

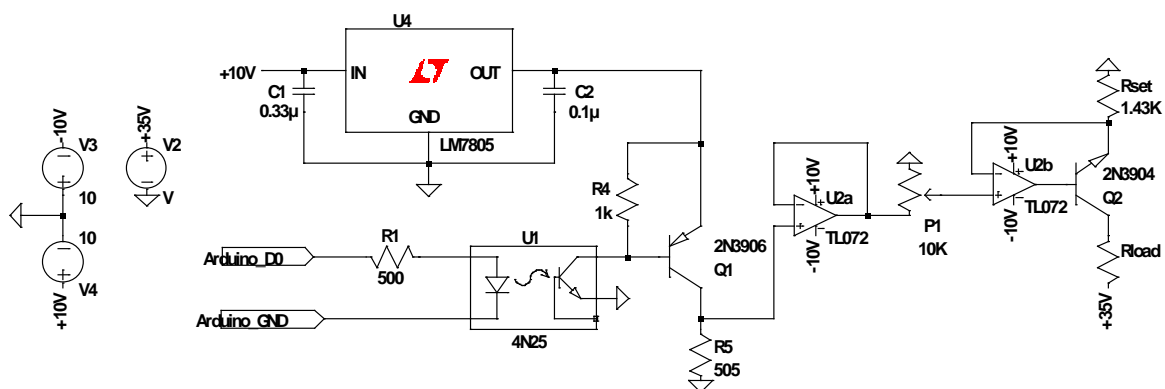
## НИЗЬКО-БЮДЖЕТНИЙ ІЗОЛЬОВАНИЙ СТРУМОВИЙ СТИМУЛЯТОР ДЛЯ ФІЗІОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НА ОСНОВІ ПЛАТФОРМИ ARDUINO

*А. М. Міщенко, К. В. Луданов*

Електрична стимуляція широко використовується в електрофізіологічних дослідженнях для визначення закономірностей реакції збудливих тканин на зовнішні подразники. Також фізіологічні експерименти на нервовій та м'язовій тканині є складовою частиною багатьох програм підготовки спеціаліста біолога.

Існують готові комерційні варіанти стимуляторів постійного струму для фізіологічних досліджень. Ціни на стимулятори, що призначені для проведення студентських лабораторних робіт можуть бути більш дешевими, їх ціна починається від тисячі доларів. Також в літературі існують альтернативні варіанти низько-бюджетних стимуляторів. Не дивлячись на те, що ці пристрої є на порядок дешевшими від комерційних варіантів, тим не менше їх ціна залишається достатньо високою, особливо, якщо потрібно виготовити декілька копій такого пристрою.

Нами був розроблений та протестований дуже дешевий ізольований струмовий стимулятор для фізіологічних досліджень. Часові характеристики стимулюючого сигналу цього стимулятора контролюються за допомогою комп'ютера або відповідно запрограмованої плати ArduinoNano. Цифрова частина стимулятора є гальванічно ізольованою від аналогової. Схема аналогової частини стимулятора наведена на рис. 1.



*Рис.1. Схема стимулятора*

Джерело струму побудоване за допомогою операційного підсилювача (U2b) і підключеного до нього транзистора (Q2). Був використаний стандартний операційний мало шумний підсилювач TL072 він має біполярне живлення до  $\pm 18$  В. Також особливістю цього підсилювача є висока швидкість наростання вихідної напруги (типове значення 13 Вт/мкс). В цій схемі вихідний струм пропорційний величині напруги, що прикладена до неінвертуючого входу (VIN) операційного підсилювача. Струм який протікає через опір навантаження (Rload) приблизно дорівнює  $V_{IN}/R_{SET}$ . Тобто в нашому випадку максимальний струм через опір навантаження буде складати  $5V/1.43k\Omega \approx 3.5mA$ . Оскільки напруга, яку ми подавали на колектор транзистора Q2 складає 35 Вт найбільший опір навантаження в якому стимулятор здатен створити такий струм буде 10 кОм. Напруга 35 Вт була отримана нами за допомогою дешевого підвищувального DC-DC перетворювача XL6009E. Симуляція роботи аналогової частини стимулятора здійснювалась в програмі LTspice XVII показує що час наростання і спаду вихідного сигналу є меншим за 1 мкс.

Практично симулятор тестувався в фізіологічному експерименті, що виконується студентами на практичних заняттях. Здійснювалась симуляція гігантських нервових волокон земляного хробака (N.Kladt et all 2010). Стимуляція здійснювалась прямокутними імпульсами струму різної величини і тривалості. На рис. 2А) показаний приклад реєстрації потенціалу дії, що виникав при стимуляції імпульсами величиною 0.3мА та тривалістю 0.5мс, пауза між послідовними імпульсами 1с. На рис. 4Б) наведена середня форма потенціалу дії, що виникав після кожного стимулу. Форма зареєстрованого потенціалу має складну будову оскільки крім реєстрації активності самого нервового волокна до нього також додається електрична активність м'язів. Також перед виникненням потенціалу дії можна бачити артефакт, що виникає завдяки стимуляції препарату.

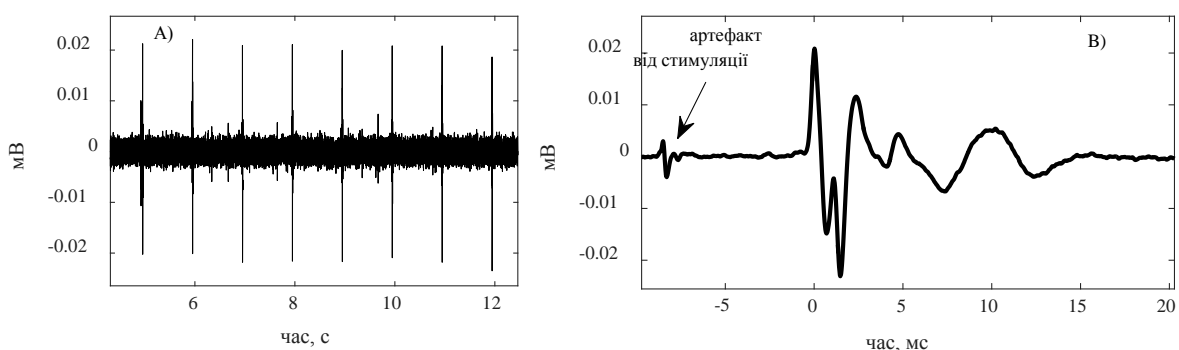


Рис. 4. Результати реєстрації потенціалу дії гігантських нервових волокон земляного хробака

Була отримана залежність сила стимулу-тривалість, для діапазону тривалостей стимулу 100-600 мкс, рис.5. На цьому малюнку показана крива отримана в нашому експерименті (крива 1), а також для порівняння наведена аналогічна залежність щ обула отримана в роботі (N.Kladt et all 2010) Рис. 5. крива 2.

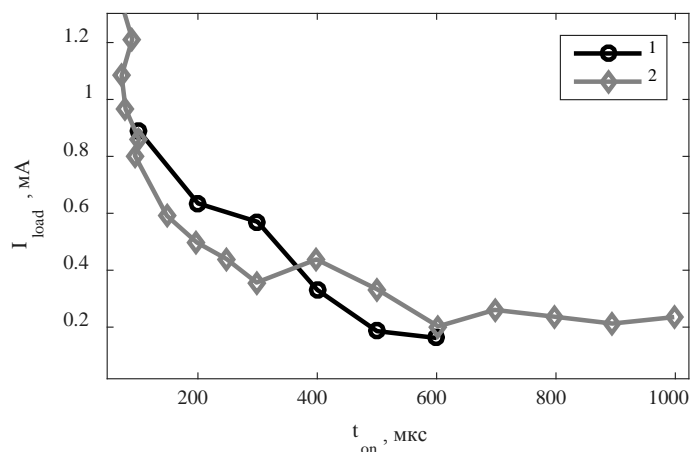


Рис.5. Залежність величина стимулу-тривалість