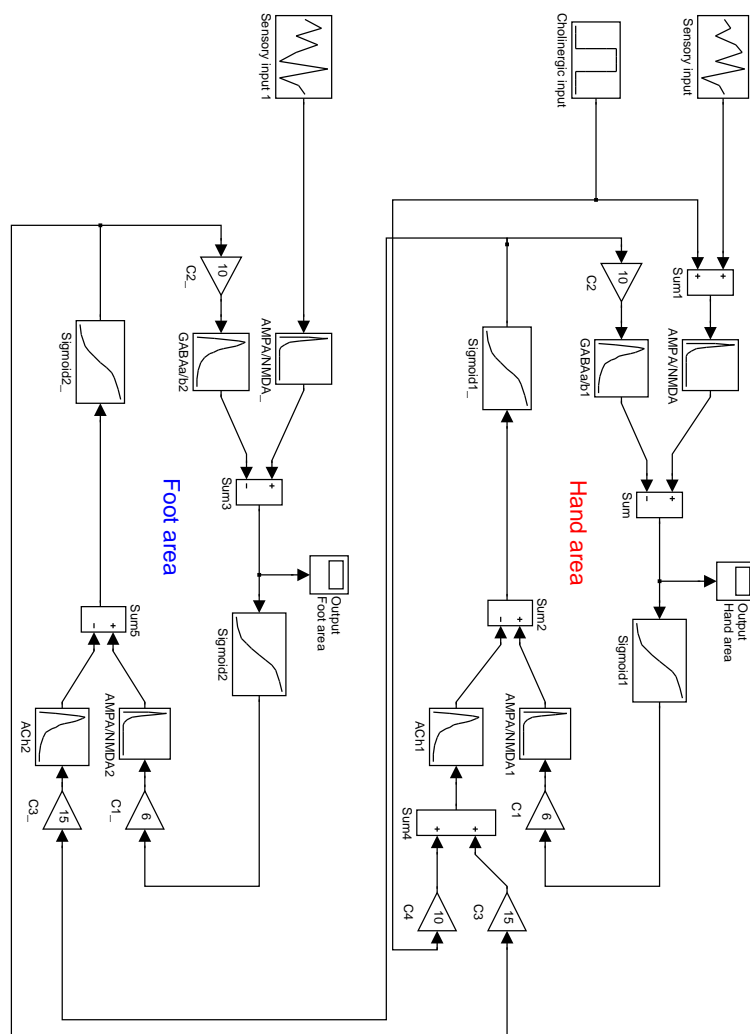


## Ćwiczenie 4: Model ERS/ERD

1. W symulinku zbuduj model zgodnie z poniższym schematem (użyj dwóch modułów modelu rytmu alfa):



oraz poniższego opisu:

**Matematyczny opis modelu:** Następujące wyrażenie wiąże średni potencjał ze średnią gęstością odpalania potencjałów czynnościowych w popu-

lacji neuronów:

$$E(t) = \frac{\lambda_e f_e(V_e(t))}{1 + \lambda_e r_e f_e(V_e(t))} \equiv \lambda_e g_e(V_e(t)) \quad (1)$$

$$I(t) = \frac{\lambda_i f_i(V_i(t))}{1 + \lambda_i r_i f_i(V_i(t))} \equiv \lambda_i g_i(V_i(t)) \quad (2)$$

gdzie zmienne  $E(t)$  i  $I(t)$  są zdefiniowane jako proporcja neuronów pobudzających i hamujących odpalających potencjał czynnościowy w jednostce czasu w czasie  $t$ . Zmienne  $V_e(t)$  i  $V_i(t)$  są średnim potencjałem w populacji pobudzającej i hamującej odpowiednio. Stałe  $\lambda_e$  i  $\lambda_i$  są maksymalnymi częstościami odpalania dla każdej z populacji;  $r_e$  i  $r_i$  są okresami refrakcji bezwzględnej. Zakładając, że  $f(V(t))$  jest sigmoidą również  $g(V(t))$  w równaniach (1) i (2) jest sigmoidą ale o mniejszym nachyleniu. Używamy:

$$g(V) = \begin{cases} g_0 \exp[q(V - V_d)] & \text{if } V \leq V_d \\ g_0 \{2 - \exp[q(V_d - V)]\} & \text{if } V > V_d \end{cases} \quad (3)$$

Parametry sigmoidy były następujące:  $q = 1.5 \text{ mV}^{-1}$ ,  $V_d = 7 \text{ mV}$ ,  $\lambda g_0 = 25 \text{ s}^{-1}$ . Fizjologiczna interpretacja tych parametrów jest następująca. Stała  $\lambda g_0$ , wartość sigmoidy w punkcie przebiecia określa średnią częstość odpalania potencjałów w populacji dla średniego potencjału takiego, że połowa neuronów w populacji osiągnęła próg na odpalanie potencjałów czynnościowych.  $\lambda$  jest maksymalną częstością odpalania potencjałów czynnościowych przez pojedynczy neuron w populacji (nie jest to to samo co maksymalna częstość odpalania potencjałów w całej populacji). Maksymalna częstość odpalania potencjałów dla populacji jako całości  $2\lambda g_0 = 50 \text{ s}^{-1}$  jest nieco niższa niż maksymalna częstość odpalania potencjałów dla pojedynczej komórki.

Stała  $q$  określa nachylenie sigmoidy. Nachylenie sigmoidy jest związane z wariancją progów na odpalanie potencjałów w populacji.

Wartość wybrana tu,  $q = 1.5 \text{ mV}^{-1}$ , odpowiada wartościom otrzymanym eksperymentalnie.  $V_d$  jest średnim progiem na odpalanie potencjałów czynnościowych mierzonym wzg. potencjału spoczynkowego. W modelu Wanga (1994), potencjał spoczynkowy przyjęto  $-65.7 \text{ mV}$  podczas gdy próg jest w przybliżeniu dla potencjału  $-58 \text{ mV}$ , więc  $V_d = 7.7 \text{ mV}$ . To się zgadza z wartością jaką przyjęliśmy dla naszego modelu ( $7 \text{ mV}$ ).

Funkcje odpowiedzi impulsowej,  $h_e(t)$  i  $h_i(t)$ , są dane następującymi wyrażeniami (Lopes da Silva et al., 1974):

$$h_e(t) = A[\exp(-a_1 t) - \exp(-a_2 t)] \quad (4)$$

$$h_i(t) = B[\exp(-b_1 t) - \exp(-b_2 t)] \quad (5)$$

Po transformacji Laplace'a

$$h_e(s) = \frac{A(a_2 - a_1)}{(a_1 + s)(a_2 + s)}$$

$$h_i(s) = \frac{B(b_2 - b_1)}{(b_1 + s)(b_2 + s)}$$

z następującymi parametrami:  $A = 1.6$  mV,  $B = 3.2$  mV,  $a_1 = 55$  s<sup>-1</sup>,  $a_2 = 605$  s<sup>-1</sup>,  $b_1 = 27.5$  s<sup>-1</sup>,  $b_2 = 55$  s<sup>-1</sup>. Dla tych wartości depolaryzujący potencjał postsynaptyczny (PopDPSP) osiąga maksimum około 5 ms a hiperpolaryzujący potencjał postsynaptyczny (PopHPSP) ma pik około 25 ms. Amplitudy  $A$  i  $B$  są dobrane tak, że maksimum PopDPSP ma 1.2 mV a maksimum PopHPSP ma -0.8 mV.

Dokładne oszacowania co do ilości połączeń i współczynniki konwergencji pomiędzy neuronami TCR - RE, RE - TCR i RE - RE nie są obecnie znane. W tym modelu zastosowaliśmy  $c_1 = 6$ ,  $c_2 = 10$  i  $c_3 = 15$ .

Wejścia sensoryczne  $P_1(t)$  i  $P_2(t)$  zostały zamodelowane przez biały szum Gaussowski ze składową stałą. Średnie  $P(t)$  określa średnią ilość impulsów na sekundę (pps) we włóknach wstępujących, a wariancja szumu oddaje zmienność intensywności nadchodzących pulsów. W tym modelu ustawiliśmy średnia 312 pps i wariancję 169 pps<sup>2</sup> dla obu modułów jednakowo. Dla każdego z modułów używamy generatora szumu z innym ziarnem, aby uzyskać niezależne wejścia do każdego z modułów. Wejście modulujące  $M(t)$  jest funkcją schodkową o wartości 8 pps w czasie aktywacji i 0 poza nią. Wzmocnienie  $c_4 = 10$  zwiększało wpływ modulacji na populację RE.

2. Zapuć symulację. Porównaj jakościowo wyjście z każdego z modułów z wyjściem z modelu rytmu alfa.
3. Zastosuj modulację  $M(t) = 8pps$  (czas trwania 3s) do modułu docelowego (np. obszar ręki). Jaki jest wynik? Wyjaśnij zaobserwowany wynik przy pomocy położenia punktu pracy na sigmoidzie w przypadku bez i z modulacją.
4. Zobacz co się dzieje kiedy zmienisz sprzężenie między modułami  $C_3$ . Jakie jest okno wartości tego parametru dla efektu ERD/ERS ?
5. Aby przedstawić zjawisko ERD/ERS w bardziej realistyczny sposób wygeneruj 12 prób po 9s (stymulacja od sek. 3 do 6). Dla każdej próby użyj innych wartości ziarna w generatorach szumu. Następnie zastosuj analogiczny post-processing jak dla EEG ludzi.

Przefiltruj każdą z prób w paśmie 8 – 12 Hz, filtrem Remez FIR (dostępny z toolboxa Signal Processing). Następnie podnieś każdą próbkę do kwadratu. Oblicz średnią po próbach. Oblicz średnią ruchomą z uzyskanego sygnału używając przesuwanego okienka 200ms (próbki w oknie są uśrednione, a następnie okno przesunięte o jedną próbkę). Moc odniesienia ( $R$ ) była obliczona jako średnia pomiędzy pierwszą i trzecią sekundą. Względna moc w każdej chwili czasu była obliczona ze wzoru  $100(A - R)/R[\%]$ . Narysuj wynikowe sygnały, wartości dodatnie to ERS a ujemne ERD. Wybuch aktywności w postaci zwiększonej synchronizacji jest obecny w każdym module po zakończeniu  $M(t)$ . Podobny efekt został zaobserwowany dla pasma beta (postmovement beta ERS (Pfurtscheller et al., 1996, 1997)) oraz dla pasma alfa (Pfurtscheller et al., 1996, 1997)).

W naszym modelu zjawisko wybuchu aktywności jest odpowiedzią układu na skokowy zanik pobudzenia.