



Elektroniczna aparatura medyczna

SEMESTR V

Człowiek- najlepsza inwestycja



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



*Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego*



Prowadzący wykład

prof. dr hab. inż. Krzysztof Kałużyński

prof. dr hab. inż. Tadeusz Pałko

dr inż. Kazimierz Pęczalski



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Uzyskiwane kompetencje

Wiedza

Podstawowa wiedza w zakresie technik odbioru sygnałów biomedycznych

Wiedza w zakresie aparatury do badania właściwości tkanek, do terapii z wykorzystaniem ultradźwięków i sygnałów elektrycznych

Wiedza w zakresie systemów stosowanych do badania czynności narządów

Świadomość uwarunkowań użytkowania aparatury elektromedycznej

Umiejętności w zakresie:

- określenia wymagań dla toru wzmacniającego wybrany sygnał bioelektryczny
- przeprowadzania pomiarów parametrów systemu elektromedycznego
- planowania i prowadzenia eksperymentów (pomiarów)
- analizy wyników eksperymentu
- współpracy zespołowej

Zaliczenie przedmiotu:

- | | | |
|-----------------|---|--------------------|
| 1. Egzamin | - | 70% oceny końcowej |
| 2. Laboratorium | - | 30% oceny końcowej |

Wymagania:

1. Uzyskanie z egzaminu min. 50% punktów
2. Uzyskanie z laboratorium min. 50% punktów

pytania egzaminacyjne znajdują się na stronie ZIB



Literatura

Zajt T. Metody woltamperometryczne i elektrochemiczna spektroskopia impedancyjna, 2001, W. Gdańskie

Nowakowski A., Kaczmarek M., J., Hryciuk M., Postępy Termografii, 2001, W. Gdańskie

Biocybernetyka i Inżynieria Biomedyczna 2000 (red. M. Nałęcz) t. 2 Biopomiary.

EXIT Warszawa 2001 Pałko T.: Ośrodek intensywnego nadzoru szpitalnego

Elektronika medyczna (red. J. Keller), rozdz. 9.. Warszawa 1972.

Northrop R. Analysis and Application of Analog Electronic Circuits to Biomedical Instrumentation CRC, 2004

Aston R. Principles of Biomedical Instrumentation and Measurement. Merrill Publ. Comp. Columbus 1990.

Webster J. G. Medical instrumentation - application and design. John Wiley and Sons.Inc. York 1995.




Elektroniczna aparatura medyczna

I


Człowiek jako źródło sygnałów Wzmacniacz biologiczny






**PROGRAM ROZWOJOWY
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ**


Człowiek jako źródło sygnałów biologicznych



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA ROZWOJU



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



**PROGRAM ROZWOJOWY
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ**


Człowiek jako źródło sygnałów biologicznych I

Człowiek jest źródłem ogromnej liczby różnego rodzaju sygnałów.


Większość narządów wewnętrznych stanowi źródło sygnałów elektrycznych bądź mechanicznych, a także sygnałów magnetycznych, czyli pola indukcji magnetycznej – powstających w wyniku przepływu prądu elektrycznego w tkankach. Możemy mieć także do czynienia z sygnałami chemicznymi – np. pH w ślinie.

Sygnały te są na ogół wynikiem spontanicznej aktywności narządów, mogą jednak być również wynikiem zewnętrznego pobudzenia, jak np. potencjały wywołane czy echo ultradźwiękowe w ultrasonografii.

Układ krążenia – źródło wielu sygnałów elektrycznych, mechanicznych i magnetycznych.



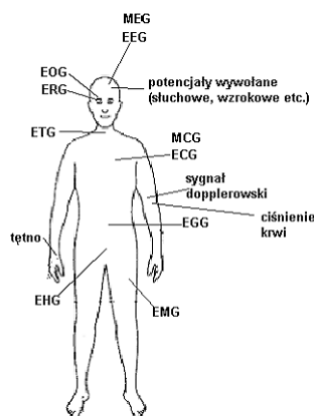
KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA ROZWOJU



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

Człowiek jako źródło sygnałów biologicznych II

MEG – magnetoencefalogram
EEG – elektroencefalogram
EOG – elektrookulogram
ERG – elektroretinogram
ETG – elektrotyreogram
EKG – elektrokardiogram
MKG/MCG – magnetokardiogram
EGG – elektrogastrogram
EHG – elektrohisterogram
EMG – elektromiogram

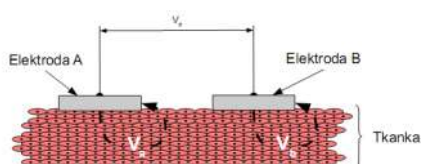


Człowiek jako źródło sygnałów biologicznych III

Właściwości wybranych sygnałów biologicznych

Sygnal	Poziom	Pasma
EKG	~1mV	0.01-kilkaset Hz
EEG	<100μV	5 rytmów, 0.1-30Hz
EMG	10μV-100mV	~10Hz - ~1kHz
EGG	<1mV	0.02-0.2Hz
EHG	50-80mV	0.1-500Hz
EOG	<100μV	0.1-10Hz
potencjał wywołany	10 μV-100mV	kilka kHz
ERG elektretinogram	10-300μV	0.1-100Hz
sygnał dopplerowski	~ μV - 100μV	akustyczny (po demodulacji)

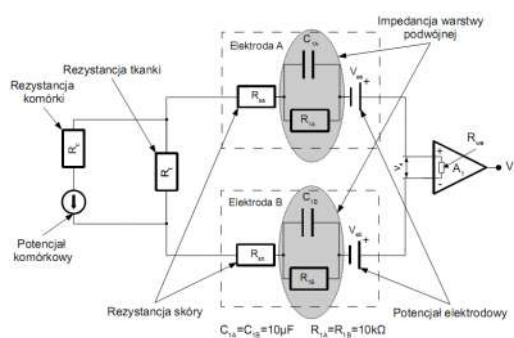
Człowiek jako źródło sygnałów biologicznych IV



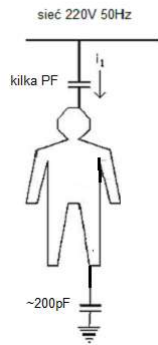
- ciało - kilkadziesiąt Ω (komórka) + kilkadziesiąt-kilkaset Ω (równoległy opór tkanki)
- elektrody - impedancja zależna od częstotliwości i przygotowania skóry (od $0.5\text{k}\Omega$ nawet do ponad $20\text{k}\Omega$; złuszczona, gruba skóra – do $500\text{k}\Omega$); potencjał elektrodowy ok. 200mV (jednakowy)

Człowiek jako źródło sygnałów biologicznych IV

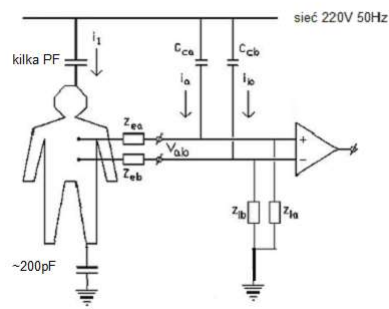
- elektrody - impedancja zależna od częstotliwości i przygotowania skóry nawet do setek $\text{k}\Omega$, możliwa asymetria impedancji elektrod;
- potencjał 50Hz na powierzchni ciała ludzkiego jest rzędu kilkudziesięciu mV , co przy asymetrii impedancji elektrodowych stawia trudne wymagania wzmacniaczowi – pojawia się duży poziom zakłóceń sieciowych - patrz poziomy sygnałów w tabeli.



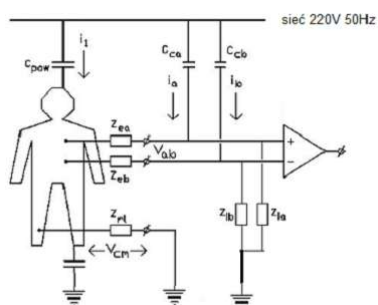
Zakłócenia w pomiarach sygnałów biologicznych



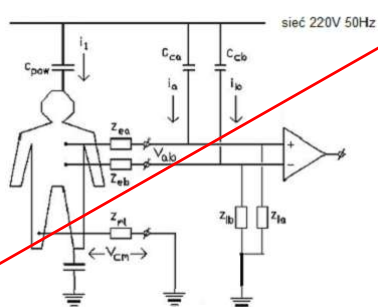
Zakłócenia w pomiarach sygnałów biologicznych



Zakłócenia w pomiarach sygnałów biologicznych



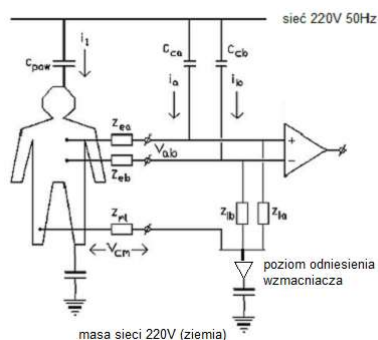
Zakłócenia w pomiarach sygnałów biologicznych





PROGRAM ROZWOJOWY
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

Zakłócenia w pomiarach sygnałów biologicznych



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



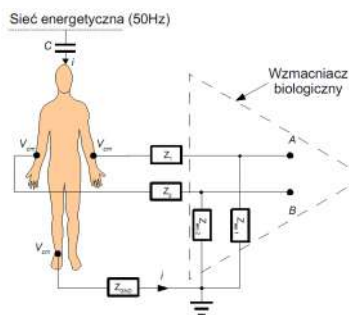
PROGRAM ROZWOJOWY
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

Człowiek jako źródło sygnałów biologicznych V

Zakłócenia w pomiarach sygnałów biologicznych

Zakłócenia wywołane przepływem prądu przesunięcia

Przez pojemności (rzędu dziesiątek pF) między siecią 50Hz a pacjentem płynie do masy przez impedancję Z_{GND} (rzędu 50k Ω) prąd pojemnościowy (przesunięcia). Jego natężenie jest rzędu 0.1-0.2 μ A, ale może przekraczać 1 μ A. Dla 1 μ A wartość V_{cm} wynosi $i \cdot Z_{GND} = 50mV$.



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



PROGRAM ROZWOJOWY
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

Człowiek jako źródło sygnałów biologicznych V

Zakłócenia w pomiarach sygnałów biologicznych

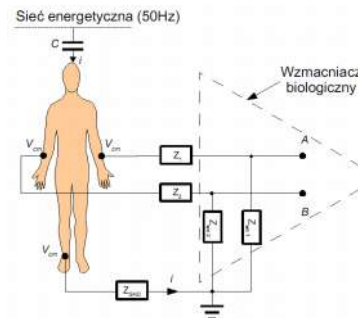
Jeśli natężenie prądu pojemnościowego wynosi $1\mu\text{A}$, a Z_{GND} wynosi ok. $50\text{k}\Omega$, V_{cm} wynosi $i \cdot Z_{\text{GND}} = 50\text{mV}$. Jeśli wzmacniacz różnicowy ma niejednakowe i skończone impedancje wejściowe, powstaje składowa różnicowa wynikająca z asymetrii i obecności składowej 50Hz:

$$V_A - V_B = \frac{Z_{\text{we1}}}{Z_{\text{we1}} - Z_1} V_{\text{cm}} - \frac{Z_{\text{we2}}}{Z_{\text{we2}} - Z_2} V_{\text{cm}}$$

jeśli $Z_1, Z_2 \ll Z_{\text{we1}}$, (zakładamy $Z_{\text{we1}} \approx Z_{\text{we2}} = Z_{\text{we}}$) mamy

$$V_A - V_B = \left(\frac{Z_1 - Z_2}{Z_{\text{we}}} \right) V_{\text{cm}}$$

dla wartości $Z_{\text{we}} = 50\text{M}\Omega$, $Z_2 - Z_1 = 20\text{k}\Omega$ mamy $V_A - V_B = 20\mu\text{V}$, co jest niedopuszczalne przy odbiorze sygnału EEG.



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



PROGRAM ROZWOJOWY
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

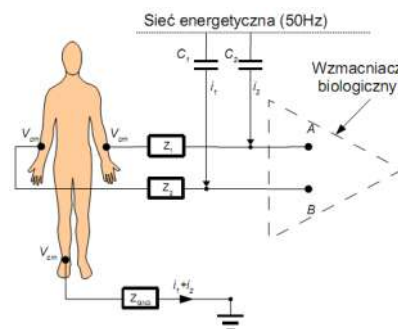
Człowiek jako źródło sygnałów biologicznych V

Zakłócenia w pomiarach sygnałów biologicznych

Zakłócenia indukowane - indukcja prądów w przewodach elektrodowych na skutek przepływu zmiennego prądu 50Hz.

Z_1, Z_2 - impedancje elektrodowe, ich różnica może sięgać $20\text{k}\Omega$ (dla porównania rezystancja ciała - ok. 500Ω).

Jeśli przewody leżą blisko siebie, $i_1 = i_2$. Przy kablu o długości kilka m, natężenie tych prądów wynosi kilka nA.



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



PROGRAM ROZWOJOWY
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

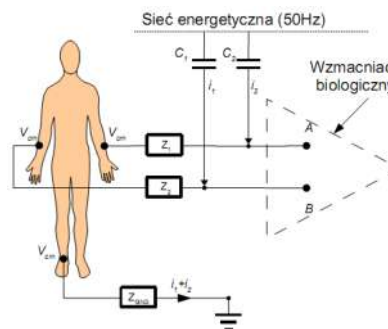
Człowiek jako źródło sygnałów biologicznych V

Zakłócenia w pomiarach sygnałów biologicznych

Jeśli przewody leżą blisko siebie, $i_1=i_2$.
Przy kablu o długości kilka m, natężenie prądów i_1 , i_2 wynosi kilka nA. Napięcie różnicowe powstające w wyniku istnienia różnic wartości impedancji elektrodowych Δv jest równe:

$$\Delta v = i_1 Z_1 - i_2 Z_2 \approx i_{1,2} (Z_1 - Z_2)$$

i wynosi około $100\mu\text{V}$. W przypadku sygnału EKG stanowi to około 10% sygnału użytecznego, a w przypadku EEG przekracza poziom sygnału będącego przedmiotem zainteresowania.



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



PROGRAM ROZWOJOWY
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

Wzmacniacz biologiczny



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



**PROGRAM ROZWOJOWY
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ**

Wzmacniacz biologiczny I

Jest to szeroka klasa wzmacniaczy, ze względu na zróżnicowanie własności sygnałów bioelektrycznych - w szczególności pasmo i poziom, a także sposób/cel wykorzystania wzmacniacza.

Zasadnicze wymagania:

- eliminacja sygnałów wspólnych,
- wzmocnienie sygnałów różnicowych,
- wejście różnicowe o wysokiej impedancji,
- (asymetryczne) wyjście o niskiej impedancji (transformacja impedancji).

Uwaga – ostatnio coraz częściej stosuje się różnicowe (symetryczne) wyjście we wzmacniaczach słabych sygnałów – wtedy zakłócenia indukujące się w obu torach są zbliżone – po wzmocnieniu sygnałów w obu torach następuje ich odjęcie (wzmocnienie różnicowe) – eliminacja zakłóceń.



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA INICJATYWY



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



**PROGRAM ROZWOJOWY
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ**

Wzmacniacz biologiczny II

Wzmacniacz biologiczny – można wyróżnić:

- wzmacniacze o niskim wzmocnieniu $x1 - x10$ - buforowanie, transformacja impedancji między źródłem sygnału a dalszą częścią toru (np. często w elektrokardiografie jest to pierwszy stopień toru); odbiór potencjałów czynnościowych;
- wzmacniacze o średnim wzmocnieniu $x10 - x100$ (EKG), potencjały mięśniowe (EMG)
- wzmacniacze o wysokim wzmocnieniu (EEG)

Transformacja impedancji – układ elektrodowy zawiera nieznane impedancje, mogące przybierać duże wartości; różnicowe wzmacnianie sygnału w takich warunkach jest niekorzystne – należy przetransformować sygnały i impedancje w taki sposób, by nie zniekształcić sygnałów, a impedancje wyjściowe układu transformującego były znane i najlepiej niskie. Zapewnia to np. wzmacniacz operacyjny w konfiguracji nieodwracającej, a także wtórnik.



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA INICJATYWY



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

Wzmacniacz biologiczny III

Wzmacniacz biologiczny WB budowany jest w oparciu o wzmacniacze operacyjne (lub wzmacniacze specjalne, których elementy składowe stanowią wzmacniacze operacyjne). Parametry tych wzmacniaczy warunkują parametry i możliwości WB.

WB powinna cechować wysoka impedancja wejściowa, ponieważ źródło sygnałów - człowiek + elektrody - ma impedancję od $10^3\Omega$ do $10^7\Omega$. WB powinien mieć impedancję wejściową co najmniej o rząd wielkości wyższą (a nawet więcej). Współczesne wzmacniacze operacyjne - $10^{10}\Omega$. Uwaga – wzmacniacze posiadają także pojemności wejściowe rzędu kilku – dziesięciu pF – impedancja takiej pojemności wynosi $15G\Omega$ dla $f=10\text{Hz}$, $1.5G\Omega$ dla 100Hz i $150M\Omega$ dla 1000Hz – silnie bocznikują R_{we} (obniżają moduł Z_{we}).


Wzmacniacz biologiczny IV

Wzmacniacz biologiczny budowany jest w oparciu o wzmacniacze operacyjne (lub wzmacniacze specjalne, których elementy składowe stanowią wzmacniacze operacyjne). Parametry tych wzmacniaczy warunkują parametry i możliwości WB.

Pasma wzmacniaczy biologicznych - zróżnicowane, zależne od widma sygnału. Zazwyczaj stosuje się ograniczenie pasma od dołu w celu wyeliminowania potencjałów elektrodowych, np. w EKG jest to często 0.05Hz. Wzmacniacz operacyjny nie wprowadza ograniczenia pasma od strony niskich częstotliwości.


Często problem stanowią właściwości szumowe – ponieważ sygnały biologiczne są wolnozmiennie - znajdujemy się w bliskim 0Hz obszarze charakterystyki pierwiastka widmowej gęstości mocy szumów w funkcji częstotliwości – przeważają szумы typu $1/f$, które bardzo szybko rosną w miarę zbliżania się do 0Hz.


Podawane przez producentów wartości tego parametru dotyczą zakresu częstotliwości w prawo od kolana tej charakterystyki, gdzie nie ulegają zmianom i są najniższe.



**PROGRAM ROZWOJOWY
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ**

Wzmacniacz biologiczny

Wzmacniacz operacyjny jako element WB

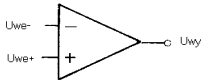

**KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI**

**UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY**



**PROGRAM ROZWOJOWY
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ**

Wzmacniacz biologiczny V

Wzmacniacz operacyjny - podstawowy element WB





Parametry idealnego OA
 $R_{we\pm} = \infty$ $R_{we} = \infty$ $CMRR = \infty$ $C_{we} = 0$ $K_{ur} = \infty$ ($K_{us}=0$)

$I_{b1}, I_{b2}, \text{szumy} = 0$ $R_{wy} = 0$ $f_g = \infty$

$CMRR = K_{ur}/K_{us}$

**Element przeznaczony do pracy z zewnętrznym sprzężeniem
zwrotnym!!!**
własności układu określa pętla sprzężenia zwrotnego

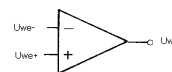

**KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI**

**UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY**




PROGRAM ROZWOJOWY
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

Wzmacniacz biologiczny IX

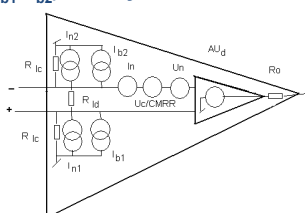


Wzmacniacz operacyjny - podstawowy element WB

Parametry rzeczywistego OA

$R_{we\pm}$, R_{we} – skończone, $C_{we} > 0$, K_u - ograniczone, I_{b1} , I_{b2} , szумы – różne od 0, $R_{wy} > 0$, f_g ograniczone (stabilność), $CMRR$ ograniczone

parametry o charakterze błędów – napięcie niezrównoważenia, prądy polaryzujące I_{b1} , I_{b2} , prąd niezrównoważenia ($I_{b1} - I_{b2}$), szумы



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA INICJATYWA



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



PROGRAM ROZWOJOWY
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

Wzmacniacz biologiczny X

Wzmacniacz operacyjny - podstawowy element WB

Wzmacniacz jest z reguły układem trzystopniowym – zawiera wzmacniacz różnicowy, układ wzmacniania i przesuwania poziomu oraz stopień wyjściowy – z każdym z tych stopni związany jest jeden biegun charakterystyki częstotliwościowej. Praca takiego układu z ujemnym sprzężeniem zwrotnym może grozić niestabilnością i wymaga stosowania zabiegów mających zapewnić stabilność. Nie dotyczy to zazwyczaj wzmacniaczy wzmacniających wolnozmiennie sygnały biologiczne, gdyż są one zwykle skompensowane przez wprowadzenie dominującego bieguna. Jednak wzmacniacze ech ultradźwiękowych mogą wymagać kompensacji częstotliwościowej.



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA INICJATYWA

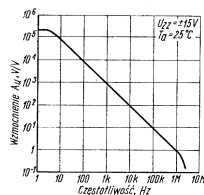
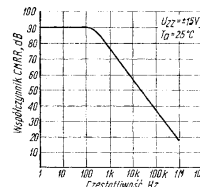


UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

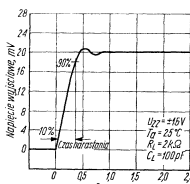
Wzmacniacz biologiczny XII

Wzmacniacz operacyjny - podstawowy element WB
- niedoskonałości rzeczywistego wzmacniacza

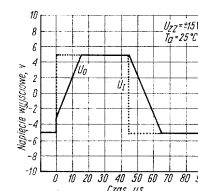
$$CMRR = \frac{K_{ur}}{K_{us}}$$



Odpowiedź częstotliwościowa z otwartą pętlą



odpowiedź skokowa mały sygnał



odpowiedź skokowa duży sygnał



Wzmacniacz biologiczny XIII

Wzmacniacz operacyjny - podstawowy element WB

Skutki niedoskonałości - szумы wzmacniacza

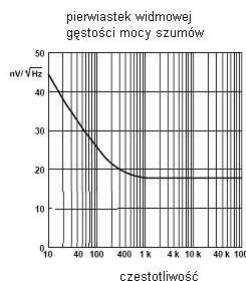
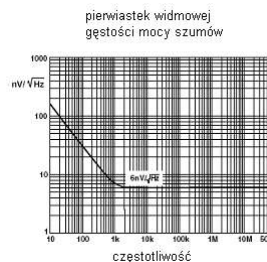
Szумы 1/f (rysunek przedstawia pierwiastek kwadratowy widmowej gęstości mocy szumów W); wywołane są generacją i rekombinacją nośników w obszarze bariery potencjału bądź na powierzchni półprzewodnika

Ekstrapolacja tego wykresu w stronę niższych f daje wartości odpowiednio około:

- 700nV/√Hz 1Hz
- 3000nV/√Hz 0.1Hz
- 12000nV/√Hz 0.01Hz

$$P_{sz} = \int_{f_1}^{f_2} W^2 df$$

Całkując dla zakresu 0.1 – 10Hz uzyskujemy wartość skuteczną napięcia szumów 1/f około 1μV, dla pasma 0.1 – 20Hz – około 1.4μV. Są to wartości porównywalne z napięciami EEG.



Wzmacniacz biologiczny

Wzmacniacz różnicowy

Wzmacniacz biologiczny XIV

Wzmacniacz różnicowy

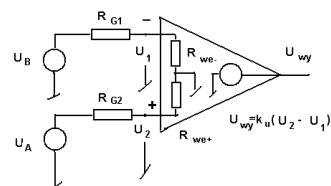
$$U_A = U_C + U_D / 2 \quad U_B = U_C - U_D / 2$$

$$U_1 = \frac{R_{we-}}{R_{G1} + R_{we-}} U_B \quad U_2 = \frac{R_{we+}}{R_{G2} + R_{we+}} U_A$$

$$U_{wy} = k(U_2 - U_1) = k\left(\frac{R_{we+}}{R_{G2} + R_{we+}} U_B - \frac{R_{we-}}{R_{G1} + R_{we-}} U_A\right) =$$

$$= k\left[U_D \left(\frac{R_{we+}}{R_{G2} + R_{we+}} + \frac{R_{we-}}{R_{G1} + R_{we-}}\right) + U_C \left(\frac{R_{we+}}{R_{G2} + R_{we+}} - \frac{R_{we-}}{R_{G1} + R_{we-}}\right)\right]$$

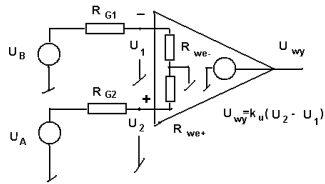
składowa różnicowa składowa poch. od sygnału wspólnego



**PROGRAM ROZWOJOWY
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ**

Wzmacniacz biologiczny XV

Wzmacniacz różnicowy



$$U_{wy} = k[U_D \left(\frac{R_{we+}}{R_{G2} + R_{we+}} + \frac{R_{we-}}{R_{G1} + R_{we-}} \right) + U_C \left(\frac{R_{we+}}{R_{G2} + R_{we+}} - \frac{R_{we-}}{R_{G1} + R_{we-}} \right)]$$

składowa różnicowa składowa poch. od sygnału wspólnego


U_C – napięcie wspólne
 U_D – napięcie różnicowe


Przypadki

1. Idealny $R_{we-} = R_{we+}$ **lub** $\frac{R_{we+}}{R_{G2} + R_{we+}} = \frac{R_{we-}}{R_{G1} + R_{we-}}$ $\rightarrow U_{wyc} = 0$
 $R_{G1} = R_{G2}$

2. Bliższy rzeczywistości $R_{we-} = R_{we+} = R_{we}$ $R_{G1} \neq R_{G2}$

$$U_{wyc} = kU_C \left(\frac{R_{we}}{R_{G2} + R_{we}} - \frac{R_{we}}{R_{G1} + R_{we}} \right) = kU_C \left(\frac{R_{we}(R_{G2} - R_{G1})}{(R_{G2} + R_{we})(R_{G1} + R_{we})} \right)$$

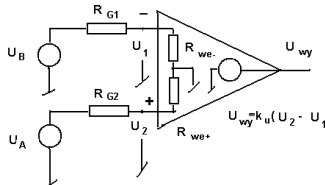
 KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ SPOŁECZNY 

**PROGRAM ROZWOJOWY
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ**

Wzmacniacz biologiczny XVI

Wzmacniacz różnicowy



Przykład – zakłócenie sieciowe 50Hz

$$R_{G2} - R_{G1} = 100\Omega$$

$$U_C = 10mV$$


$$R_{we} = 1M\Omega$$


Wówczas odniesione do wejścia napięcie pochodzące od wspólnego sygnału sieciowego wyniesie $U_{wyc}/k = 10^{-6}V$ – poziom EEG, ale jeśli

$$R_{G2} - R_{G1} = 1k\Omega$$

$$U_C = 100mV$$

$$U_{wyc}/k = 10^{-4}V$$
 – za dużo w przypadku EEG

 KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

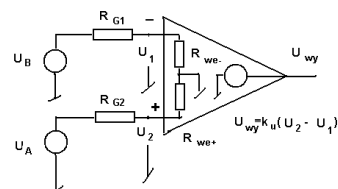
UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ SPOŁECZNY 



PROGRAM ROZWOJOWY
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

Wzmacniacz biologiczny XVII

Wzmacniacz różnicowy



Techniki stosowane w celu eliminacji sygnałów wspólnych:

1. Symetria układu elektrod i wzmacniacza!!!!!!
2. Zwiększanie R_{we}
3. Ograniczanie pasma toru do częstotliwości poniżej 50Hz – jeśli pasmo sygnału na to pozwala.
4. Stosowanie specjalnych technik eliminacji sygnału wspólnego (np. sprzężenie zwrotne)



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

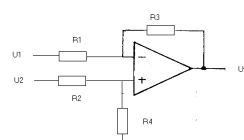


PROGRAM ROZWOJOWY
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

Wzmacniacz biologiczny XVIII

Wzmacniacz różnicowy

$$U_{wy} = -U_1 \frac{R_3}{R_1} + \left(1 + \frac{R_3}{R_1}\right) \frac{R_4}{R_4 + R_2} U_2$$



Wzmocnienie różnicowe przy $R_3/R_1 = R_4/R_2$

$$k_{u_r} = \frac{U_{wy}}{U_2 - U_1} = \frac{R_3}{R_1}$$

Wzmocnienie sygnału wspólnego przy $U_1 = U_2 = U_c$

$$k_{u_s} = \frac{2U_{wy}}{U_2 + U_1} = \frac{R_4 R_1 - R_2 R_3}{R_1 (R_4 + R_2)}$$

Współczynnik tłumienia sygnału wspólnego wynikający z asymetrii rezystorów

δ - względna tolerancja rezystorów (jednakowa, najgorszy przypadek)

$$CMRR' = \frac{k_{u_r}}{k_{u_s}} = \frac{R_3 (R_2 + R_4)}{R_4 R_1 - R_2 R_3} = \frac{1 + k_{u_r}}{\frac{R_4 R_1}{R_2 R_3} - 1} = \frac{1 + k_{u_r}}{4\delta}$$



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



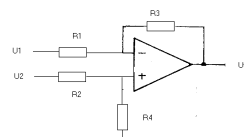
UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



PROGRAM ROZWOJOWY
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

Wzmacniacz biologiczny XIX

Wzmacniacz różnicowy



Współczynnik tłumienia sygnału wspólnego wynikający z asymetrii rezystorów

$$CMRR' = \frac{ku_r}{ku_s} = \frac{R_3(R_2 + R_4)}{R_4R_1 - R_2R_3} = \frac{1 + ku_r}{\frac{R_4R_1}{R_2R_3} - 1} = \frac{1 + ku_r}{4\delta}$$

Wypadkowy współczynnik tłumienia CMRR

$$\frac{1}{CMRR} = \frac{1}{CMRR_{Op}} + \frac{1}{CMRR'}$$

$CMRR_{Op}$ wzmacniacza operacyjnego - 60-120dB. Aby utrzymać wysoki wypadkowy CMRR należy zapewnić wysoki $CMRR'$, a więc wysokie tolerancje i wysokie wzmocnienie. To drugie - wymaga dużego stosunku $R_3/R_1 \Rightarrow$ albo niskie R_1 - wtedy spadek R_{we} - (niekorzystne), albo bardzo wysokie R_3 - wtedy pojawiają się problemy wynikające z prądów polaryzacyjnych wzmacniacza. Różnice natężeń prądów wpływających do obu wejść mogą powodować znaczne różnice spadków napięć na rezystancjach dołączonych do tych wejść.



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGICZNA INICJATYWA



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



PROGRAM ROZWOJOWY
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

Wzmacniacz biologiczny

Wzmacniacz pomiarowy



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGICZNA INICJATYWA



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



PROGRAM ROZWOJOWY
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

Wzmacniacz biologiczny XX

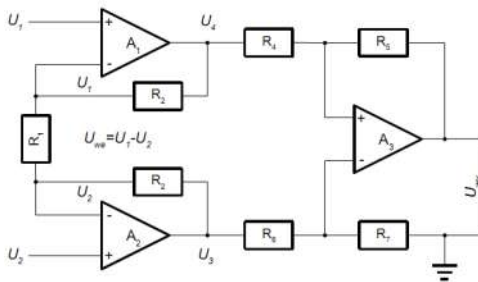
Wzmacniacz pomiarowy

Aby wyznaczyć wzmocnienia układów zbudowanych na A1 i A2 należy posłużyć się zasadą superpozycji, tj. zsumować skutki obecności napięć U_1 i U_2 wyznaczone w sytuacji zerowego napięcia na drugim wejściu. Niech

$$U_1 = U_C + U_D / 2$$

$$U_2 = U_C - U_D / 2$$

gdzie U_C – napięcie wspólne, U_D – napięcie różnicowe (sygnał biologiczny)



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGICZNA INICJATYWA



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

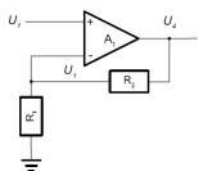


PROGRAM ROZWOJOWY
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

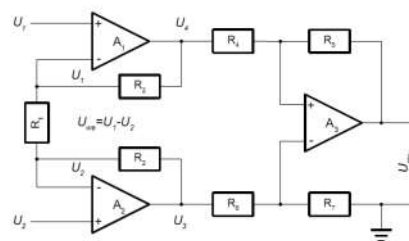
Wzmacniacz biologiczny XXI

Wzmacniacz pomiarowy

Aby wyznaczyć wzmocnienia A1 i A2 należy posłużyć się zasadą superpozycji, tj. zsumować skutki obecności napięć U_1 i U_2 wyznaczone przy zerowym napięciu na drugim wejściu. Dla U_4 przebiega to w poniższy sposób (dla U_3 – analogicznie):

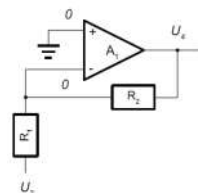


$$U_{41} = U_1 \left(\frac{R_2}{R_1} + 1 \right)$$



$$U_{42} = -U_2 \frac{R_2}{R_1}$$

$$U_4 = U_{41} + U_{42} = U_1 \left(\frac{R_2}{R_1} + 1 \right) - U_2 \frac{R_2}{R_1}$$



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGICZNA INICJATYWA



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

**PROGRAM ROZWOJOWY
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ**

Wzmacniacz biologiczny XXII

Wzmacniacz pomiarowy

Napięcia wyjściowe pierwszego stopnia:

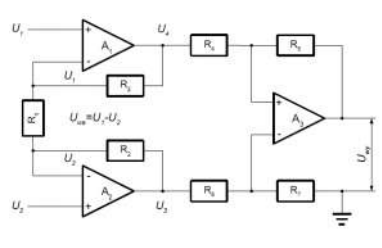
$$U_4 = U_1 \left(\frac{R_2}{R_1} + 1 \right) - U_2 \frac{R_2}{R_1} \quad U_3 = U_2 \left(\frac{R_2}{R_1} + 1 \right) - U_1 \frac{R_2}{R_1}$$

Wypadkowe wzmacnienie różnicowe całego toru, zasada superpozycji, $U_c=0$:

$$U_1 = U_D / 2 \quad U_2 = -U_D / 2$$

$$k_{ur} = \frac{U_{wy}}{U_D} = \frac{1}{U_D} \left(-\frac{2R_2}{R_1} + 1 \right) \left[-\frac{U_D}{2} \frac{R_5}{R_4} + \left(-\frac{U_D}{2} \right) \frac{R_5 + R_4}{R_4} \frac{R_7}{R_7 + R_6} \right] = -\left(\frac{2R_2}{R_1} + 1 \right) \frac{1}{2} \left[\frac{R_5}{R_4} + \frac{1 + \frac{R_5}{R_4}}{1 + \frac{R_7}{R_6}} \right] = -\left(\frac{2R_2}{R_1} + 1 \right) \frac{1}{2} \left[\frac{R_5}{R_4} + \frac{1 + \frac{R_5}{R_4}}{1 + \frac{R_7}{R_6}} \right]$$

przy $R_5/R_4 = R_7/R_6$ $k_{ur} = \frac{U_{wy}}{U_D} = -\left(\frac{2R_2}{R_1} + 1 \right) \frac{R_5}{R_4}$



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA INICJYWACYJNA

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ SPOŁECZNY

**PROGRAM ROZWOJOWY
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ**

Wzmacniacz biologiczny XXIII

Wzmacniacz pomiarowy

wzmacnienie sygnału wspólnego

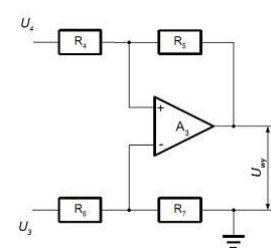
Przy założeniu $U_p=0$ $U_3 = U_c$ $U_4 = U_c$

Z zasady superpozycji:

$$U_{wy} = -U_4 \frac{R_5}{R_4} + U_3 \frac{1 + R_5/R_4}{R_6 + R_7} R_7 = -U_c \frac{R_5}{R_4} + U_c \frac{R_4 + R_5}{R_4(R_6 + R_7)} R_7 =$$

$$U_c \frac{(R_4 + R_5)R_7 - R_5(R_6 + R_7)}{R_4(R_6 + R_7)} = U_c \frac{R_4 R_7 - R_5 R_6}{R_4(R_6 + R_7)}$$

Wypadkowe wzmacnienie sygnału wspólnego wynosi:
i przy spełnieniu warunku $R_5/R_4 = R_7/R_6$ jest równe 0.

$$k_{us} = \frac{U_{wy}}{U_c} = \frac{R_4 R_7 - R_5 R_6}{R_4(R_6 + R_7)}$$


KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA INICJYWACYJNA

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ SPOŁECZNY



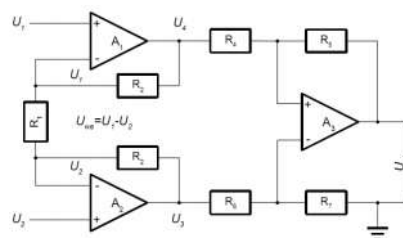
PROGRAM ROZWOJOWY
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

Wzmacniacz biologiczny XXIV

Wzmacniacz pomiarowy

Wzmacniacze z układami A1 i A2 noszą nazwę separatorów – oddzielają źródło sygnału o źle określonej i (być może) wysokiej impedancji od wzmacniacza różnicowego. Ponieważ oporności wyjściowe wzmacniaczy operacyjnych są bardzo niskie, warunkiysterowania wzmacniacza różnicowego zbudowanego z użyciem układu A3 są korzystne i można w tym stopniu uzyskać wysokie różnicowe wzmocnienie.

Czasami stosuje się separatory w postaci wtórników - w układzie w miejscu rezystora R_1 jest rozwarcie.



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA INICJATYWY



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



PROGRAM ROZWOJOWY
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

Wzmacniacz biologiczny XXV

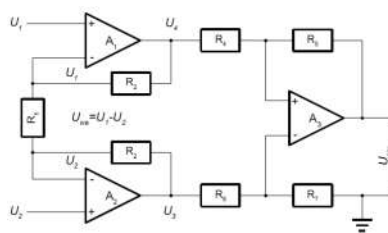
Wzmacniacz pomiarowy

$$U_1 = U_c + U_D / 2 \quad U_2 = U_c - U_D / 2$$

gdzie U_c – napięcie wspólne (np. zakłócenie sieciowe), U_D – napięcie różnicowe (sygnał biologiczny)

$$\begin{aligned} U_4 + U_3 &= U_1 \left(\frac{R_2}{R_1} + 1 \right) - U_2 \frac{R_2}{R_1} + U_2 \left(\frac{R_2}{R_1} + 1 \right) - U_1 \frac{R_2}{R_1} = \\ &= U_1 + U_2 = 2U_c \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_4 - U_3 &= U_1 \left(\frac{R_2}{R_1} + 1 \right) - U_2 \frac{R_2}{R_1} - U_2 \left(\frac{R_2}{R_1} + 1 \right) + U_1 \frac{R_2}{R_1} = \\ &= 2(U_1 - U_2) = U_D \left(\frac{2R_2}{R_1} + 1 \right) \end{aligned}$$



Suma napięć na wyjściach separatorów jest równa podwójnemu napięciu wspólnemu!


Różnica napięć na wyjściach separatorów jest równa wzmocnionemu napięciu różnicowemu!



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA INICJATYWY



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

 **PROGRAM ROZWOJOWY
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ**


Wzmacniacz biologiczny


Wzmacniacz pomiarowy


Przykłady scalonych wzmacniaczy pomiarowych

AD624 – Analog Devices

INA101, INA118 – Texas Instruments (poprz. Burr Brown)


 **KAPITAŁ LUDZKI**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI


UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY 

 **PROGRAM ROZWOJOWY
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ**

Wzmacniacz biologiczny

Eliminacja zakłóceń

 **KAPITAŁ LUDZKI**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY 



PROGRAM ROZWOJOWY
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

Wzmacniacz biologiczny XXV

Eliminacja zakłóceń

1. Stosowanie wzmacniaczy pomiarowych
2. Ekranowanie przewodów elektrodowych
3. Stosowanie sprzężenia zwrotnego



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



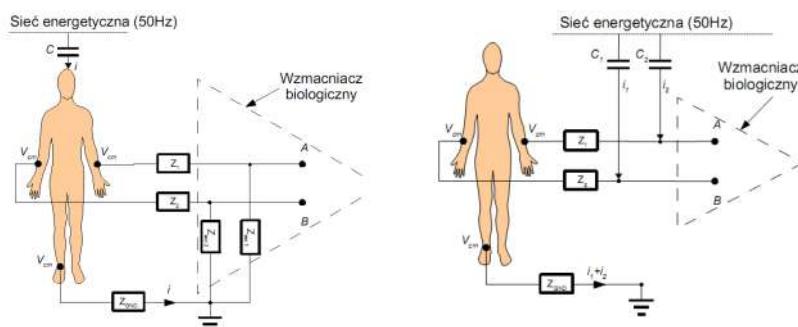
UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



PROGRAM ROZWOJOWY
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

Wzmacniacz biologiczny XXVI

Eliminacja zakłóceń



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



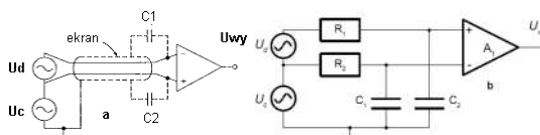
UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

**PROGRAM ROZWOJOWY
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ**

Wzmacniacz biologiczny XXVII

Eliminacja zakłóceń

Ekranowanie wejścia



Obecność napięcia sieciowego (napięcie współbieżne U_c) - do kilkuset mV.

Standardowe ekranowanie przewodów wejściowych - rys.a. Wtedy powstaje układ, którego schemat zastępczy - rys.b. Jeśli $R_1=R_2$ (oporności źródła sygnału oraz przewodów) oraz $C_1=C_2$ (pojemność kabla w ekranie – okładki: ekran i przewód, dielektryk - izolacja; napięcie sieciowe - pole - indukuje sygnał w przewodach - następuje ładowanie i rozładowanie pojemności kabli C_1 i C_2), to oba dzielniki RC są jednakowe i na wejściu wzmacniacza pojawia identyczny sygnał pochodzący od sygnału wspólnego. Jeśli warunek ten nie jest spełniony, to na wejściu wzmacniacza pomiarowego pojawia się różny sygnał pochodzący do s. wspólnego.

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA INŻYNIERY

Ilustracja na podstawie Introduction to Biomedical Equipment Technology, J.Carr, J.M. Brown

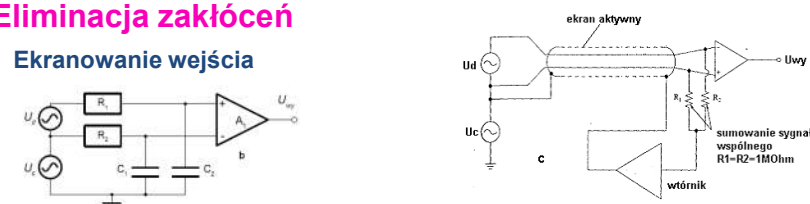
UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ SPOŁECZNY

**PROGRAM ROZWOJOWY
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ**

Wzmacniacz biologiczny XXVIII

Eliminacja zakłóceń

Ekranowanie wejścia



Jeśli warunek symetrii dzielników RC nie jest spełniony, to na wejściu wzmacniacza A_1 pojawia się sygnał różnicowy będący skutkiem niejednakowego podziału napięcia wspólnego - niejednakowego ładowania kondensatorów utworzonych przez ekranowane kable.

Rozwiązaniem jest zastosowanie aktywnego ekranu jak na rys.c. Jeśli na ekran podamy ten sam potencjał wspólny, na którym znajdują się przewody, nie dojdzie to ładowania/rozładowania pojemności kabla - zostanie ona zneutralizowana. Sygnał wspólny podaje się albo bezpośrednio, albo przez wzmacniacz separujący.

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA INŻYNIERY

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ SPOŁECZNY

**PROGRAM ROZWOJOWY
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ**

Wzmacniacz biologiczny XXIX

Eliminacja zakłóceń

Ekranowanie wejścia

Oprócz ekranu aktywnego jak na rys.c można zastosować dodatkowo ekran uziemiony (rys.d).

Ilustracja na podstawie Introduction to Biomedical Equipment Technology, J.Carr, J.M. Brown

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ SPOŁECZNY

**PROGRAM ROZWOJOWY
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ**

Wzmacniacz biologiczny XXX

Eliminacja zakłóceń

Sprężenie zwrotne

Sieć energetyczna (50Hz)

Niech V_{cm} wynosi $i_d \cdot Z_{GND} = 50mV$. Dla typowych wartości $Z_{wc} = 50M\Omega$, $Z_1 = Z_2 = 20k\Omega$ mamy $V_A - V_B = 20\mu V$, co jest widoczne w przebiegu EKG i niedopuszczalne przy EEG. Eliminacja zakłóceń - sprzężenie zwrotne (napięciowe równoległe), sygnał zwrotny nogą.

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ SPOŁECZNY

**PROGRAM ROZWOJOWY
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ**

Wzmacniacz biologiczny XXXI

Eliminacja zakłóceń

Sprężenie zwrotne

Sieć energetyczna (50Hz)

$$V_o = -\frac{2R_f}{R_a} V_{cm}$$

$$V_{cm} = i_d R_{RL} + V_o = i_d R_{RL} - \frac{2R_f}{R_a} V_{cm}$$

$$V_{cm} = \frac{i_d R_{RL}}{1 + \frac{2R_f}{R_a}}$$

Efektywna rezystancja elektrody prawej nogi jest zredukowana w stosunku $(1+2R_f/R_a)$. Jeśli $R_a=25k\Omega$, $R_f=5M\Omega$, zmalała ok. 400 razy i wynosi ona 125 Ω . Napięcie wspólne tylko około 125 μV – a wynosiło 50mV!!

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

**PROGRAM ROZWOJOWY
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ**

Wzmacniacz biologiczny XXXII

Eliminacja zakłóceń

Zastosowane są tu różne techniki eliminacji sygnałów wspólnych – wzmacniacz pomiarowy, aktywny ekran oraz sprzężenie zwrotne na nogę pacjenta. Uwaga – sygnał zwrotny podawany na ekran jest w fazie z napięciem wspólnym, sygnał podawany na pacjenta – w fazie przeciwnej.

Ilustracja na podstawie Introduction to Biomedical Equipment Technology, J.Carr, J.M. Brown

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



PROGRAM ROZWOJOWY
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

Wzmacniacz biologiczny XXXIII

Eliminacja zakłóceń

Inne metody eliminacji szumów i zakłóceń

1. Filtracja (ograniczanie pasma toru sygnałowego)
2. Filtracja sygnału 50Hz
3. Uśrednianie sygnału z szumem - stosowane w innych sytuacjach (np. rejestracja potencjałów wywołanych) - zakłócenia wspólne 50Hz nie są szumem!



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



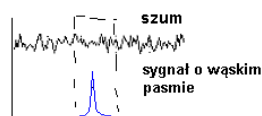
PROGRAM ROZWOJOWY
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

Wzmacniacz biologiczny XXXIV

Eliminacja zakłóceń

Filtracja (ograniczanie pasma toru sygnałowego)

WGM



$$P_{sz} = \int_{f_1}^{f_2} WGM df$$

Ograniczanie pasma toru prowadzi do spadku mocy szumów w torze, w związku z tym proporcjonalnie (pierwiastek) maleje wartość skuteczna napięcia szumów. Miarą stosunku sygnału do szumu S/N jest iloraz wartości skutecznych sygnału i szumu.



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

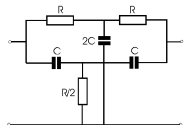


**PROGRAM ROZWOJOWY
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ**

Wzmacniacz biologiczny XXXV

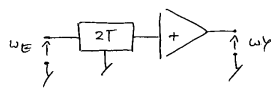
Eliminacja zakłóceń

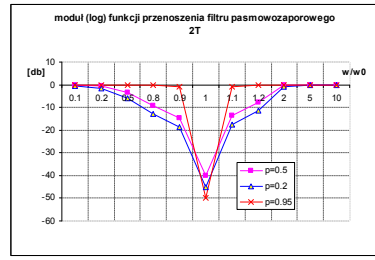
Filtracja sygnału

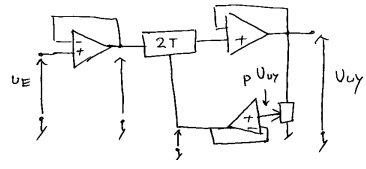



filtr pasmowozaporowy z mostkiem 2T


$$\omega_0 = \frac{1}{RC}$$













**PROGRAM ROZWOJOWY
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ**

Wzmacniacz biologiczny

Wzmacniacz z przetwarzaniem







PROGRAM ROZWOJOWY
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

Wzmacniacz biologiczny XXXVI

Wzmacniacz z przetwarzaniem

W przypadku słabych (wymagających wzmocnień powyżej 1000V/V, np. EEG) i wolnozmiennych sygnałów biologicznych – pojawia się problem dryftu czasowego i temperaturowego wzmacniacza.

W przypadku toru stałoprądowego dryft zostaje wzmocniony razem z sygnałem – pasmo dryftu i sygnału nakładają się.

Rozwiązanie – przesunięcie widma sygnału będącego przedmiotem zainteresowania, realizowane przez kluczkowanie sygnału (chopping, chopper).

Problem doboru częstotliwości przetwarzania.



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



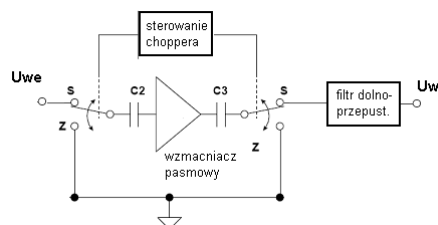
PROGRAM ROZWOJOWY
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

Wzmacniacz biologiczny XXXVII

Wzmacniacz z przetwarzaniem

W przypadku toru stałoprądowego dryft zostaje wzmocniony razem z sygnałem.

Rozwiązanie – przesunięcie widma sygnału będącego przedmiotem zainteresowania w obszar częstotliwości, w którym nie występują szkodliwe zjawiska zakłócające, będące konsekwencją właściwości wzmacniacza. Przesunięcie to realizowane jest przez kluczkowanie sygnału (chopper).



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

**PROGRAM ROZWOJOWY
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ**

Wzmacniacz biologiczny XXXVIII

Wzmacniacz z przetwarzaniem

Analiza pracy wzmacniacza z przetwarzaniem w dziedzinie czasu i częstotliwości

a) po operacji chopperowania (modulacji) pojawia się zbiór widm usytuowanych wokół kolejnych harmonicznych częstotliwości kluczkowania ω_0 i wokół początku układu.

b) Wybierane jest widmo znajdujące się wokół częstotliwości chopperowania i wzmacniane przez wzmacniacz pasmowy o odpowiednio ukształtowanej charakterystyce częstotliwościowej $F_2(\omega)$.

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA INŻYNIERY

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

**PROGRAM ROZWOJOWY
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ**

Wzmacniacz biologiczny XXXIX

Wzmacniacz z przetwarzaniem

Analiza pracy wzmacniacza z przetwarzaniem w dziedzinie czasu i częstotliwości:

b) Wybierane jest widmo znajdujące się wokół częstotliwości chopperowania i wzmacniane przez wzmacniacz pasmowy o odpowiednio ukształtowanej charakterystyce częstotliwościowej $F_2(\omega)$.

c) Chopperowanie na wyjściu (demodulacja) powoduje pojawienie się zbioru widm usytuowanych wokół tych samych częstotliwości co w a).

d) Filtracja dolnoprzepustowa pozwala odzyskać wzmacniony sygnał wejściowy

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA INŻYNIERY

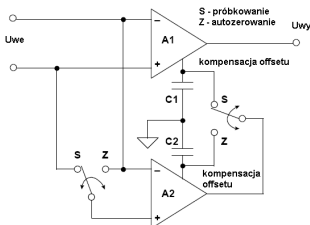
UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

**PROGRAM ROZWOJOWY
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ**

Wzmacniacz biologiczny XL

Wzmacniacz z przetwarzaniem

Współczesna architektura wzmacniacza z przetwarzaniem – polega na eliminacji napięcia niezrównoważenia (tzw. auto-zero), z wykorzystaniem techniki chopperowania.



A1 – tor główny, A2 – tor zerujący. W trybie próbkowania (przełączniki w położeniu "S"), wzmacniacz A2 mierzy napięcie na wejściu A1 wymusza zerowe napięcie na wyjściu A1. Gdy przełączniki są w położeniu „Z”, A2 eliminuje własne napięcie niezrównoważenia - zwarte wejścia A2, na wejście zerujące A2 podane jest napięcie zerujące. W tym trybie w kondensatorze C1 utrzymywane jest napięcie zerujące A1 z poprzedniej części cyklu. W drugiej części cyklu napięcie zerujące A2 utrzymywane jest w C2.

W przedstawionym rozwiązaniu sygnał we zawsze dociera do wyjścia przez A1 i to A1 określa pasmo toru (nie jest ograniczone do połowy częstotliwości chopperowania).

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

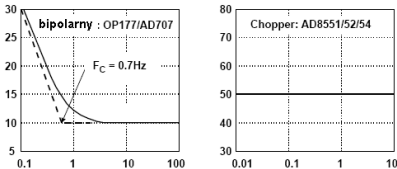
UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ SPOŁECZNY

**PROGRAM ROZWOJOWY
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ**

Wzmacniacz biologiczny XLI

Wzmacniacz z przetwarzaniem

równoważne napięcie szumów $nV/\sqrt{\text{Hz}}$



międzyszczytowe napięcie szumów

pasmo	(OP177/AD707)	CHOPPER (AD8551/52/54)
0.1Hz ~ 10Hz	0.238μV p-p	1.04 μV p-p
0.01Hz ~ 1Hz	0.135μV p-p	0.33μV p-p
0.001Hz ~ 0.1Hz	0.120μV p-p	0.104μV p-p
0.0001Hz ~ 0.01Hz	0.118μV p-p	0.033μV p-p

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ SPOŁECZNY