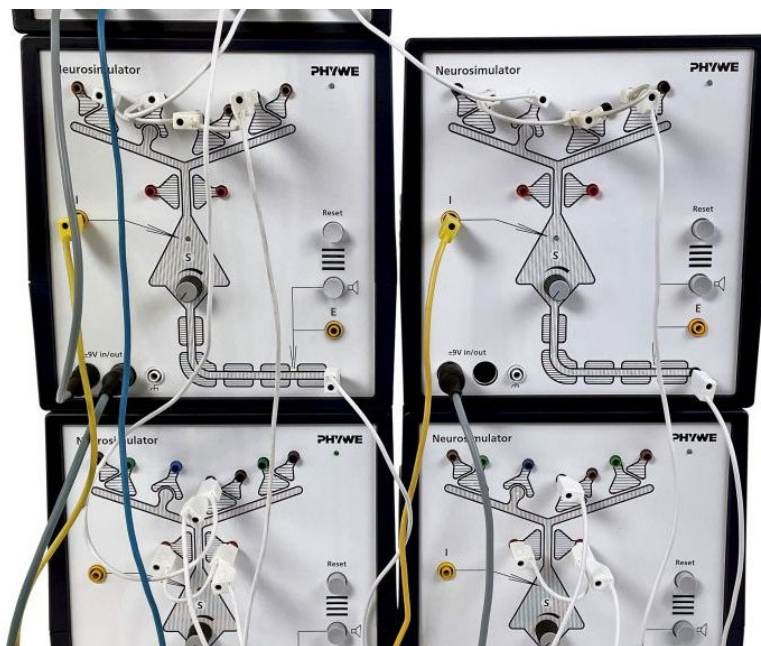


Нейронні мережі з Cobra SMARTsense



Експерименти на тему нейронних мереж. При підготовці до цих експериментів настійно рекомендується заздалегідь виконати експерименти з однією нервовою клітиною і взаємодією нервових клітин з двома нервовими клітинами. Необхідний для цього матеріал вже міститься в цих експериментах з нейронних мереж.

Biology

Nervous system, neurobiology



Рівень складності

важко



Розмір групи

-



Час підготовки

10 хвилини



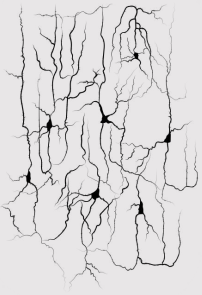
Час виконання

45+ хвилини

This content can also be found online at:



<http://localhost:1337/c/64eef49cbdceea0002f46237>



PHYWE



Загальна інформація

Опис

PHYWE

Мозок людини мозок складається з мільярдів нейронів, з'єднаних синапсами, які передають інформацію у відповідь на електричні та хімічні сигнали.

Ці взаємодії дозволяють мозку виконувати складні функції, такі як пам'ять, сприйняття, рух і мислення.



Типові експериментальні установки з 3 та 4 нервовими клітинами

Додаткова інформація (1/2)

PHYWE

Попередні знання



Два експерименти "Нервова клітина" (P4010769) та "Взаємодія нервових клітин" (P4010869) слід виконати заздалегідь.

Принцип



Навчальна система для проведення експериментів для вивчення нервових клітин, взаємодії нервових клітин та нейронних мереж. Два датчики напруги використовуються для вимірювання сили подразників, що діють на нервові клітини, а також мембранного потенціалу (EPSP), що виникає в результаті різних взаємозв'язків між двома нервовими клітинами.

Додаткова інформація (2/2)

PHYWE

Цілі навчання



У цьому експерименті учні та студенти дізнаються, які складні можливості пропонують нейронні мережі вже тоді, коли три-чотири нервові клітини з'єднані між собою. Назвемо лише два приклади: внутрішній біологічний годинник, який визначає ритм сну та короточасна пам'ять і сенсорне навчання.

Завдання



Експеримент складається з 6 прикладів з широкого світу нейронних мереж, які можна виконувати незалежно один від одного:

(1) Перехідні (фазові) реакції: Фокус зорового сприйняття, (2) Нейронний генератор (внутрішній біологічний годинник)), (3) Циклічне збудження (короточасна пам'ять), (4) Кора головного мозку і сенсорне навчання, (5) Спрямована селективність через одностороннє гальмування і (6) Самокалібрування парних сенсорних каналів.

Інструкції з техніки безпеки

PHYWE



До цього експерименту застосовуються загальні інструкції щодо безпечного проведення експериментів на уроках з природничих наук

Матеріал

PHYWE

Позиція	Матеріал	Пункт №.	Кількість
1	Набір "Нейробіологія з нервовою клітиною" з Cobra SMARTsense	65963-22	1
2	Нейросимулятор	65963-00	3

Теорія 1

PHYWE

Перехідні (фазові) реакції: Фокус зорового сприйняття

Один тип нейронів реагує лише на зміну стимуляції, а не на постійну стимуляцію. Це так звані нейрони ON і OFF (увімкнення та вимкнення). Вони реагують лише на появу та/або зникнення стимулу активацією, яка зазвичай є короткою і тим інтенсивнішою, чим сильнішою є зміна стимулу. Ці два типи нейронів впливають на інші нейрони, наприклад, гангліонарні нейрони зорової сенсорної системи. Крім того, такі нейрони існують також у тактильній та нюховій сенсорних системах. Схема в цьому експерименті - приклад із зорової системи - може бути використана, щоб показати **Взаємозв'язок гангліозних клітин сітківки з амакриновими клітинами**. У сітківці фоторецептори контактують з біполярними клітинами, зазвичай кілька з яких з'єднані з однією гангліозною клітиною кожна. Крім того, фоторецепторні клітини з'єднані між собою за допомогою горизонтальних клітин, а гангліозні клітини - за допомогою амакринових клітин. Таким чином, кожна нервова клітина отримує сигнали від кількох сенсорних клітин, а кожна сенсорна клітина передає сигнали кільком нервовим клітинам. Рецепторні потенціали накопичуються на біполярних, горизонтальних і амакринових клітинах, тоді як потенціали дії формуються спочатку на гангліозних клітинах.

PHYWE



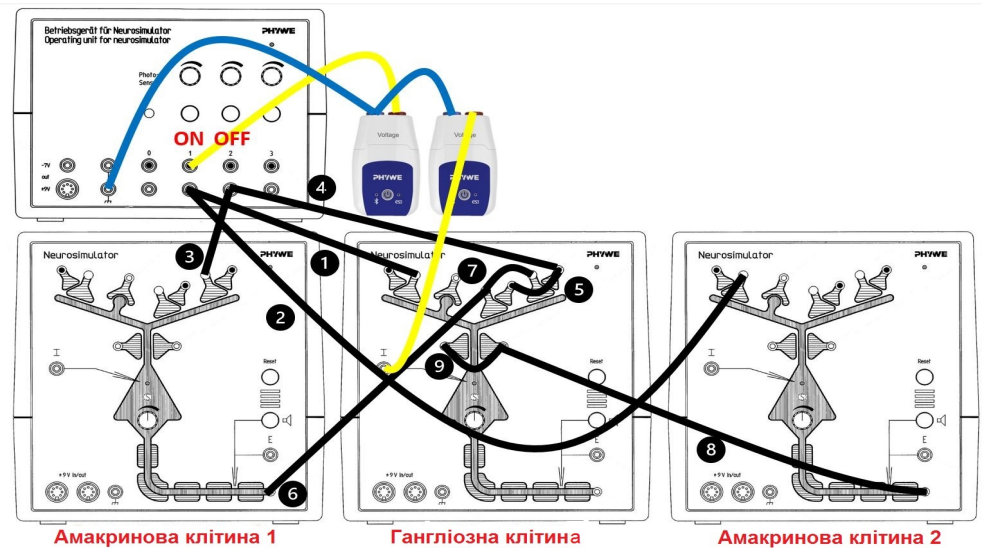
Підготовка та виконання роботи 1

Підготовка 1.1

PHYWE

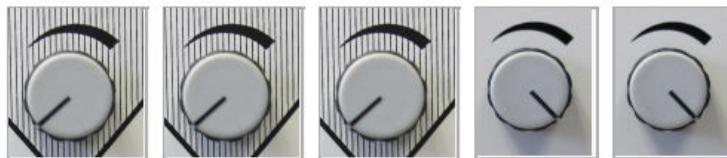
Перехідні (фазові) реакції: Фокус зорового сприйняття

Зберіть експериментальну установку і підключіть кабелі, як показано на рисунку праворуч.



Підготовка 1.2

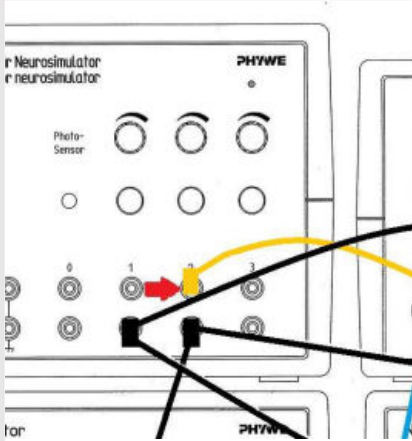
PHYWE



- Нейросимулятор 1, 2 і 3: Поріг спрацювання регулятора: 0%.
- Блок керування, регулятор інтенсивності стимуляції 1 (стимул для ON): 100%
- Блок управління, регулятор інтенсивності стимуляції 2 (стимул для OFF): 100%

Виконання роботи 1

PHYWE

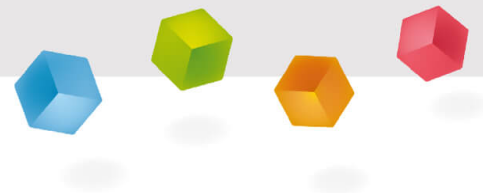


Повторне підключення кабелю під час вимірювання

- Почніть вимірювання.
- Натисніть кнопку стимуляції 1 приблизно на 5 секунд. Зачекайте, поки напруга не досягне початкового значення.
- Підключіть жовтий кабель з чорного гнізда каналу стимуляції 1 до чорного гнізда каналу 2 (червона стрілка на ілюстрації).
- Натисніть кнопку стимуляції 2 приблизно на 5 секунд. Зачекайте, поки напруга не досягне початкового значення.
- Натискайте кнопки стимуляції 1 і 2 протягом приблизно 5 секунд. Зачекайте, поки напруга не досягне початкового значення.
- Зупиніть вимірювання, як тільки напруга досягне початкового значення. Збережіть та оцініть результати.

PHYWE

Оцінка 1

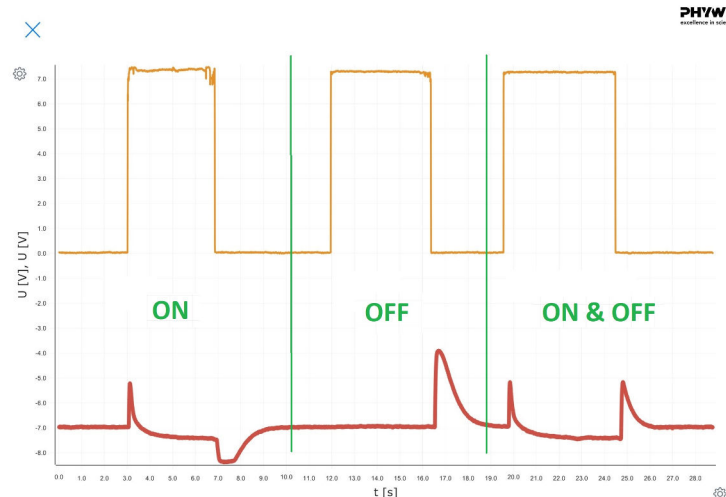


Результат 1.1

PHYWE

ON (УВІМКНЕНО): Задіяні дві клітини: гангліонарна клітина і амакринова клітина, яка передає сигнал до гальмівних синапсів гангліонарної клітини. Нижчі клітини отримують стимул на одному зі своїх збудливих синапсів. Визначається мембранний потенціал гангліозної клітини.

На початку сигналу мембрана гангліозної клітини на короткий час деполяризується, що призводить до зниження мембранного потенціалу. Завдяки активності гальмівних синапсів може спостерігатися гіперполяризація.



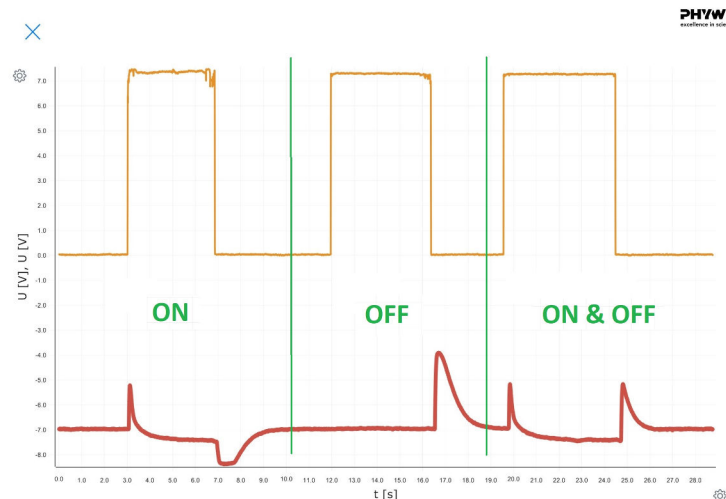
Результат 1.2

PHYWE

OFF (ВИМКНЕНО): Задіяні дві клітини: гангліонарна клітина та амакринова клітина, яка передає сигнал до вето-синапсів гангліонарної клітини. Обидві клітини отримують стимул на свої збуджувальні синапси. Визначається мембранний потенціал гангліозної клітини.

На початку сигналу нічого не відбувається. Однак мембрана гангліозної клітини деполяризується, як тільки стимул вимикається.

ON & OFF (УВІМКНЕННЯ ТА ВИМКНЕННЯ): Поєднує налаштування увімкнених та вимкнених нейронів.



Теорія 2

PHYWE

Нейронний генератор (внутрішній біологічний годинник))

Поведінка багатьох тварин і людей має ритмічні характеристики. Періодичність цієї ритмічності, яка бере свій початок у центральній нервовій системі, може тривати місяцями (наприклад, сезонний ритм), днями (наприклад, гормональний ритм), годинами (наприклад, цикл сон-неспанння) або секундами (наприклад, ритмічні рухи багатьох тварин). У будь-якому випадку, нейронні осцилятори необхідні як таймери для такої поведінки. Приклад схеми показує, як можна змусити окремі нейрони **коливатися**, якщо їх згрупувати разом. Ритмічна поведінка цієї нейронної мережі базується на **затримці в часі негативного зворотного зв'язку через вето-синапс**. В результаті вхідний сигнал вимикається через рівні проміжки часу. Завдяки мембранній постійній часу нейронного модуля (зумовленій його ємнісними властивостями) не відбувається різкого спаду сигналу. З часовою затримкою, яка в основному визначається силою сигналу, невелике збудження у вето-синапсі знову призводить до настільки малого гальмування, що сигнал стимуляції може знову стати ефективним. Тобто гальмування у вето-синапсі стає настільки слабким після деякого часу збільшення сили гальмування, що більше не може пригнічувати збудливий синапс.

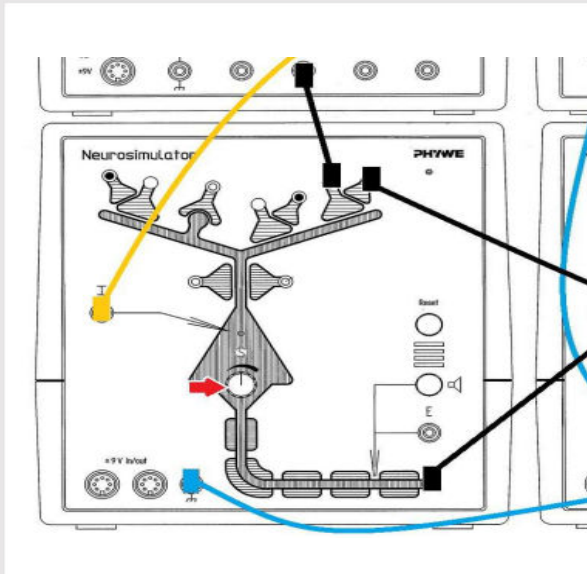
PHYWE



Підготовка та виконання роботи 2

Виконання роботи 2.1

PHYWE



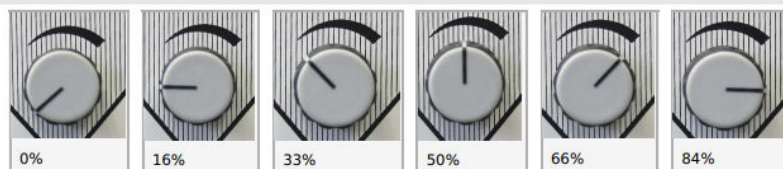
- Почніть вимірювання.
- Натисніть кнопку стимуляції 1 і утримуйте її приблизно 15 секунд.
- Зупиніть вимірювання, як тільки напруга досягне початкового значення.
- Збережіть та оцініть результати.

2. Перехідна поведінка з різними значеннями порогу на нейросимуляторі 1.

- Змініть коливання за допомогою різних налаштувань порогу на нейросимуляторі 1 (рисунок зліва, червона стрілка).

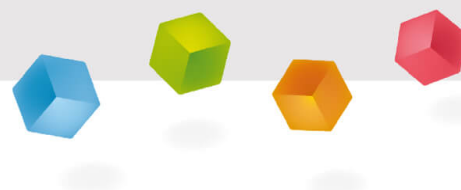
Виконання роботи 2.2

PHYWE



- Почніть вимірювання.
- Змініть поріг спрацьовування в порядку зростання. Натисніть і утримуйте кнопку стимулу 1 приблизно 5 секунд. Зачекайте, поки напруга досягне початкового значення, потім знову збільште поріг спрацьовування і т.д.
- Збережіть та оцініть результати.

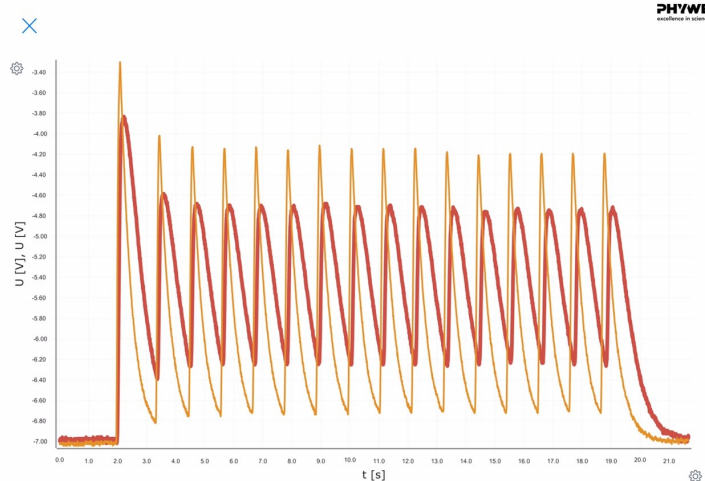
PHYWE



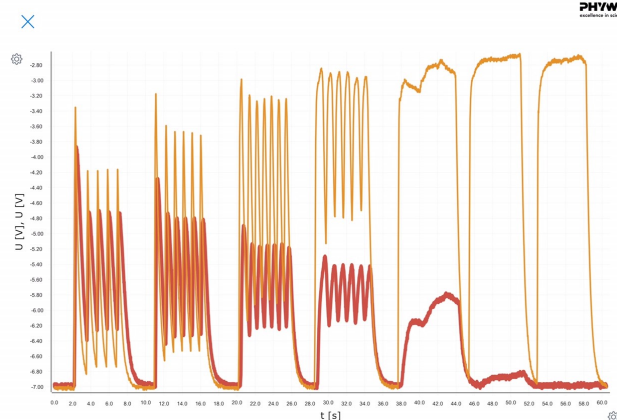
Оцінка 2

Результати 2

PHYWE



Коливання з неактивним порогом спрацювання



Коливання при різних налаштуваннях порогу спрацювання

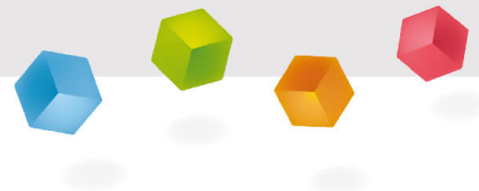
Теорія 3

PHYWE

Циклічне збудження (короткочасна пам'ять)

Таке самовідтворення збудження в групі нейронів є прикладом короткочасної пам'яті, оскільки стимул залишається в цій мережі на деякий час. Нейросимулятори 1 (ліворуч) і 2 (посередині) утворюють петлю позитивного зворотного зв'язку, тобто як тільки короткий стимул спрацьовує, сигнал передається далі. Третій нейросимулятор (праворуч) діє як гальмівний інтернейрон для нейросимулятора 2. За допомогою цієї установки можна досліджувати різні варіанти, змінюючи інтенсивність стимулу і пороги нейронів 1 або 2 та гальмівного інтернейрона.

PHYWE



Підготовка та виконання роботи 3

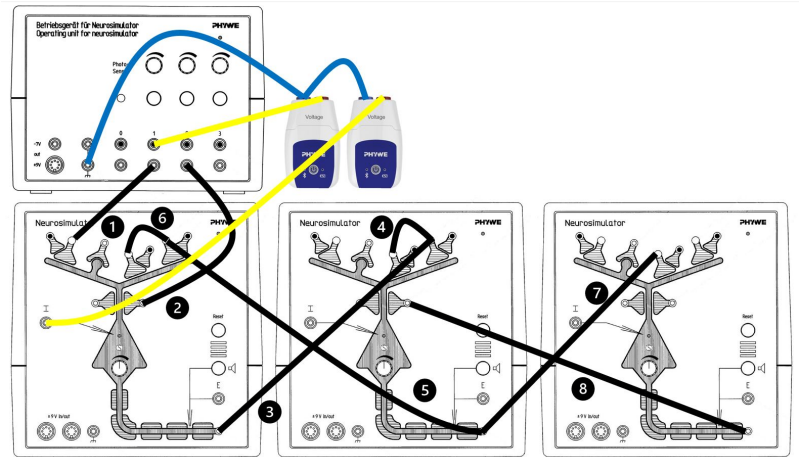
Підготовка 3.1

PHYWE

Примітки: Оскільки кожна людина натискає на кнопки дещо по-різному, для отримання однакової тривалості сигналу всі частини цього експерименту повинна виконувати одна й та сама людина.

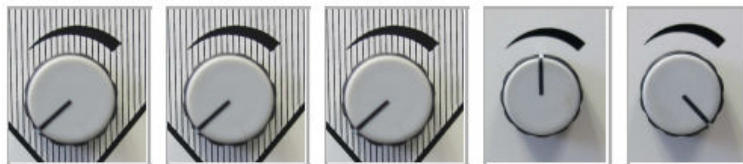
1. Зміна циклічного збудження: Зміна тривалості стимулу

Зберіть експериментальну установку і підключіть кабелі, як показано на рисунку праворуч.



Підготовка 3.2

PHYWE



- Нейросимулятор 1, 2 і 3: Поріг спрацювання регулятора: 0%.
- Блок керування, регулятор інтенсивності стимуляції 1: 50%
- Блок керування, регулятор інтенсивності стимуляції 2: 100%
- Активуйте в measureAPP режим "Додаткова вісь Y".

Виконання роботи 3.1

PHYWE

1.1 Судомне збудження

- Почніть вимірювання і натисніть кнопку стимулу 1 приблизно на 1 секунду.
- Зупиніть вимірювання, як тільки напруга досягне вихідного значення.
- **Варіант:** Повторіть вимірювання і припиніть судомне збудження, натиснувши кнопку стимулу 2. Збережіть та оцініть результати.

1.2 Демпфірування (затухання)

- Почніть вимірювання і натисніть кнопку стимуляції 1 менш ніж на 1 секунду (дуже коротке натискання, як на гарячу поверхню плити).
- Зупиніть вимірювання, як тільки напруга досягне початкового значення, збережіть та оцініть результати.

Виконання роботи 3.2

PHYWE

2. Зміна циклічного збудження: Зміна тривалості стимулу

- Почніть вимірювання.
- Натисніть кнопку стимулу 1 менш ніж на одну секунду (дуже коротке натискання, як на гарячій поверхні плити).
- Зупиніть вимірювання, як тільки напруга досягне початкового значення. Збережіть результати.
- Повторіть вимірювання кілька разів. Мінімально змінійте інтенсивність стимулу для кожного вимірювання: Мінімально поверніть регулятор інтенсивності стимулу 1, можливий рух в обох напрямках. Метою є отримання діаграм вимірювань з судомним збудженням і з демпфуванням.
- Щоразу зберігайте та оцінюйте результати. Перед кожним вимірюванням зупиняйте судомне збудження, натискаючи кнопку стимулу 2.

Виконання роботи 3.3

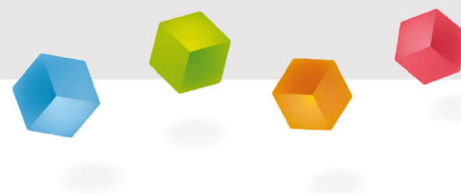
PHYWE

3. Зміна циклічного збудження: Демпфірування

- Почніть вимірювання.
- Натисніть кнопку стимуляції 1 приблизно на одну секунду.
- Натисніть кнопку стимуляції 2.
- Зупиніть вимірювання, як тільки напруга досягне початкового значення. Збережіть результат.

PHYWE

Оцінка 3



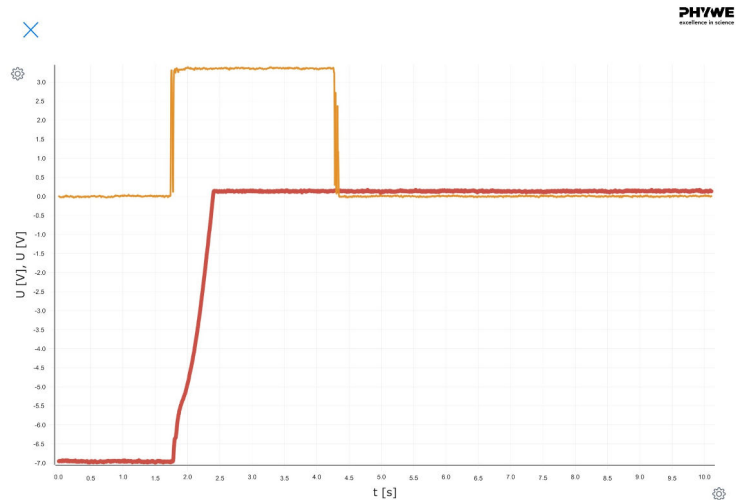
Результат 3.1.1

PHYWE

1. Зміна циклічного збудження: Зміна тривалості стимулу

1.1 Судомне збудження

На рисунку праворуч показано перший приклад судомного збудження (верхня крива: стимул, нижня крива: мембранний потенціал нервової клітини 1).



Результат 3.1.2

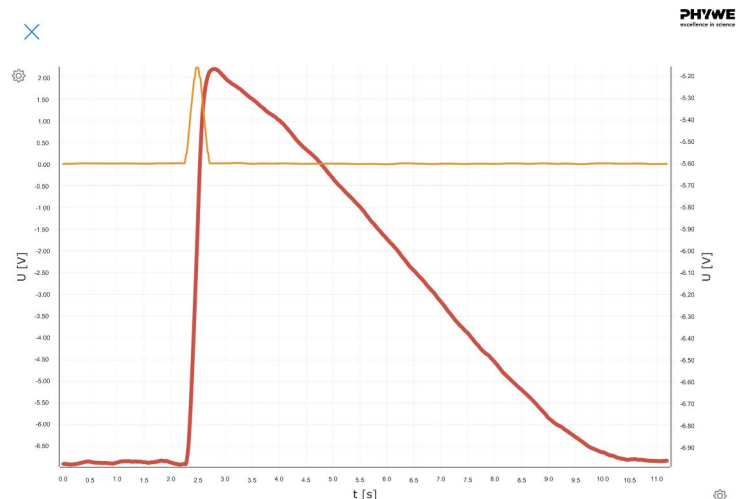
PHYWE

1.2 Демпфірування (затухання)

На рисунку праворуч показано приклад затухання після дуже короткого стимулу.

У цьому експерименті стимульний канал має середню потужність і подається лише короткий стимульний імпульс. Нервова мембрана деполяризується, але стимул занадто слабкий, і мембранний потенціал повертається до початкового рівня.

Оскільки поріг інтернейрона низький, його гальмування збільшує затухання циклу "нейрон-нейрон".



Результат 3.2

2. Зміна циклічного збудження: Зміна тривалості стимулу

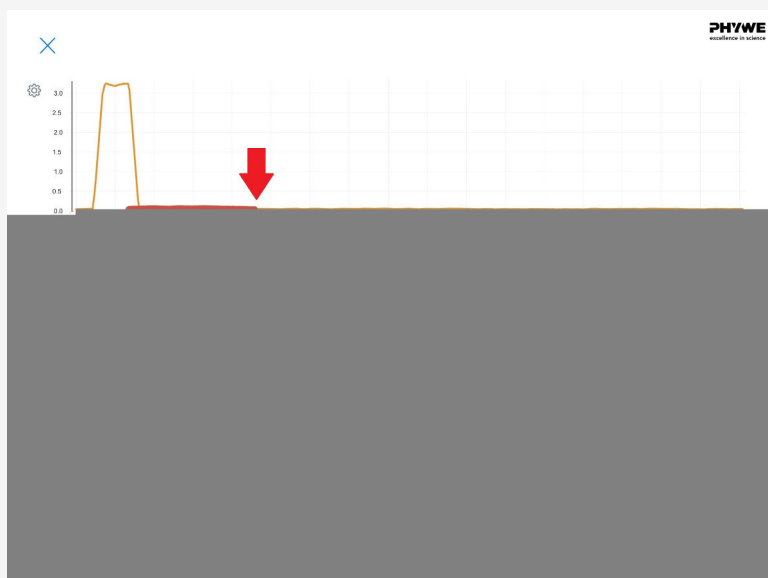
У таблиці наведено приклади різних значень судомного збудження та затування в залежності від інтенсивності та тривалості стимулу.

Номер	Інтенсивність сигналу U_{max}	Тривалість сигналу $t_2 - t_1$	судомне збудження	Затування
1.	6.28	0.12	x	
2.	5.05	0.11	x	
3.	5.24	0.10	x	
4.	5.09	0.11	x	
5.	4.96	0.11		x
6.	4.95	0.11		x
7.	4.89	0.11		x
8.	5.08	0.09		x
9.	5.09	0.08		x
10.	3.65	0.10		x

Результат 3.3

3. Зміна циклічного збудження: Демпфірування (затування)

В залежності від тривалості гальмівного стимулу (червона стрілка на рисунку праворуч), судомне збудження спадає більш-менш швидко.



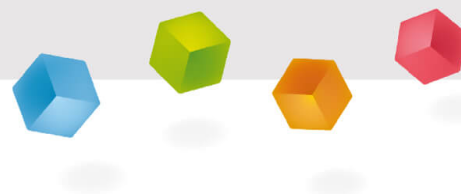
Теорія 4

PHYWE

Кора головного мозку та сенсорне навчання

Цей експеримент показує, що пірамідальна клітина кори головного мозку може реагувати на певний стимул лише в тому випадку, якщо вона навчилася робити це завдяки попередньому співвіднесенню сенсорного сигналу з неспецифічним сигналом тривоги. Таким чином, тільки важливі сигнали зберігаються і обробляються, що дозволяє уникнути **перевантаження кори головного мозку**. Фотосенсор забезпечує специфічний сигнал органу чуття, який збуджує **діенцефальну клітину таламуса**, яка, в свою чергу, збуджує геббіанський синапс **пірамідної клітини кори головного мозку**. Пірамідальна клітина кори також збуджується неспецифічним стимулом (канал 1). У той же час **зірчаста клітина** пригнічує пірамідну клітину. Ці **три типи клітин** утворюють **тріаду**. У корі головного мозку ссавців відбувається обробка сенсорних сигналів та їх зв'язування з руховими програмами. Крім того, тут відбувається **зберігання досвіду**. На ранній стадії розвитку кора головного мозку перебуває в дифузному, несформованому стані, в якому обробка сигналів не функціонує з тією точністю, як у дорослому організмі. Ця здатність лише повільно набувається через активну взаємодію з навколишнім середовищем. Обробка стимулів також є результатом **пластичної адаптації**. У цьому процесі завжди необхідний збіг між різними стимулами, щоб досягти пірамідної клітини кори головного мозку і стабілізувати там геббіанські синапси шляхом тривалого потенціювання.

PHYWE



Підготовка та виконання роботи 4

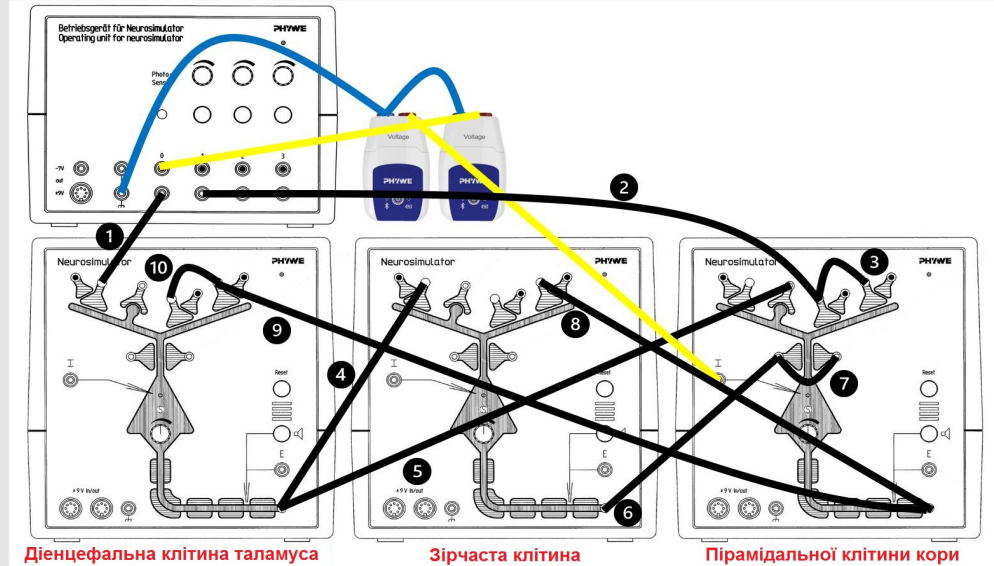
Підготовка 4.1

PHYWE

Кора головного мозку та сенсорне навчання

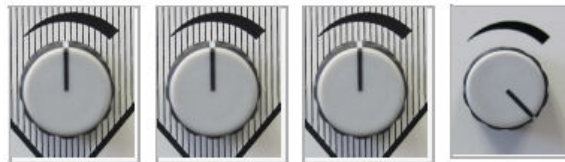
Зберіть експериментальну установку і підключіть кабелі, як показано на рисунку праворуч.

Жовтий кабель спочатку підключається до вимірювального каналу фотосенсора



Підготовка 4.2

PHYWE

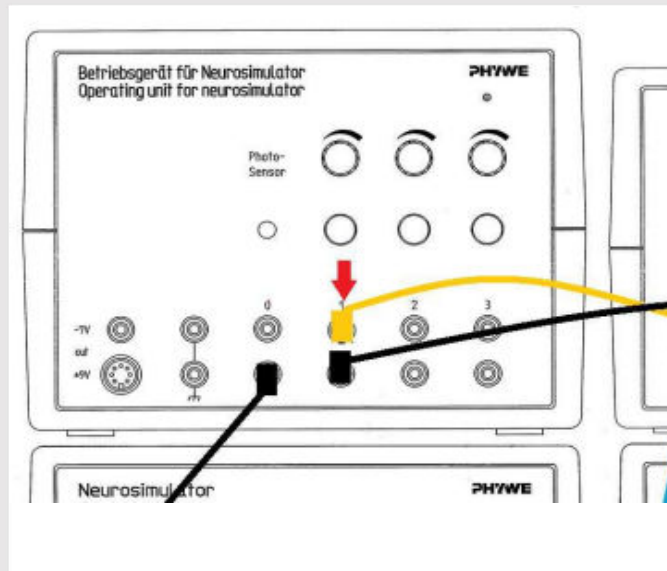


- Нейросимулятор 1, 2 і 3: Поріг спрацьовування регулятора: 50%.
- Блок керування, регулятор інтенсивності стимуляції 1: 100%

Виконання роботи 4.1

PHYWE

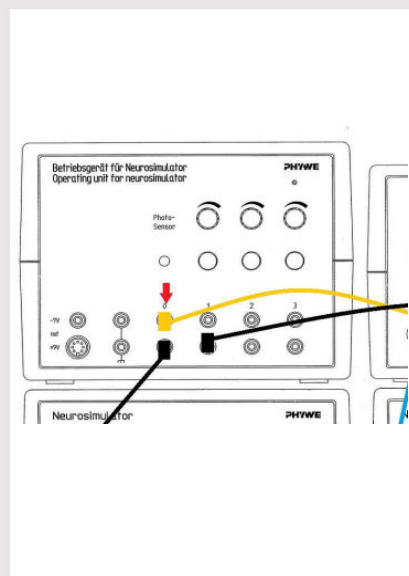
- Щоб встановити геббіанський синапс до значень за замовчуванням, натисніть кнопку скидання на нейросимуляторі 3 (пірамідальна клітина кори головного мозку). Жовтий кабель підключається до вимірювального каналу **фотосенсора**. Почніть вимірювання. Накрийте фотосенсор на 3 секунди. Зачекайте, поки напруга досягне початкового значення. Знову підключіть жовтий кабель до каналу **стимуляції 1** (червона стрілка на рисунку праворуч).



Виконання роботи 4.2

PHYWE
excellence in science

- Натисніть кнопку стимуляції 1 приблизно на 3 секунди. Зачекайте, поки напруга досягне початкового значення. Знову підключіть жовтий кабель до вимірювального каналу **фотосенсора** (червона стрілка на рисунку праворуч).
- Накрийте фотосенсор і натисніть кнопку стимулу 1 (одночасно) на 60 секунд. Зачекайте, поки напруга досягне початкового значення.
- Закрийте фотосенсор на 3 секунди. Зачекайте, поки напруга досягне початкового значення. Завершіть вимірювання, збережіть та оцініть результати.
- Для того, щоб відновити значення геббіанського синапсу за замовчуванням, натисніть кнопку скидання на нейросимуляторі 3 (пірамідна клітина кори головного мозку).



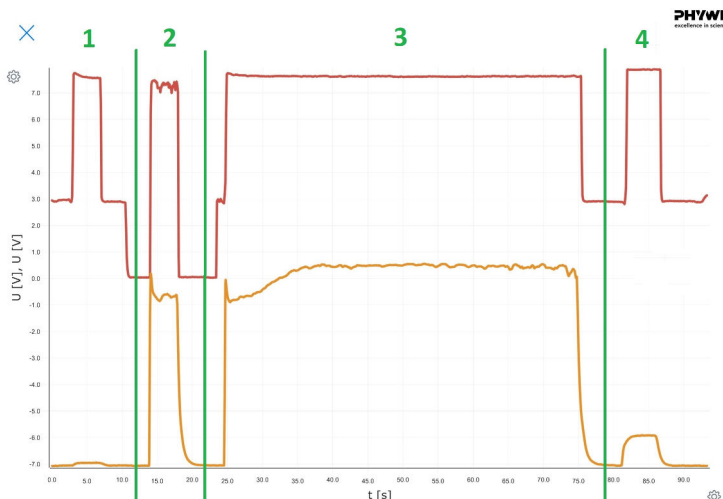
PHYWE



Оцінка 4

Результат 4

PHYWE



Збудження від специфічного стимулу (фотосенсор, діапазон вимірювання 4) після одночасного натискання на фотосенсор і кнопку стимулу 1 є більшим, ніж у діапазоні вимірювання 1, і спадає повільніше, ніж збудження від кнопки стимулу 1 у діапазоні вимірювання 2.

Висновок: пірамідальна клітина кори головного мозку (діапазон вимірювання 1) може реагувати специфічно на стимул (діапазон вимірювання 4) лише в тому випадку, якщо вона навчилася цього завдяки попередньому співвіднесенню сенсорного сигналу з

Теорія 5

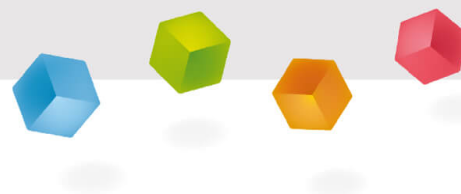
PHYWE

Спрямована селективність через одностороннє інгібування (гальмування)

Приклади: Багато нервових клітин у сенсорних системах є селективними за напрямком. Наприклад, певні гангліозні клітини сітківки реагують лише тоді, коли світловий стимул рухається в певному напрямку, але не тоді, коли він рухається в протилежному напрямку. Подібна поведінка також відома для відчуття дотику. Цей нейронний ланцюг можна змодельовати за допомогою схеми з одностороннім гальмуванням між двома стимульними каналами, які активуються один за одним. Органи чуття локальної проекції, наприклад, сітківка ока або поверхня тіла з її тактильними рецепторами, в основному здатні кодувати рухи (зміни положення в часі). Відповідно, в цих сенсорних каналах знаходяться нейрони, які вибірково реагують на рух стимулу (див. також реакція увімкнення-вимкнення). Деякі з цих клітин не просто реагують на кожен рух, а реагують лише на певні напрямки руху, тоді як інші напрямки залишаються nereагуючими. Інтенсивність їхньої відповіді зазвичай залежить від швидкості руху, напрямку руху і - зазвичай меншою мірою - від інтенсивності стимулу, що переміщується. Такі клітини вже є в сітківці більшості хребетних тварин, але лише у деяких з них на більш високому рівні обробки (наприклад, у антропоїдів).

PHYWE

Підготовка та виконання роботи 5

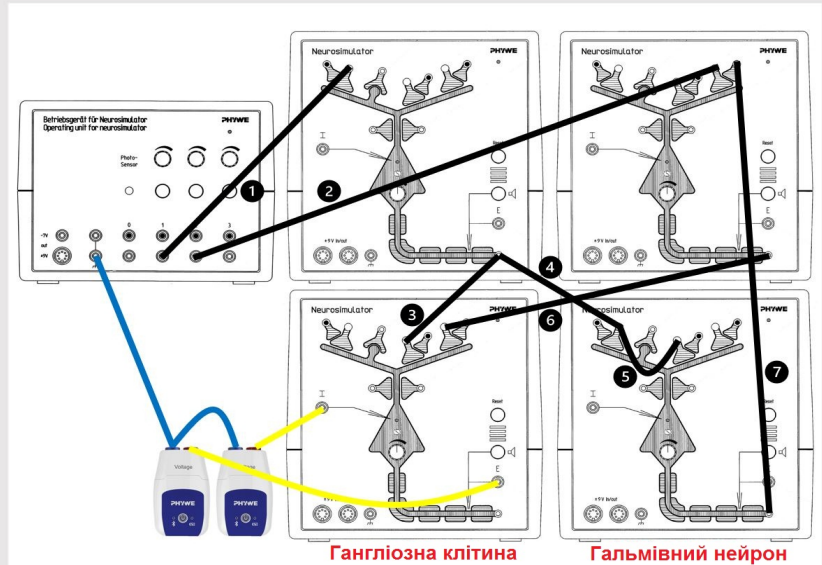


Підготовка 5.1

PHYWE

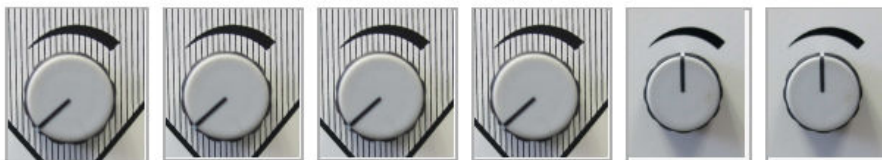
Зберіть експериментальну установку і підключіть кабелі, як показано на рисунку праворуч.

Вимірювальний канал для потенціалів дії в гангліозній клітині може бути підключений до осцилографа. Крім того, обидва датчики напруги можна підключити до комп'ютера через USB для збільшення частоти вимірювання (5000 Гц на канал замість 500 Гц при роботі через Bluetooth). Однак найпростіший спосіб проведення експерименту - це використання акустичного монітора для відображення потенціалів дії.



Підготовка 5.2

PHYWE



- Нейросимулятор 1, 2 і 3: Поріг спрацьовування регулятора: 0%.
- Блок керування, регулятор інтенсивності стимуляції 1 і 2: 50% кожна

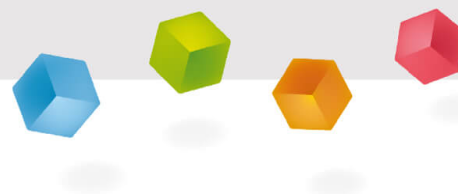
Виконання роботи 5

PHYWE

- Активуйте тільки акустичний контролер гангліозної клітини (нейросимулятор 4).
- Потім збільште поріг чутливості гангліозної клітини, випромінюючи стимул тільки з каналу 1 так, щоб не було чутно потенціалу дії (акустичний контролер гангліозної клітини). Перевірте, чи чутний потенціал дії при активації каналу 2. Акустичний сигнал не повинен бути чутним.
- Частина 1: Початок вимірювання. Натисніть **кнопку стимуляції 1** і відразу після цього (майже одночасно) **кнопку стимуляції 2**. Завершіть вимірювання. Збережіть та оцініть результати.
- Частина 2: Початок вимірювання. Натисніть **кнопку стимуляції 2** і відразу після цього (майже одночасно) **кнопку стимуляції 1**. Завершення вимірювання. Збережіть та оцініть результати.

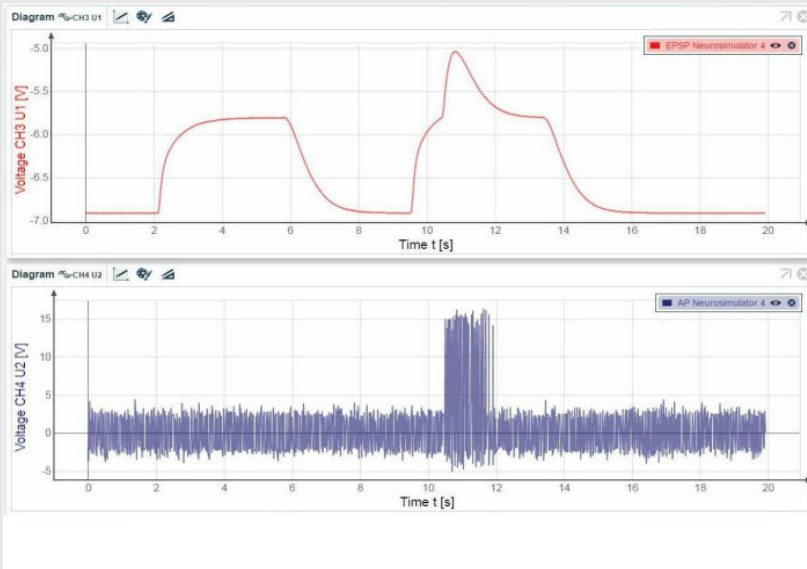
PHYWE

Оцінка 5



Результат 5.1

PHYWE



Вимірювання за допомогою програмного забезпечення measureLAB, яке також можна використовувати.

Тільки в другій частині вимірювання генерується потенціал дії (ПД), що є наслідком селективності (вибірковості) напрямку.

Теорія 6

PHYWE

Самокалібрування парних сенсорних каналів

Приклад: ембріональне формування осесиметричних видів не є досконалим, що призводить до незначних порушень симетрії. Нерівності сенсорних епітеліїв, наприклад, в органі рівноваги, можуть бути компенсовані нервовою системою: Принцип Хебба пропонує можливість регулювання вихідних сигналів таким чином, щоб вони були симетричними, коли органи чуття асиметричні.

Експериментальна установка: є два сенсорних нейрони і два інтернейрони (дві пари сенсорний нейрон - інтернейрон). Асиметричні сигнали надсилаються зі стимульного каналу 2 та стимульного каналу 3 на синапси Хебба двох сенсорних нейронів (тут: інтенсивність стимулу 50% та 100% відповідно). Сигнал, що надходить з 1-го сигнального каналу операційного блоку, надсилається до двох інтернейронів, які передають сигнал через свій еферентний аксон до своєї пари сенсорних нейронів, де сигнал посилюється за рахунок розгалуження. Обидва сенсорні нейрони пригнічують власні інтернейрони.

PHYWE

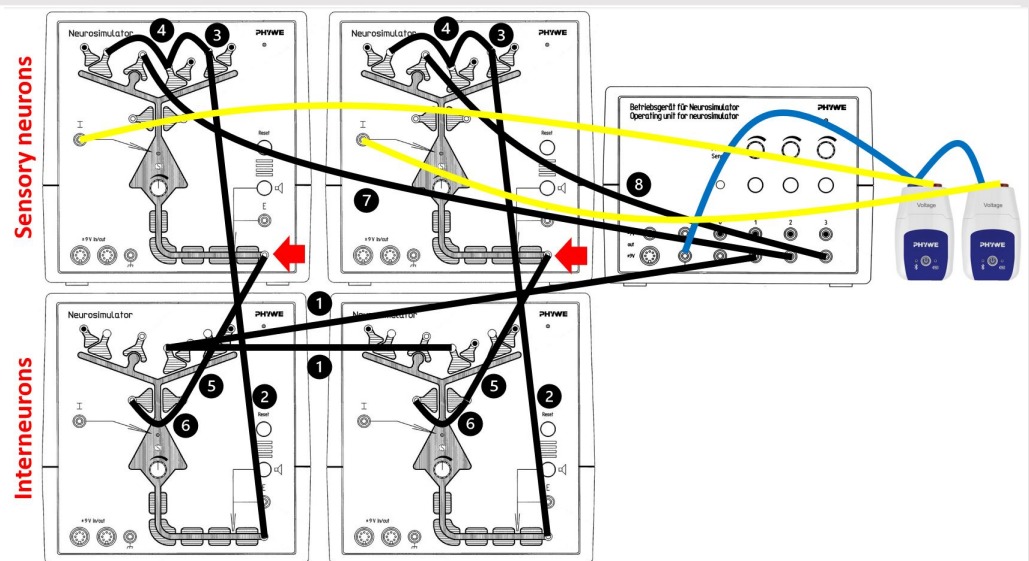
Підготовка та виконання роботи 6

Підготовка 6.1

PHYWE

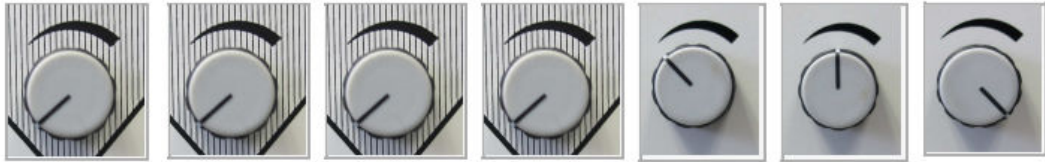
Самокалібрування парних сенсорних каналів:

- Зберіть експериментальну установку і підключіть кабелі, як показано на рисунку праворуч.
- Для другого вимірювання залиште один з двох кабелів, позначених червоними стрілками, відключеним.



Структура 6.2

PHYWE



- Нейросимулятор 1, 2 і 3, 4: Поріг спрацьовування регулятора: 0%.
- Блок керування, регулятор інтенсивності стимуляції 1: 33%
- Блок управління, регулятор інтенсивності стимуляції 2: 50%
- Блок управління, регулятор інтенсивності стимуляції 3: 100%

Виконання роботи 6.1

PHYWE

Самокалібрування парних сенсорних каналів

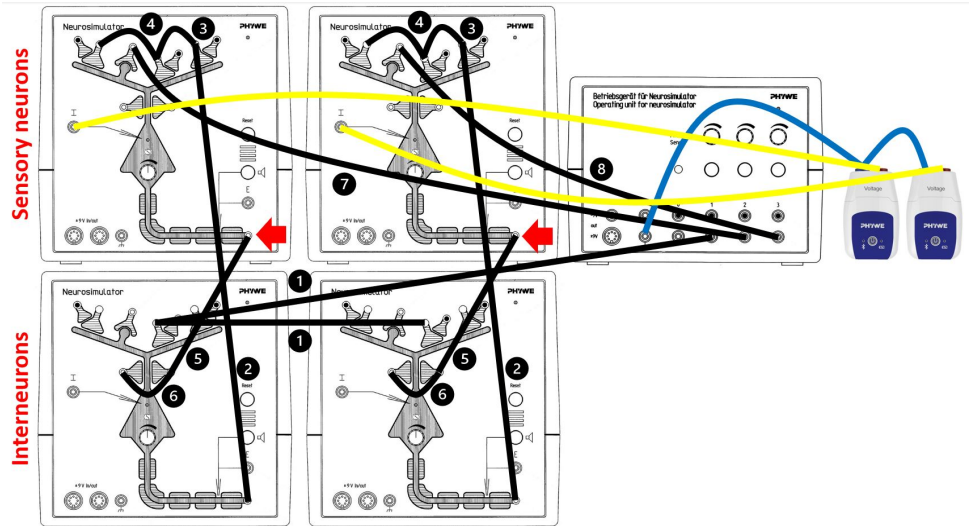
- Почніть вимірювання.
- Натисніть кнопку стимуляції 1, зачекайте 1-2 секунди, утримуйте кнопку натиснутою і одночасно натисніть кнопки стимуляції 2 і 3.
- Тримайте три кнопки стимуляції натиснутими одночасно протягом більш тривалого часу (наприклад, 30 секунд).
- Завершіть вимірювання, коли напруга досягне початкового значення.
- Збережіть та оцініть результати.

Виконання роботи 6.2

PHYWE

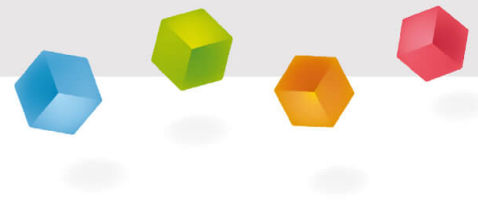
Самокалібрування відсутнє

- Вийміть один з кабелів, позначених червоною стрілкою, з чорного гнізда.
- В іншому - та ж процедура, що і для експерименту "Самокалібрування парних сенсорних каналів".



PHYWE

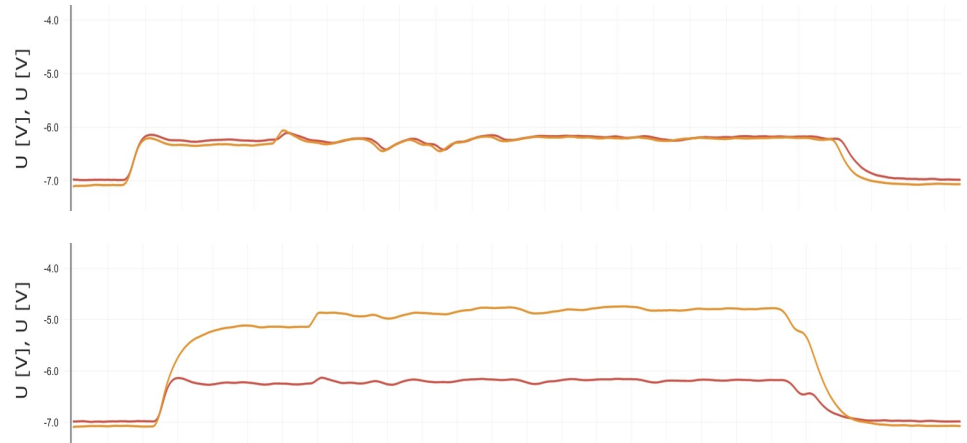
Оцінка 6



Результат 6.1

PHYWE

Рисунок: Приклади вимірювання з (вгорі) та без (внизу) самокалібрування парних сенсорних каналів. Тривалість вимірювання 25 секунд.



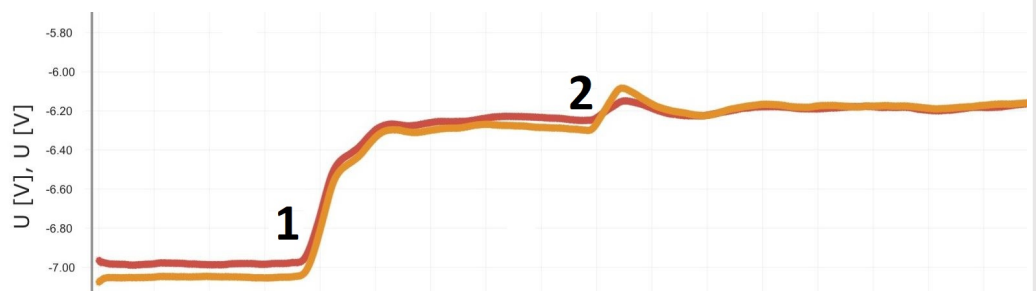
Результат 6.2

PHYWE

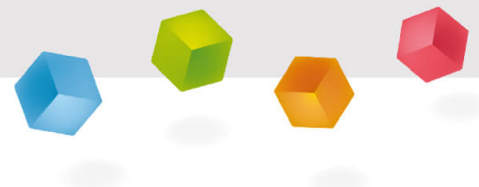
На рисунку праворуч показано початок самокалібрування:

Дія 1: Натисніть кнопку стимулу 1.

Дія 2: Кнопка стимулу 1 залишається натиснутою, додаткове одночасне натискання кнопок стимулу 2 і 3



PHYWE



Перспективи

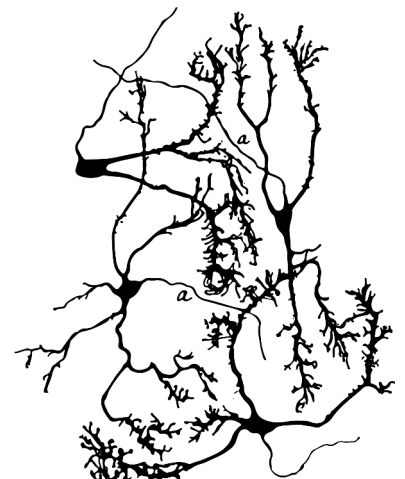
Перспективи

PHYWE

Додаткові нейронні мережі

Використовуючи дані різних дослідницьких проєктів, можна створити додаткові схеми. Пошуковий термін в Інтернеті, такий як "синаптичне потенціювання" дає значну кількість наукових праць. Їхні моделі нейронів можна перетворити на схеми нейросимуляторів.

Зверніть увагу, що якщо Ви використовуєте 4 нейросимулятори, Вам знадобиться ще один блок живлення для подачі живлення на додаткові нейросимулятори, тобто 1 додатковий блок живлення на 4 нейросимулятори.



Малюнок Сантьяго Рамона-і-Кахаля (1852 - 1934)