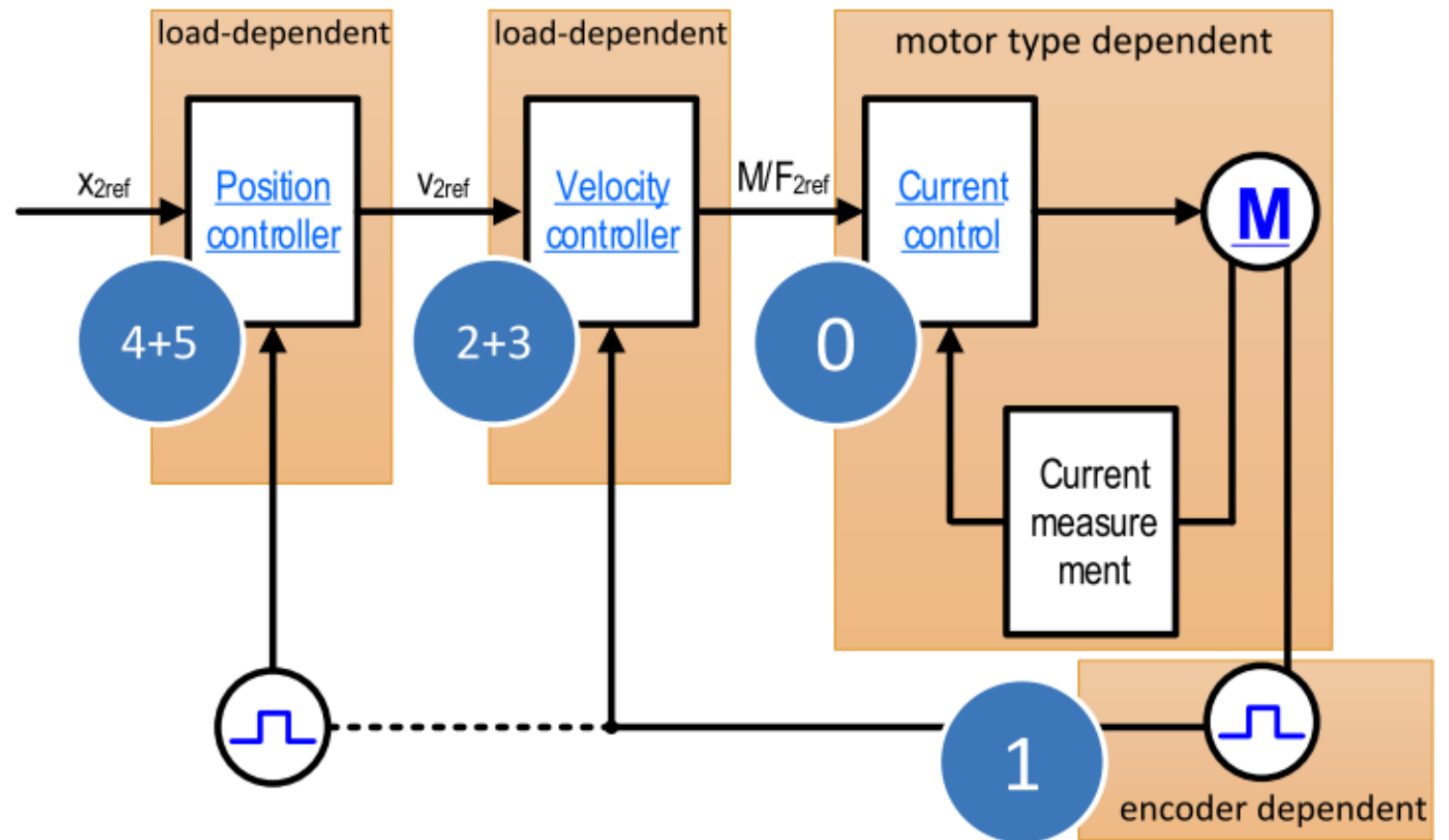
- Reguluj szybciej?
 - $C32 = 0 \mid 1 \mid 10 \mid 50 \mid 100$
 - $C31 = 20$
- Scope
 - E15, E06, czas 250 us
 - ECI 1118-G2 ($C34 = 0.4 \text{ ms}$)
 - $v = 18000 \text{ }^\circ/\text{s}$
 - $\text{acc, dec} = 1800000 \text{ }^\circ/\text{s}^2$
 - $j = 180\text{E}+6 \text{ }^\circ/\text{s}^3$



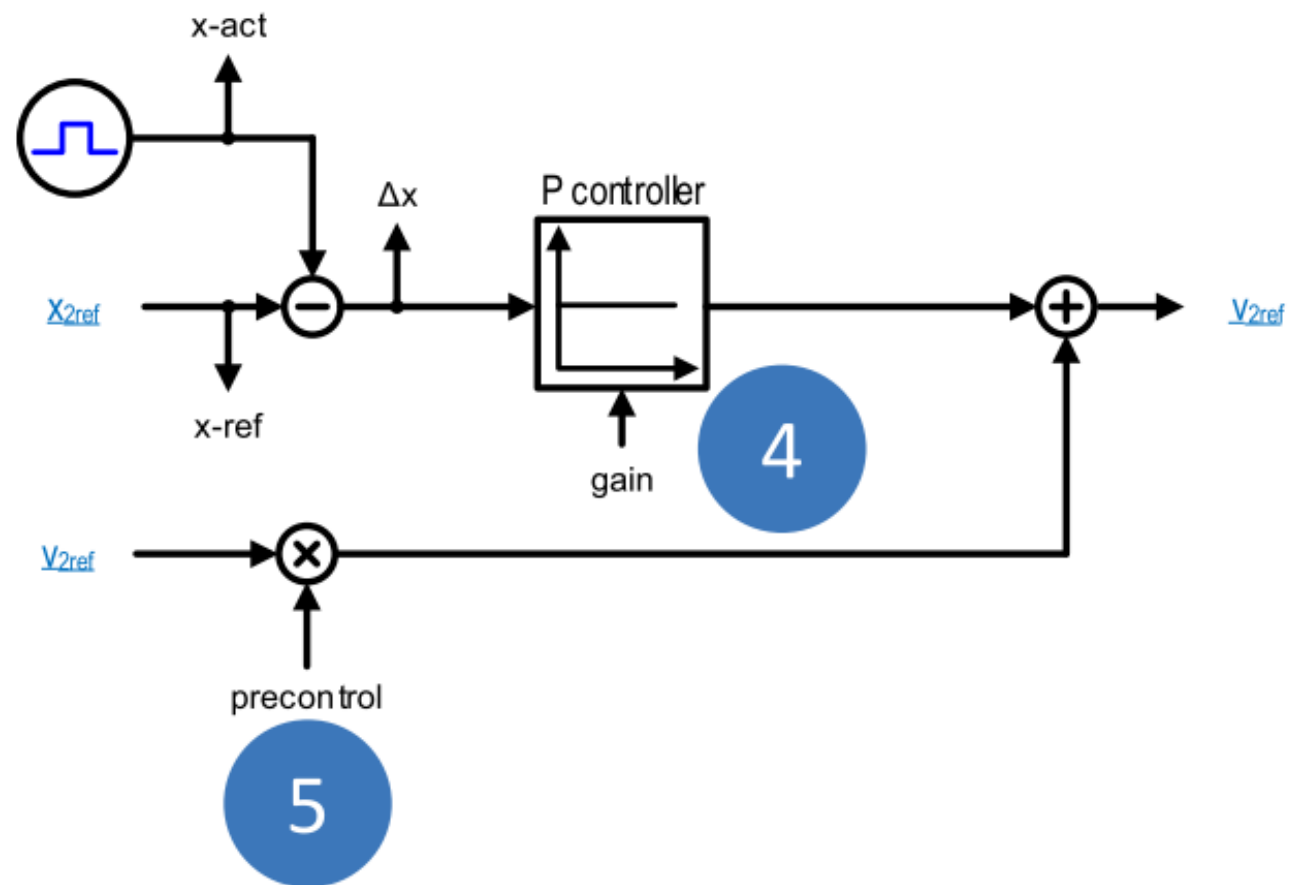
- Wnioski
 - Proste enkodery muszą być bardziej filtrowane.
 - Zwiększona filtracja skutkuje niższym maksymalnym możliwym wzmocnieniem.
 - Domyślne ustawienia wzmocnienia są wystarczające dla prostych aplikacji.
 - W celu zwiększenia dynamiki wymagana jest zwiększona filtracja.
 - Bez wzmocnienia całkowania, brak dokładności stacjonarnej: ustawiona prędkość nie zostanie osiągnięta.



- Obwody pętli regulacji (systemy) są zoptymalizowane...
 - ... od wewnątrz na zewnątrz
 - ... od siłownika do wartości zadanej
 - ... po jednym na raz
- Brak kontrolera pozycji ?
 - Ustaw tryb Jog (jazda ręczna)
I26 = velocity control
 - Zrobione!



- Regulator Pozycjonowania



- I20 Wzmocnienie proporcjonalne:
 - Standard regulacji:
 1. Zacznij od wartości domyślnej.
 2. Zwiększaj I20 do granicy stabilności.
 3. Ustaw I20 o 10 % mniej niż granica stabilności.
 - Scope
 - I96 zadana pozycja
 - I80 aktualna pozycja
 - E15 aktualna prędkość
 - E06 zadana prędkość

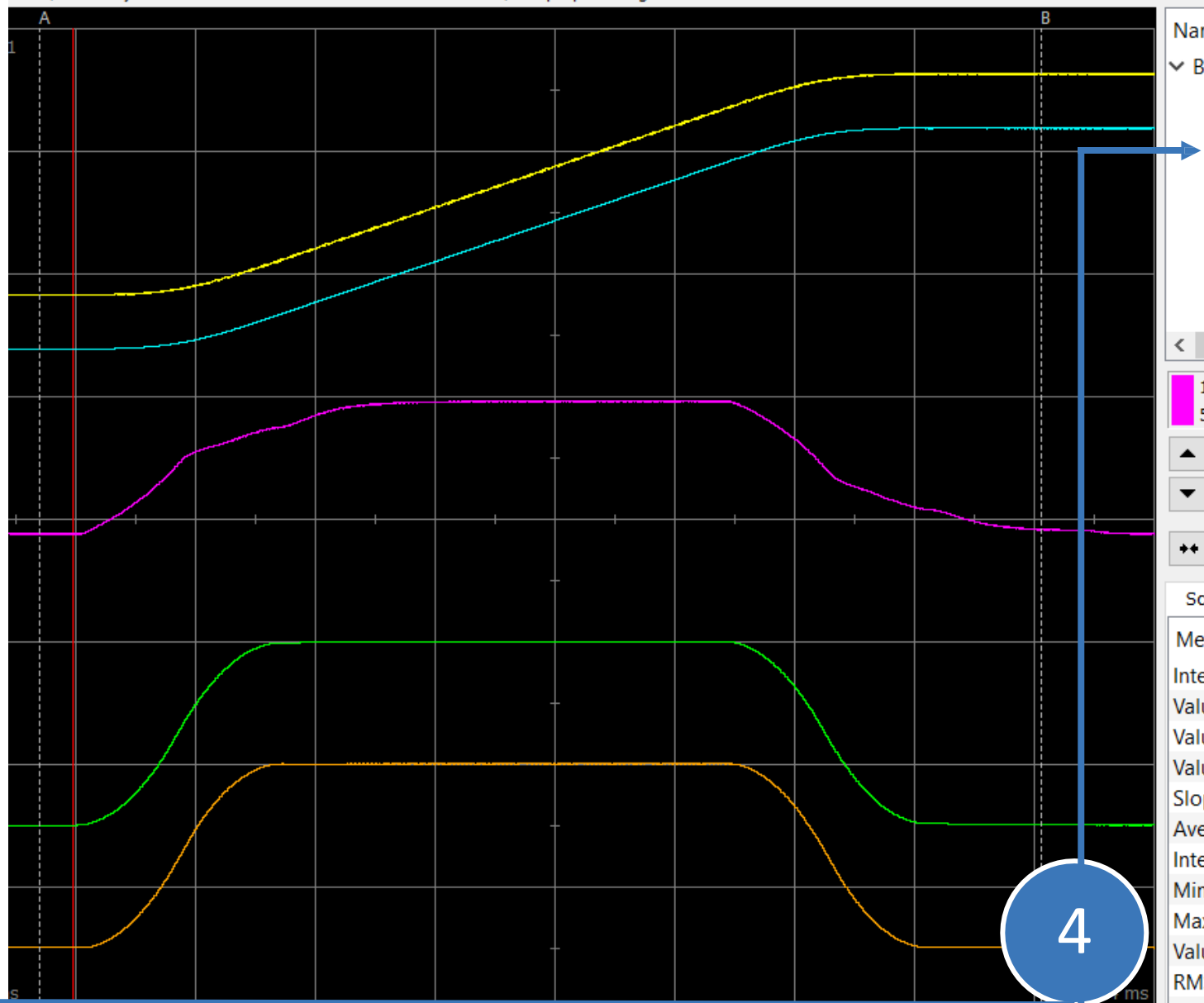
Krok 4: Regulator pozycjonowania: wzmacnienie proporcjonalne

- Wygląda dobrze?
 - I20 = 10 (domyślnie)
 - C32 = 10
 - C31 = 20
- Scope
 - E15, E06, czas 250 us
 - ECI 1118-G2 (C34 = 0.4 ms)
 - $v = 18000 \text{ }^\circ/\text{s}$
 - $\text{acc, dec} = 1800000 \text{ }^\circ/\text{s}^2$
 - $j = 18\text{E}+6 \text{ }^\circ/\text{s}^3$



- ☒ E06 V-reference motor
- ☒ E15 v-motor-encoder
- ☒ 1.I96 Reference position
- ☒ 1.I80 Current position
- ☒ 1.I84 Following error

1=20, C32=10) - T1 : ECI 1118-G2 - M4 : 4 Position controller, I20 propotional gain

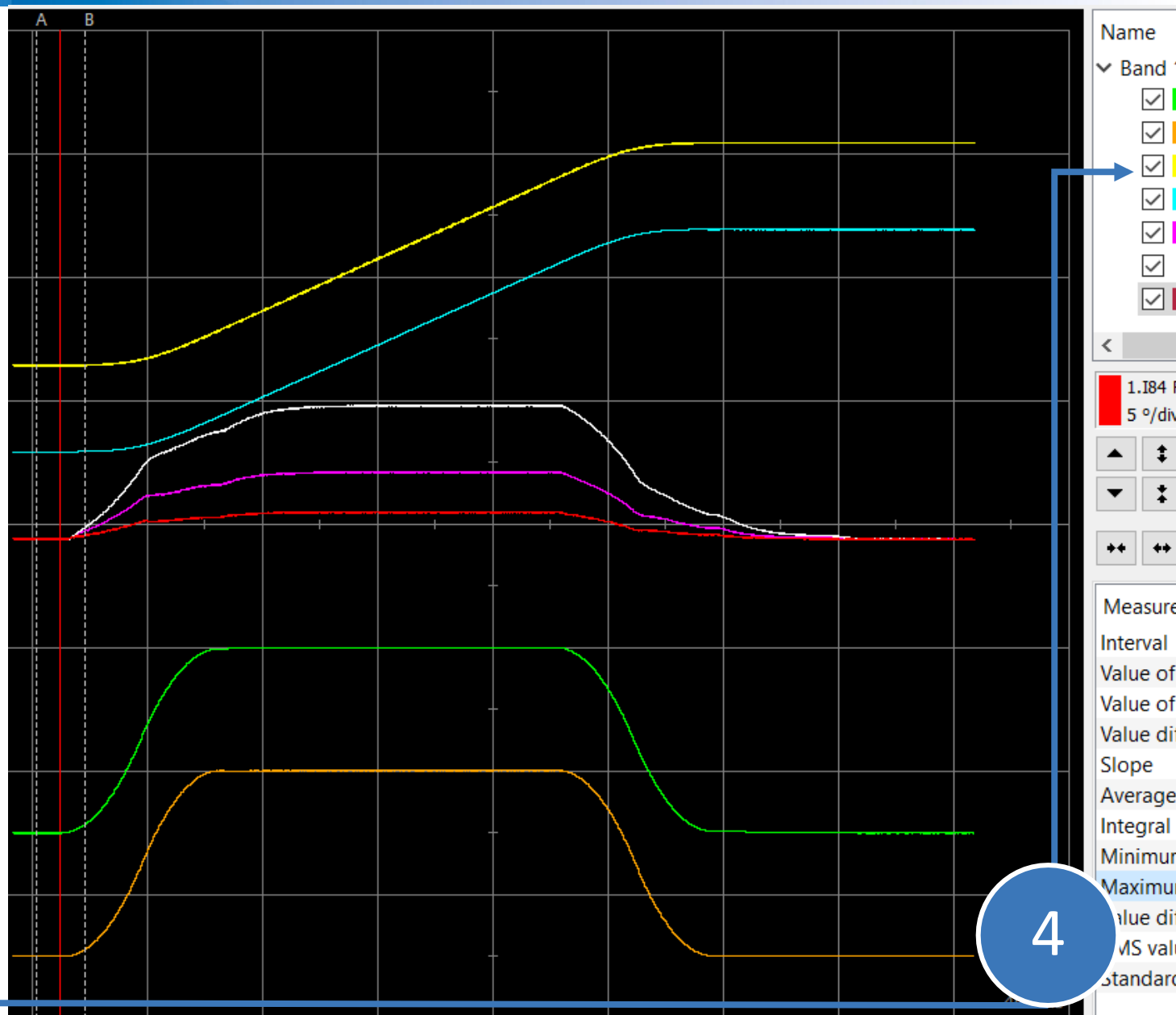


Krok 4: Regulator pozycjonowania: wzmacnienie proporcjonalne

- Większe nastawy, mniej błędu uchybu (following error)?
 - $I20 = 10 \mid 20 \mid 50$ (5.4 $\mid$ 2.7 $\mid$ 0.15)
 - $C32 = 10$
 - $C31 = 20$
- Scope
 - E15, E06, czas 250 μ s
 - ECI 1118-G2 ($C34 = 0,4$ ms)
 - $v = 18000$ $^{\circ}/s$
 - $acc, dec = 1800000$ $^{\circ}/s^2$
 - $j = 18E+6$ $^{\circ}/s^3$



- ☒ E06 V-reference motor
- ☒ E15 v-motor-encoder
- ☒ 1.196 Reference position
- ☒ 1.180 Current position
- ☒ 1.184 Following error
- ☒ 1.184 Following error
- ☒ 1.184 Following error



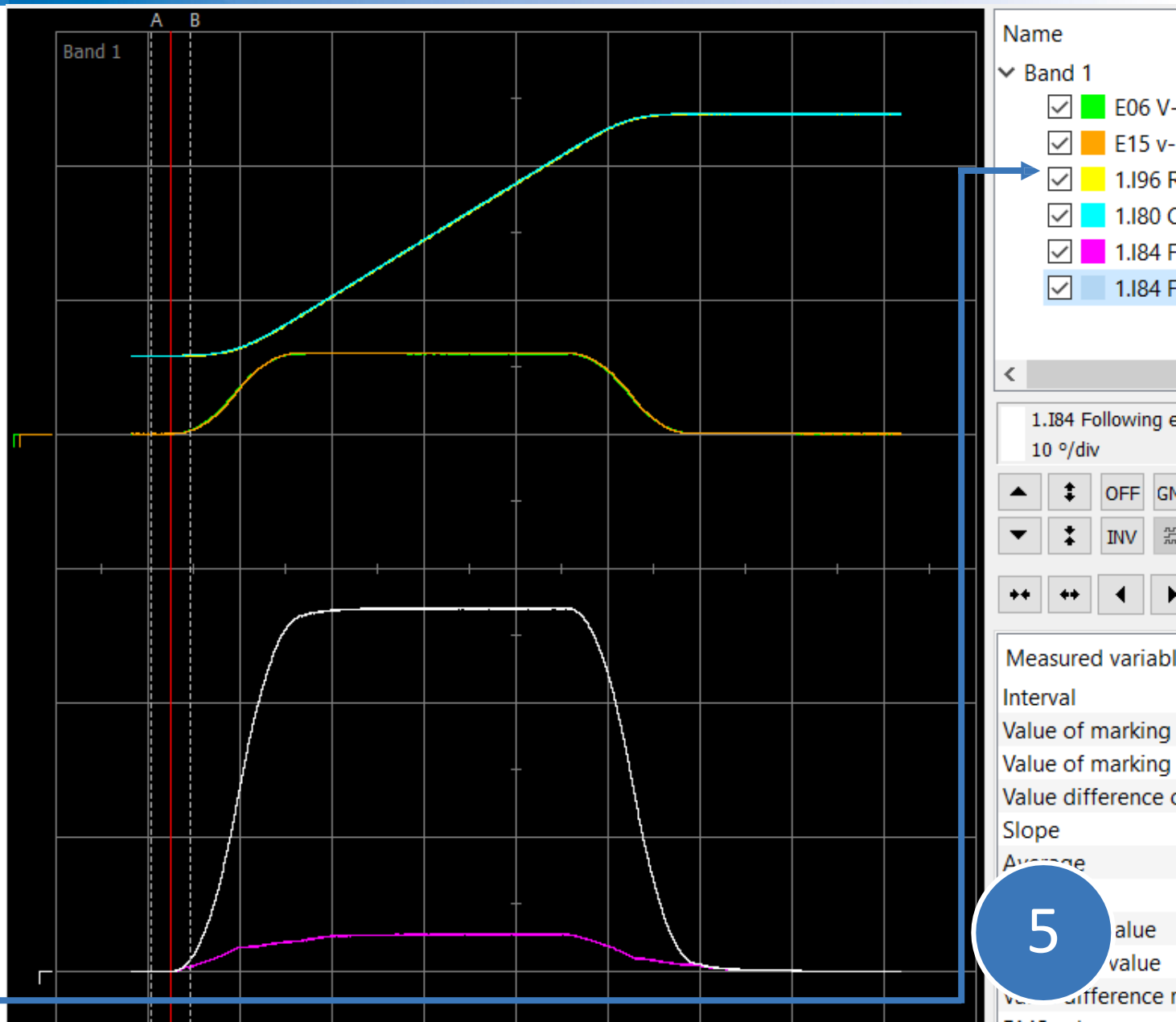
- Regulator ruchu oblicza prędkość zadaną dodatkowo do zadanej pozycji
 - Dla ruchów opartych o kontroler jest to opcjonalnie wykonywane przez kontroler ruchu
- I25 Sprężenie wyprzedzające określa ile z tego należy przestać bezpośrednio do regulatora prędkości
 - Redukcja błędu uchybu
 - Rosnąca tendencja do przeregulowania
- Standard regulacji:
 1. Zacznij od wartości domyślnej.
 2. Zmniejsz I25, jeśli oscyluje

Krok 5: Regulator pozycjonowania: Sterowanie wyprzedzające regulatora prędkości

- Z oraz „bez“
 - I25 = 95 | 50 | (2.7 | 27)
 - I20 = 20
 - C32 = 10, C31 = 20
- Scope
 - E15, E06, czas 250 us
 - ECI 1118-G2 (C34 = 0.4 ms)
 - $v = 18000 \text{ }^\circ/\text{s}$
 - $\text{acc, dec} = 1800000 \text{ }^\circ/\text{s}^2$
 - $j = 18\text{E}+6 \text{ }^\circ/\text{s}^3$



- ☒ E06 V-reference motor
- ☒ E15 v-motor-encoder
- ☒ 1.196 Reference position
- ☒ 1.180 Current position
- ☒ 1.184 Following error
- ☒ 1.184 Following error



- Wnioski
 - Jeśli regulator prędkości jest dobrze skonfigurowany, regulator położenia nie wymaga dużej optymalizacji.



- I23 Strefa nieczułości regulatora pozycjonowania
 - Połączona mechanika
 - G5 charakter nieczułości
- C36 Filtr dolnoprzepustowy momentu/siły
 - Ogranicz przetężenie, ale w konsekwencji trać dynamikę > stąd mikser C37
- C33 Filtr dolnoprzepustowy prędkości odniesienia (sterownik położenia wyjściowego)
 - Oparte na sterowniku z niską kwantyzacją wartości zadanej
 - Synchroniczny oparty na napędzie z niską przewodnością/rozdzielczością enkodera głównego/master

- Użyj B104 = 0: robust (ogólnie)
 - Ustawienie C30 jest decydujące
 - C30 można również ustawić dla włączonych napędów
 - Optymalizacja przez porównanie I88 podczas rozpędzania/hamowania
 - Optymalizacja najlepsza dla najlepiej dynamicznych operacji
 - Błąd czynnika 2 ma tylko niewielki wpływ na dynamikę
- Użyj tylko B104 = 1: Dynamic kiedy...
 - ... C30 nie może zostać określony.
 - ... obciążenia zmieniają się szybko i szybko.