ĆWICZENIE NR 5

APARATURA DO TERAPII PRĄDEM ZMIENNYM MAŁEJ I ŚREDNIEJ CZĘSTOTLIWOŚCI

Cel ćwiczenia

Zapoznanie się z budową i parametrami urządzeń do terapii prądem małej i średniej częstotliwości. Poznanie metod pomiaru parametrów generowanych sygnałów terapeutycznych.

Część 5.1.

Obserwacja parametrów sygnału leczącego

5.1.1. Zrealizować układ pomiarowy wg schematu przestawionego na rys. 1.

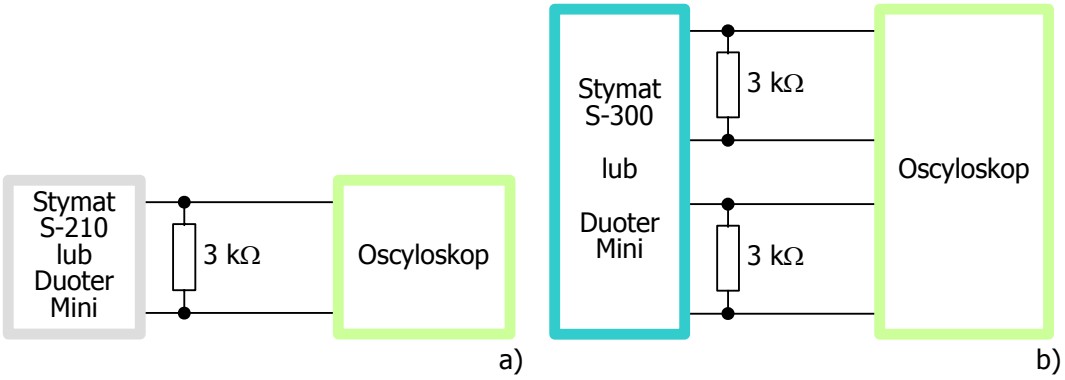
5.1.2. Wyznaczyć wartości prądów wybrane przez siebie sygnałów generowanych przez urządzenia do terapii prądem małej częstotliwości:

a. Stymat S-210,
b. Stymat S-300,
c. Duoter Mini

symulując w każdym przypadku rezystancję pacjenta R_p = 3 kΩ. W uzasadnionych przypadkach korzystać z pracy oscyloskopu dwukanałowego pracującego w trybie X-Y.

5.1.3. Sprawdzić odczucia własne przy aplikowaniu różnego typu prądów. Test przeprowadzić na przedramieniu lewej ręki.

5.1.4. Porównać wyniki uzyskane dla dwóch osób.



Rys. 1. Schematy podłączeń urządzeń terapeutycznych podczas badania za pomocą oscyloskopu

Część 5.2.

Pomiary parametrów technicznych urządzeń do terapii prądowej

5.2.1. Identyfikacja schematu blokowego wskazanego urządzenia terapeutycznego.

5.2.2. Kontrola parametrów przebiegów generowanych przez wskazane urządzenie terapeutyczne.

5.2.3. Porównanie wyników pomiaru parametrów z wartościami nominalnymi.

Część 5.3.

Pomiary cech sygnału terapeutycznego niemodulowanego i modulowanego generowanego przez urządzenie do terapii prądem zmiennym małej i średniej częstotliwości Stymat S-300

5.3.1. Zaobserwować na oscyloskopie sygnał generowany w dwóch torach, przy braku modulacji amplitudowej i częstotliwościowej. Symulować w każdym przypadku rezystancję pacjenta R_p = 500 Ω. Obserwacje przeprowadzić przy podłączeniu jednokanałowym (sygnały oglądać oddzielnie).
5.3.2. Powtórzyć obserwacje z punktu 5.3.1. przy podłączeniu dwukanałowym. Zwrócić uwagę na znaczenie funkcji ”synchronizacja” oscyloskopu. Dostroić jeden z generatorów urządzenia Stymat S-300. Wyciągnąć wnioski.
5.3.3. Zaobserwować stabilność generatorów przy podłączeniu do oscyloskopu XY (obserwacja krzywych Lissajous).
5.3.4. Wyznaczyć współczynnik zniekształceń dla obu generatorów.
5.3.5. Włączyć w urządzeniu Stymat S-300 funkcję ”modulacja amplitudy”. Zaobserwować relacje między sygnałami; w tym celu wykorzystać funkcję XY oscyloskopu (obserwacja krzywych Lissajous).
5.3.6. Poczynić podobne obserwacje przy włączeniu funkcji” modulacja częstotliwości (automatyczna oraz ręczna).
5.3.7. Wyznaczyć okres modulacji amplitudowej oraz głębokość modulacji.
5.3.8. Wyznaczyć okres modulacji częstotliwościowych oraz dewiację częstotliwości.
5.3.9. Dla widma sygnału zmodulowanego amplitudowo wyznaczyć wstęgę boczną (częstotliwość i amplitudę).

Część 5.4.

Pomiary widma sygnałów terapeutycznych

5.4.1. Zaobserwować na oscyloskopie sygnał generowany przez wybrane urządzenie do terapii prądem zmiennym małej i średniej częstotliwości. Symulować w każdym przypadku rezystancję pacjenta R_p = 500 Ω. Obserwacje przeprowadzić przy podłączeniu jednokanałowym.
5.4.2. Dla wybranych przebiegów wyznaczyć współczynnik zniekształceń. Uzasadnić wybór.
5.4.3. Zidentyfikować widma poszczególnych sygnałów.
5.4.4. Na podstawie obserwacji widma sygnałów generowanych przez urządzenie Stymat S-300 określić częstotliwość sygnałów modulujących w obu rodzajach modulacji. Podać niepewność rozszerzoną. Porównać uzyskane rezultaty.

Aparatura i sprzęt dodatkowy:
- Stymat S-210
- Stymat S-300
- Duoter Mini
- stymulator miniaturowy STIMUL 3
- opornica dekadowa
- częstościomierz cyfrowy PFL-23

- miernik zniekształceń PMZ-9
- analizator widma SR-760
- oscyloskop dwukanałowy
- stoper

Problemy

1. Schemat blokowy urządzenia do elektroterapii prądem zmiennym.
2. Rodzaje sygnałów stosowanych do terapii prądem małej i średniej częstotliwości i ich cechy.
3. Metody pomiarów parametrów sygnałów w terapii prądowej. Dokładność metod pomiarowych.
4. Wymagania dotyczące bezpieczeństwa stosowania terapeutycznej aparatury elektrycznej.

Literatura

1. Mika T.: Fizykoterapia. PZWL, Warszawa 2001.
2. Norma ZN-81/596-506.
3. Norma BN-83/596-407.
4. Tadeusiewicz R., Augustyniak P. (red.): Podstawy inżynierii biomedycznej. t. II, Wyd. AGH, Kraków 2009.

Ogólna charakterystyka urządzeń do terapii prądem stałym i prądem zmiennym

Aparaty przeznaczone do elektrolecznictwa noszą nazwę elektrostymulatorów. Lecznicze działanie prądu stałego związane jest między innymi z występowaniem w tkankach organizmu zjawisk elektrochemicznych. Prąd stały używa się do galwanizacji oraz jonoforezy (wprowadzenia jonów leczniczych do tkanek siłami pola elektromagnetycznego).

Prądy małej częstotliwości (0,5 Hz do 500 Hz) przybierają najczęściej:

a) kształt impulsów prostokątnych, trójkątnych, trapezowych, półsinusoidalnych,
b) kształt przebiegu modulowanego amplitudowo lub niemodulowanego, po wyprostowaniu jedno- lub dwupołówkowym prądu sinusoidalnego 50 Hz, aplikowanego w odpowiednich odstępach czasu lub w sposób ciągły. Są to tzw. prądy diadynamiczne (zwane także prądami Bernarda).

Prądy średniej częstotliwości wykazujące działanie lecznicze posiadają częstotliwości leżące w zakresie (4 ÷ 5) kHz. Ich zaletami są:

- słabsze ich wyczuwanie przez pacjenta,
- mniejszy wpływ elektrochemiczny na tkanki,
- lepsze przenikanie w głąb tkanek.

Najczęściej prądy średniej częstotliwości modulowane są amplitudowo unipolarnie lub bipolarnie z częstotliwością od (0 do 150) Hz. Stosowane są także tzw. prądy o działaniu interferencyjnym. W tym przypadku na dwóch parach elektrod występują prądy o częstotliwościach różniących się nieznacznie od siebie. Elektrody umieszcza się tak na ciele pacjenta, aby interferencja zachodziła w głębi tkanek w miejscu procesu chorobowego.

Aby zabieg mógł być wykonany poprawnie czyli zgodnie z zaleceniem lekarza,

aparat musi być sprawny tzn. posiadać parametry zgodne z podanymi w instrukcji obsługi. Konstrukcja aparatu (zespół bloków wewnętrznych oraz organy regulacji i wskaźniki w obrębie płyty czołowej) musi zapewniać bezpieczeństwo pacjentowi i personelowi obsługującemu aparat. Ponieważ efekty lecznicze zależą od parametrów stosowanego przebiegu toteż parametry te podlegają ścisłym definicjom. Także pojęcia używane w instrukcjach muszą być definiowane jednoznacznie.

Rodzaje sygnałów stosowanych podczas terapii

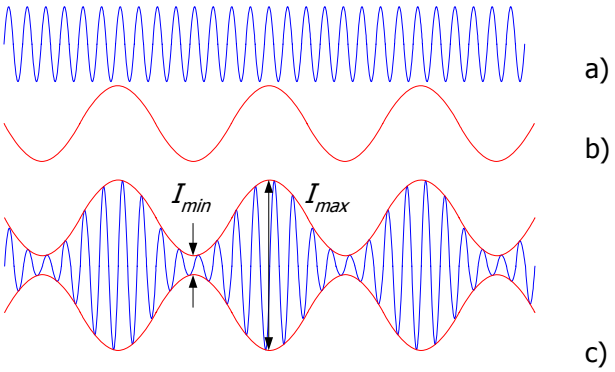
Na sygnały stosowane podczas terapii prądem zmiennym małej i średniej częstotliwości można popatrzeć z punktu widzenia ich opisu w funkcji czasu bądź w funkcji częstotliwości. Najprostszym do scharakteryzowania jest sygnał sinusoidalny o częstotliwości f (okresie $T = 1/f$) i amplitudzie I_A. O jego czystości świadczy współczynnik zniekształceń h definiowany jako:

$$h = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^{n} I_i^2}}{I_1} \tag{1}$$

gdzie I_1 – amplituda składowej podstawowej, I_i – amplituda składowej harmonicznej.

Jeżeli sygnał jest czystą sinusoidą czyli posiada tylko pierwszą (podstawową) harmoniczną to jego miarą jest amplituda I_A (wartość maksymalna), wartość skuteczna $I_{sk} = I_A / \sqrt{2}$ bądź wartość średnia, która w tym przypadku jest równa zero (zgodnie z przyjętymi definicjami: $I_{sk} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T I^2(t)\, dt}$ oraz $I_{sr} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T I(t)\, dt$). Sinusoidzie tak opisanej odpowiada w dziedzinie częstotliwości jeden prążek (dla częstotliwości f), którego amplituda jest równa I_A.

Sygnał ten można zmodulować amplitudowo, np. za pomocą innego sygnału sinusoidalnego o amplitudzie I_m i częstotliwości f_m ($f_m < f$). Wtedy amplituda sygnału modulowanego zmienia się proporcjonalnie do sygnału modulującego (rys. 2).

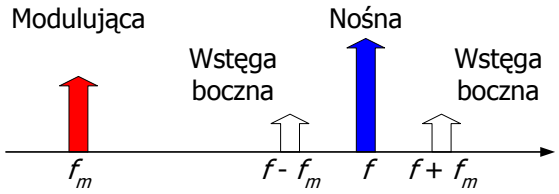


Rys. 2. Modulacja amplitudowa: a) fala niemodulowana (nośna) o amplitudzie I_A oraz częstotliwości f, b) sygnał modulujący o amplitudzie I_m oraz częstotliwości f_m, c) fala zmodulowana amplitudowo

Dla tak zmienionego przebiegu określa się istotny współczynnik zwany głębokością modulacji m. Jest on równy stosunkowi amplitud sygnału modulującego I_m oraz sygnału modulowanego I. Można go wyznaczyć eksperymentalnie na podstawie zależności (rys. 2):

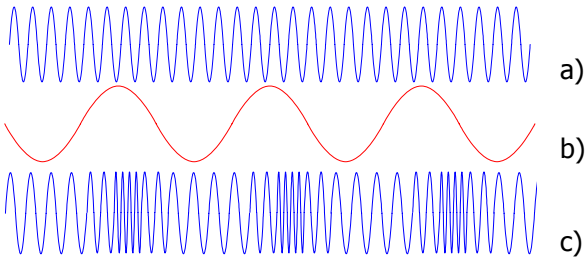
$$m = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} \tag{2}$$

Widmo takiego sygnału ulega zmianie. Zamiast jednego prążka o częstotliwości f i amplitudzie I_A pojawiają się (oprócz prążka o częstotliwości modulującej f_m i amplitudzie I_m) dodatkowe dwa boczne prążki (rys. 3) o częstotliwości $f - f_m$ oraz $f + f_m$. Ich amplituda jest równa $I_A \cdot \frac{m}{2}$.



Rys. 3. Widmo częstotliwościowe sygnału zmodulowanego amplitudowo

W przypadku modulacji częstotliwościowej amplituda sygnału modulowanego pozostaje stała natomiast zmienia się cyklicznie wartość chwilowa jego częstotliwość (rys. 4).



Rys. 4. Modulacja częstotliwościowa: a) fala niemodulowana, b) sygnał modulujący, c) fala zmodulowana częstotliwościowo

Przy takiej modulacji widmo jest bardziej złożone, bowiem pojawiają się prążki wokół częstotliwości sygnału modulowanego f o wartościach $f \pm f_m$, $f \pm 2f_m$, $f \pm 3f_m$ itd. Charakterystycznym parametrem tak zmodulowanego przebiegu jest wskaźnik Δf, zwany dewiacją częstotliwości. Jest różnica między najniższą i najwyższą częstotliwością fali nośnej występująca w trakcie modulacji. Czasem określa się także wskaźnik modulacji częstotliwościowej m_f, definiowany jako $m_f = \Delta f / f_m$. Ponieważ wskaźnik ten przybiera różne wartości, dlatego do standardów należy podanie tylko jednej wartości, która wynika ze stosunku maksymalnej dopuszczalnej dewiacji Δf_{max} oraz maksymalnej częstotliwości modulującej f_m:

$$m_{f\ max} = \frac{\Delta f_{max}}{f_{m\ max}} \tag{3}$$

Sygnał leczący może mieć także inne kształty: sinusoidy wyprostowanej jednopołówkowo lub dwupołówkowo, trójkąta, prostokąta itd. Ze względu na to, że podczas aplikacji pacjentowi prądu leczącego operuje się miarą wartości średniej toteż należy przypomnieć, jakie relacje występują relacje miedzy amplitudą sygnału a wartością średnią. Odpowiednie przeliczniki przedstawia tabela 1.

Tabela 1. Relacje między amplitudą sygnału I_A a jego wartością średnią I_{sr}

Lp.	Kształt sygnału	Wartość średnia
1.	Sinusoida wyprostowana jednopołówkowo	I_A/π
2.	Sinusoida wyprostowana dwupołówkowo (wartość średnia modułu)	$2I_A/\pi$
3.	Prostokątny o współczynniku wypełnienia 1/2 wartość średnia modułu	I_A
4.	Trójkątny wartość średnia modułu	$I_A/2$

Podsumowując: powyższe rozważania wskazują, że sygnał leczący postrzegany w dziedzinie częstotliwości charakteryzuje się:

- jednym prążkiem, np. sinusoida,
- kilkoma prążkami, np. sinusoida zmodulowana amplitudowo,
- dużą liczbą prążków (ograniczone widmo dyskretne), np. sygnał prostokątny, sygnał trójkątny.

Spotyka się także inne sygnały, wytworzone sztucznie, o bardziej złożonym kształcie. Nie jest to jedyny sposób tworzenia kształtów sygnałów leczących.

Znana jest także metoda rejestracji odpowiednich, patologicznych sygnałów pacjenta: sygnał taki wzmacniania się, a następnie odwracania w fazie. Po tym zabiegu sygnał wraca do pacjenta po to, aby skompensować istniejący sygnał patologiczny. Widmo tego sygnału jest bardzo szerokie i leży w paśmie wyższych częstotliwości. Wartości prądów są bardzo znikome (rzędu mikroamperów). Terapia nosi nazwę *terapii informacyjnej*[*] i nie jest jeszcze rozpowszechniona.

[*] Maciejewski B., Systemowa terapia informacyjna. SYMBIONICS, Warszawa 1997