

ZAKŁÓCENIA W OBWODACH POMIAROWYCH

Cel: Zapoznać się z rodzajami zakłóceń w obwodach pomiarowych

Plan wykładu

- 2.1. Wstęp
- 2.2. Klasyfikacja sygnałów pomiarowych
- 2.3. Zakłócenia przy odbiorze, przetwarzaniu i transmisji sygnałów pomiarowych (analogowych). Klasyfikacja zakłóceń
 - 2.3.1. Źródła zakłóceń zewnętrznych
 - 2.3.2. Źródła zakłóceń wewnętrznych
 - 2.3.3. Zakłócenia losowe. Szумы
 - 2.3.4. Zakłócenia regularne
- 2.4. Sposoby przenikania zakłóceń w obwód pomiarowy
 - 2.4.1. Wpływ połączenia konduktancyjnego
 - 2.4.2. Wpływ połączenia pojemnościowego
 - 2.4.3. Wpływ połączenia indukcyjnego
 - 2.4.5. Zakłócenia elektromagnetyczne

2.1. Wstęp

W warunkach rzeczywistych zawsze razem z sygnałem informacyjnym w linii są obecne zakłócenia.

- **Zakłócenia – są to sygnały niepożądane, które przenikają w obwód sygnału pomiarowego i powodują występowania błędnego jego przetwarzania i pomiaru.**

Wpływ zakłóceń zależy najpierw od **poziomu ich wartości względem wartości sygnału pomiarowego**, od tak zwanego stosunku **sygnał/szum** (szum jest rozumiany w szerokim pojęciu).

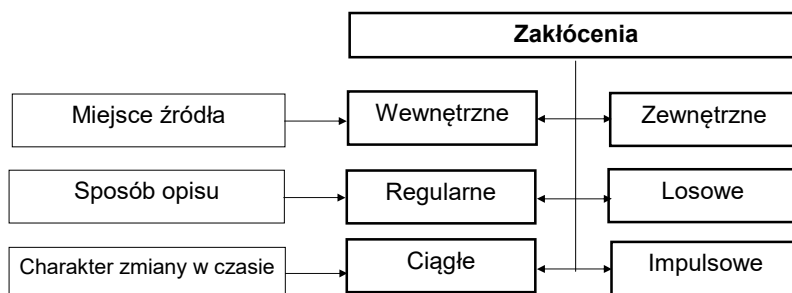
Przy tym negatywne działanie zakłóceń zależy nie tylko od ich poziomu, ale także od innych ich charakterystyk:

- **regularności lub losowości zakłóceń,**
- **pasma częstotliwości, funkcji autokorelacji,**
- **rozkładu amplitud, itp.**

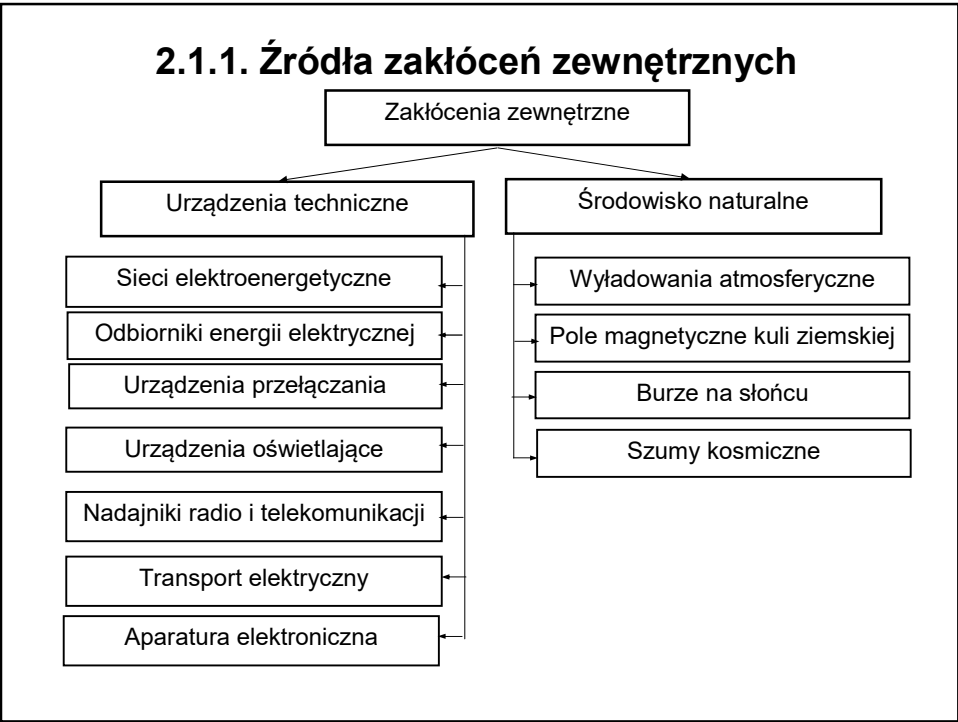
Z innej strony, odporność sygnału pomiarowego na oddziaływanie zakłóceń zależy od charakterystyk sygnału:

- **wykorzystywanych nośnika i modulacji,**
- **stabilności parametrów nośnika itp.**

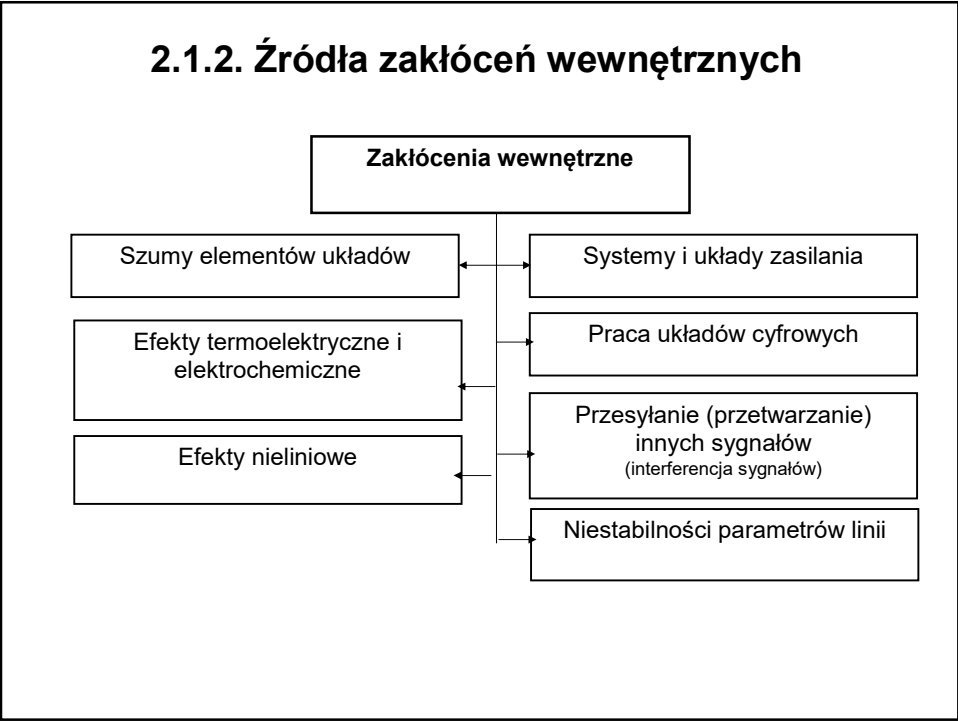
2.1. Zakłócenia przy odbiorze, przetwarzaniu i transmisji sygnałów pomiarowych (analogowych). Klasyfikacja zakłóceń



2.1.1. Źródła zakłóceń zewnętrznych



2.1.2. Źródła zakłóceń wewnętrznych



2.1.3. Zakłócenia losowe. Szумы

- **Zakłócenia losowe:** są to nieregularne zakłócenia, wartości których nie można opisać pewnymi funkcjami czasu, a tylko parametrami, charakteryzującymi ich pewne średnie właściwości:
- wartości średnie, wariancie, funkcje autokorelacji oraz widmowe, rozkład prawdopodobieństwa oraz inne

Zakłócenia losowe ciągłe

Quasi okresowe z losowymi parametrami (U_m, f_0, φ)

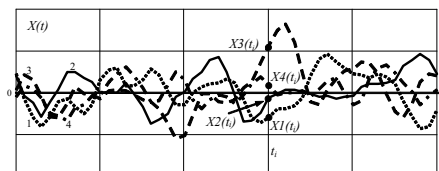
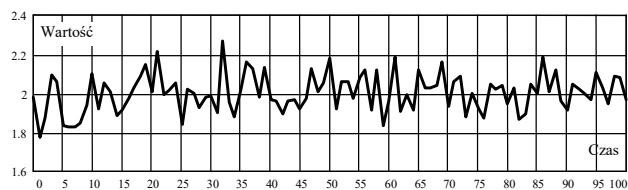
Szumowe wąsko- i szeroko-
pasmowe

Zakłócenia losowe impulsowe

Quasi okresowe z losowymi parametrami (U_m, T_0, τ)

Stochastyczne ciągi impulsowe

2.1.3. Zakłócenia losowe. Szумы



2.1.3. Zakłócenia losowe. Szumy

Szumy ciepłe są wszechobecne, ich moc jest proporcjonalna do temperatury elementu oraz pasma częstotliwości.

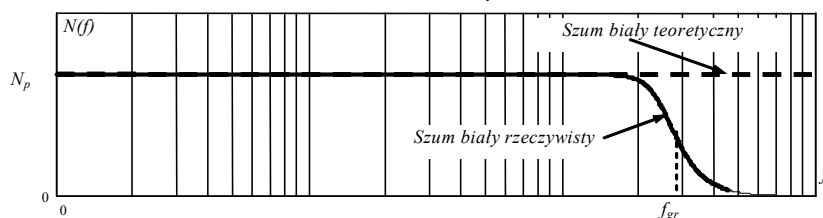
W zakresie częstotliwości do GHz gęstość widmowa mocy takich szumów praktycznie jest stałą i wynosi ,

$$N_p = 4kT$$

gdzie $k = 1.380649 \times 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$ – stała Boltсмana,
 T - temperatura w skali Kelvina.

W paśmie częstotliwości $B = \Delta f$ moc szumów ciepłych równa się , i na rezystorze o rezystancji wartością R wartość skuteczna napięcia szumowego wynosi (Nyquist)

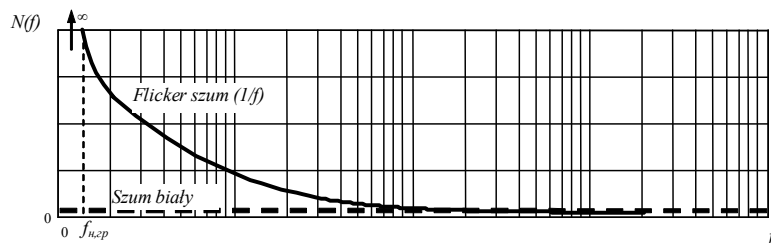
$$U_{sz} = \sqrt{P_{sz} R} = \sqrt{4kTBR}$$



2.1.3. Zakłócenia losowe. Szumy

Gęstość widmowa flicker-szumów (szumów niskoczęstotliwościowych, w przybliżeniu poniżej 100Hz-10kHz) wzrasta ze zmniejszeniem częstotliwości odwrotnie proporcjonalnie do $1/f^\alpha$, gdzie $\alpha \geq 1$ parametr, zależny od właściwości elementu.

Teoretyczne problemy tych szumów nie jest do końca wyjaśniony, właśnie ich zachowanie wokół częstotliwości $f=0$, gdyż gęstość widmowa tych szumów dąży do nieskończoności.



2.1.4. Zakłócenia regularne

Zakłócenia regularne ciągłe

Zakłócenia regularne impulsowe

Quasi stałe

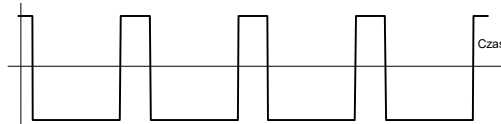
Okresowe

Okresowe harmoniczne ($f_0 \approx \text{const}$)

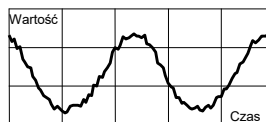
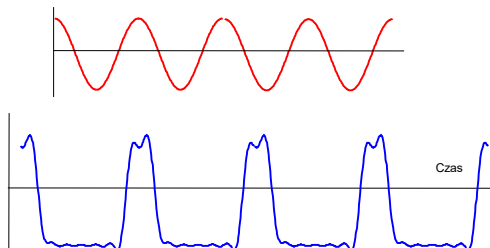
Modulowane

Okresowe wielo-harmoniczne
(składowe o częstotliwości f_0, f_1, \dots, f_n)

Przejęciowe

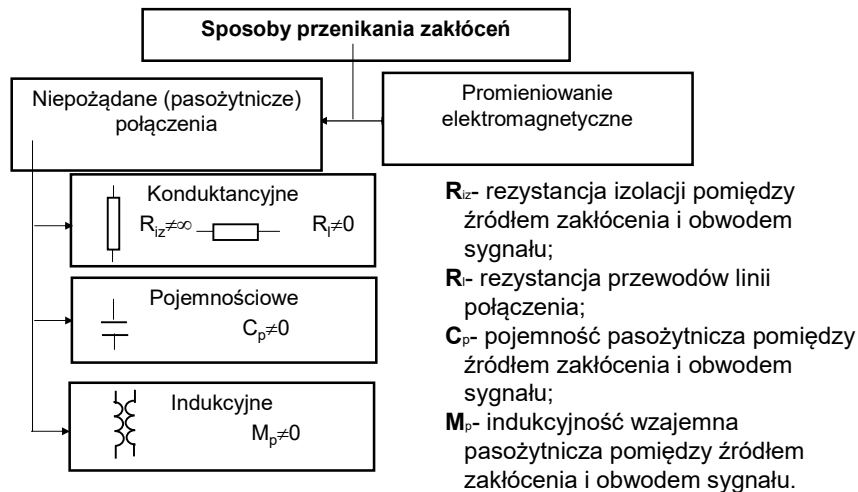


2.1.4. Zakłócenia regularne



2.2. Sposoby przenikania zakłóceń w obwód pomiarowy

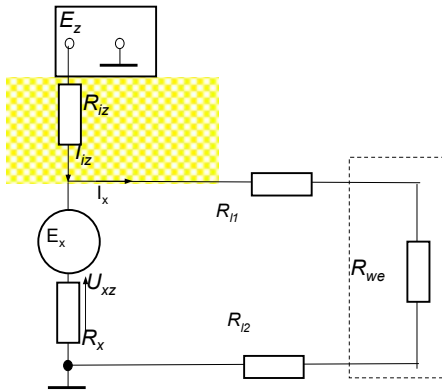
Przenikanie zakłóceń ze źródła do obwodu pomiarowego może występować przez połączenia **konduktancyjne (izolacja, rezystancja przewodów, uziemienie), pojemnościowe oraz indukcyjne.**



2.2.1. Wpływ połączenia konduktancyjnego

- Przenikanie zakłóceń przez połączenie konduktancyjne (galwaniczne) jest powiązane ze **skończoną wartością rezystancji izolacji** ($R_{iz} \neq \infty$) oraz **nie zerową wartością rezystancji przewodów** ($R_l \neq 0$).
- W układach pomiarowych elektronicznych typowa wartość rezystancji izolacji wynosi powyżej $1000\text{M}\Omega$ ($R_{iz} > (1 \dots 10) \cdot \text{G}\Omega$), a rezystancja linii przesyłania sygnału może wynosić od kilka tysięcznych do nawet kilku do setek Ω ($R_l \approx (0.01 \dots 100) \cdot \Omega$) i wzrasta ze wzrostem częstotliwości przesyłanych sygnałów (skin efekt).
- Połączenia pasożytnicze zwykle są rozproszone, jednak przy analizie ich wpływu obecnie wykorzystują się układy zastępczy z elementów skupionych.

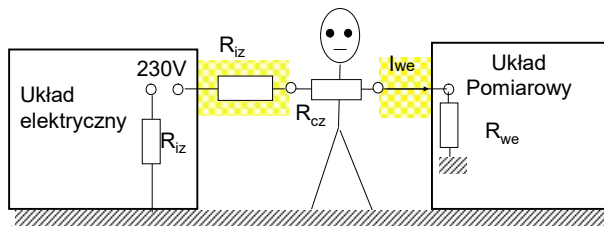
2.3.1. Wpływ połączenia konduktancyjnego



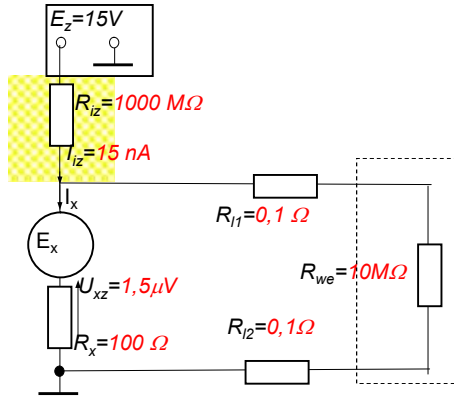
- **Wpływ izolacji**

- E_x - źródło sygnału z rezystancją wewnętrzną R_x ,
- E_z - źródło zasilania,
- R_{l1}, R_{l2} - rezystancji linii
- R_{we} - rezystancja wejściowa wzmacniacza lub innego układu pomiarowego,
- R_{iz} - rezystancją izolacji
- I_z - prąd, spowodowany źródłem zasilania oraz izolacją o ograniczoną wartością
- U_{xz} - napięcie zakłócające

2.2.1. Wpływ połączenia konduktancyjnego



2.2.1. Wpływ połączenia konduktancyjnego



Wpływ izolacji

$$I_{iz} = \frac{E_z}{R_{iz} + R_x \parallel (R_{we} + 2R_l)} \cong \frac{E_z}{R_{iz} + R_x} \cong \frac{E_z}{R_{iz}}$$

$$U_{zx} \cong I_{iz} R_x \cong E_z R_x / R_{iz}$$

Dla typowych wartości:

$$E_z = 15V,$$

$$R_{iz} = 10^9 \Omega,$$

$$R_x \approx (0,01 \dots 1) \cdot 10^3 \Omega, R_x = 100 \Omega,$$

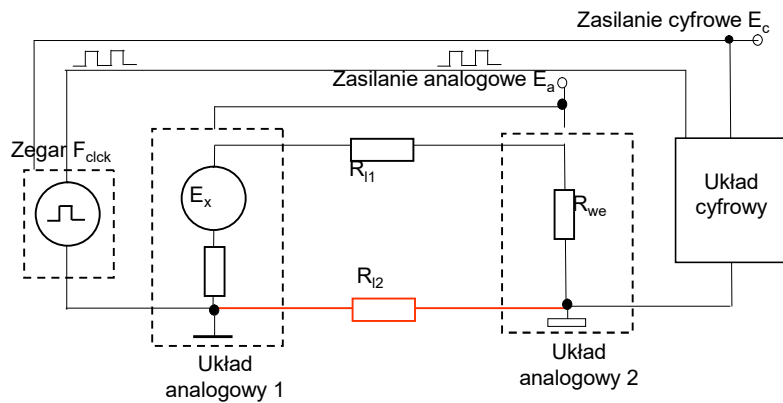
$$R_{we} \approx (1 \dots 10) \cdot 10^6 \Omega,$$

$$U_z \cong 15V \cdot 100 \Omega / 10^9 \Omega = 1,5 \mu V$$

Przy badaniach mózgu człowieka typowo sygnał encefalogramy wynosi $U_{encef} \approx (1-10) \mu V$.

2.2.1. Wpływ połączenia konduktancyjnego

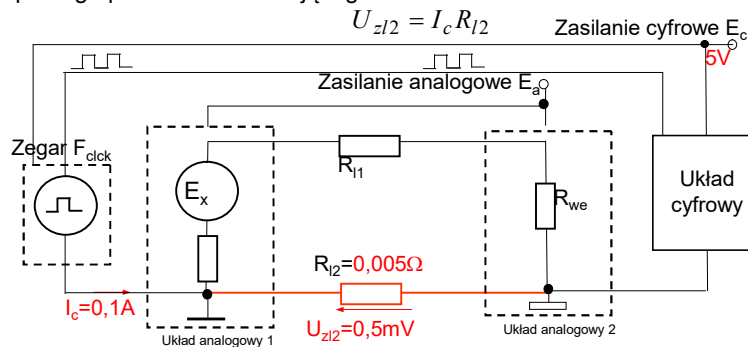
Wpływ rezystancji przewodów linii połączenia



2.2.1. Wpływ połączenia konduktancyjnego

Wpływ rezystancji przewodów linii połączenia

- Prąd w obwodzie cyfrowym I_c wywołuje spadek napięcia na rezystancji R_{l2} wspólnego przewodu uziemiającego



Na przykład, przy średniej mocy 0,5W pobierany prąd przez układy TTL wynosi około 0,1A.

Wtedy przy rezystancji $R_{l1} \approx 0,005 \Omega$ miedzianego przewodu (częstotliwość F_{clk}) wartość napięcia

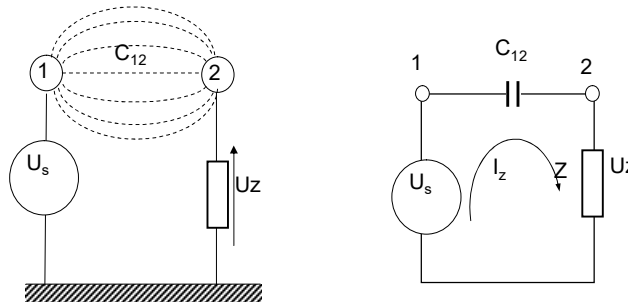
$$U_{zl2} = I_c R_{l2} = 0,1A \cdot 0,005 \Omega = 0,5mV = 500 \mu V.$$

2.2.2. Wpływ połączenia pojemnościowego

Każdy element obwodu pomiarowego ma nie zerową powierzchnię oraz rozmieszczone one pomiędzy sobą na skończonej odległości.

Dla tego pomiędzy elementami obwodu istnieje sprężenie elektryczne, które można zamodelować jak pokazano na rysunku przez nie zerową pojemność C_{12} .

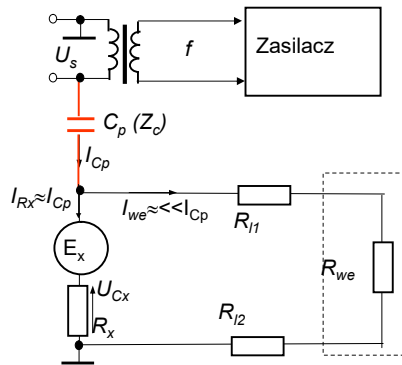
Pojemność ta reprezentuje łączną pojemność sprężenia



2.2.2. Wpływ połączenia pojemnościowego

Wartość pojemności pasozytniczej pomiędzy elementami układów elektrycznych w dużym stopniu zależy od geometrii tych elementów oraz odległości pomiędzy nimi.

Typowa wartość pojemności pasozytniczej może wynosić od kilku pF nawet do kilku dziesiąt pF (przy częstotliwości sieciowej 50Hz i $C_p=2pF$ impedancja wynosi $Z_c=1/\omega C_p \approx 1400M\Omega$).



2.2.2. Wpływ połączenia pojemnościowego

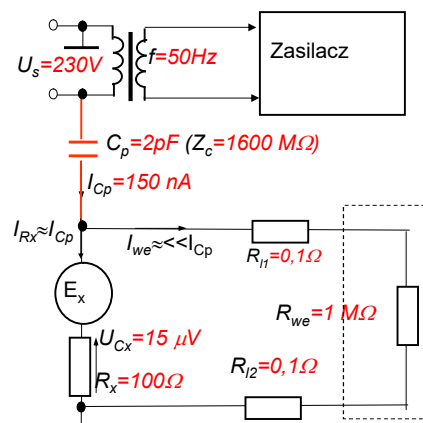
Wartość prądu zakłócającego, $I_z = U_s / (Z_c + Z)$ powoduje napięcie zakłócenia

$$U_z = I_z Z = U_s / (1 + Z_c / Z)$$

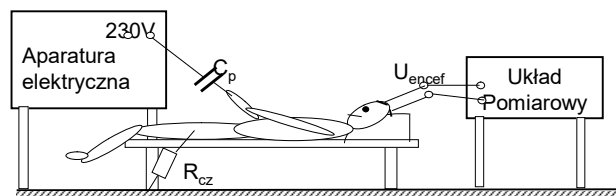
$$Z_c / Z \gg 1$$

$$U_{Cx} = U_z \approx U_s \omega C_p R_x$$

$$U_z = 230V \cdot 2\pi 50Hz \cdot 2 \cdot 10^{-12} F \cdot 100\Omega \approx 15\mu V$$



Przykład 2. Pomiary medyczne (sygnałów mózgu - encefalogramy)



Typowo sygnał encefalogramy wynosi $U_{encef} \approx (1-10) \mu V$.

Wartość pojemności pasożytnej pomiędzy układem elektrycznym i człowiekiem na odległości około 1m wynosi około $C_p \approx (2-3) pF$.

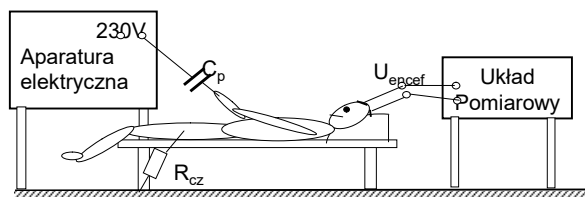
Wskutek tego, że na częstotliwości sieci $f=50Hz$,

$$1/\omega C_p = 1/314 \cdot 2 \cdot 10^{-12} \approx 1,6 T\Omega \gg R_{cz} = (10-100) k\Omega$$

dlatego przy pomiarach encefalogramy przez pacjenta płynie prąd

$$I \approx \frac{U_s}{\sqrt{R_{cz}^2 + 1/(\omega C_p)^2}} \approx U_s \omega C_p \approx 0,15 \mu A$$

Przykład 2. Pomiary medyczne (sygnałów mózgu - encefalogramy)



On wywołuje napięcie zakłóceń (na leżącym pacjencie) około

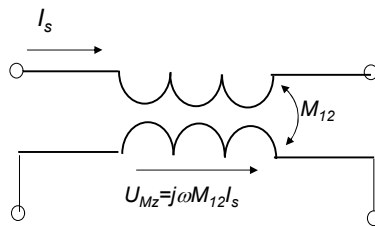
$$U_{z,p} = I \cdot R_{cz} \approx 0,15 \mu A \cdot 10 k\Omega = 1,5 mV!$$

Napięcie to około 1000 razy większe za sygnał pożądany.

To zakłócenie jest powodowane obecnością pojemności pasożytnej pomiędzy pacjentem i źródłem zasilania sieciowego.

2.2.3. Wpływ połączenia indukcyjnego

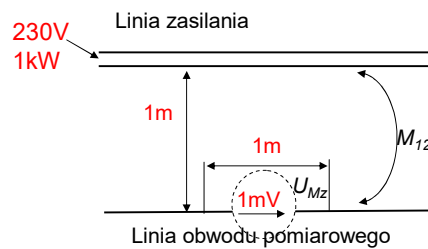
- Wokół przewodów, po których płynie prąd elektryczny, powstaje pole magnetyczne, które w skutek prawa indukcji elektromagnetycznej, powoduje powstanie w obwodach elektrycznych odpowiedniej siły elektromotorycznej .



- Wartość tej siły zależy od wartości prądu I_s , geometrii obwodu oraz jego odległości od źródła, to znaczy od wartości pasożytniczej indukcyjności wzajemnej M_{12} obwodów elektrycznych oraz od pulsacji $\omega = 2\pi f$.

2.2.3. Wpływ połączenia indukcyjnego

- Na przykład, na przewodzie na odległości $1m$ od linii elektroenergetycznej jest generowane zakłócenie U_{Mz} wartością około $1mV$ na każdy $1m$ długości przewodu na każdy $1kW$ mocy w linii.



- Takie zakłócenie jest powodowane obecnością indukcyjności wzajemnej M_{12} pomiędzy linia zasilana a przewodem obwodem pomiarowym.

2.2.5. Zakłócenia elektromagnetyczne

- Każdy element obwodu pomiarowego występuje jako antena, przez którą promieniowania elektromagnetyczne przenikają weń.
- Zakres częstotliwości zakłóceń zależy od rozmiarów przewodów (długość fali promieniowania), dla długości do kilku centymetrów zakres częstotliwości wynosi kilka GHz.

$$\lambda = c \cdot T = \frac{c}{f} \quad c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

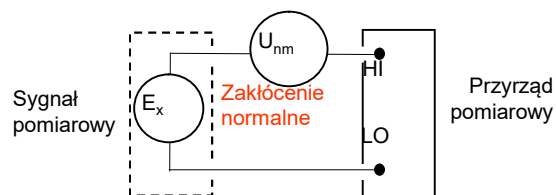
$$f > 1 \cdot \text{GHz} = 1 \cdot 10^9 \text{ Hz} \quad \lambda < \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{1 \cdot 10^9 \text{ Hz}} = 30 \text{ cm}$$

- Intensywność takich zakłóceń zależy od intensywności i odległości źródła oraz usytuowania układu pomiarowego według niego

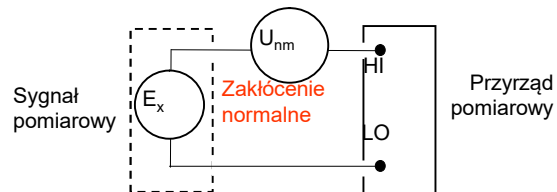
2.3. Układy zastępczy dla źródeł zakłóceń

- Wszyscy zakłócenia powstające w obwodach pomiarowych można doprowadzić do dwóch układów zastępczych: ze źródłem zakłócenia **normalnego – szeregowego** (ang. **normal mode**) oraz ze źródłem **zakłócenia wspólnego** (ang. **common mode**).

- Układ zastępczy dla źródła zakłócenia normalnego



2.3.1. Układ zastępczy dla źródła zakłócenia normalnego



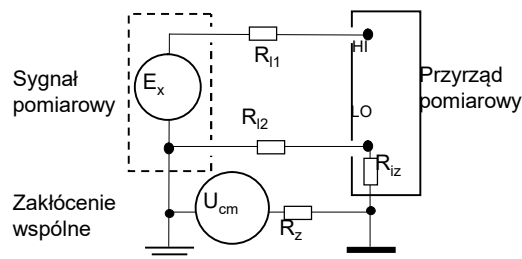
Źródło zakłócenia normalnego jest włączono szeregowo ze źródłem sygnału mierzonego (przetwarzanego, korzystnego) w obwód pomiarowy (w stosunku do wejścia przyrządu pomiarowego).

Źródło zakłócenia normalnego U_{nm} jest źródłem ekwiwalentnym, to znaczy że ono uwzględnia zakłócenia przenikające w obwód pomiarowy w skutek różnych przyczyn.

Zakłócenie normalne U_{nm} jest niepożądanym i ono bezpośrednio zniekształca sygnał pomiarowy (na wejściu przyrządu pomiarowego jest suma sygnału korzystnego oraz zakłócającego

$$U_{we} = U_x + U_{nm}$$

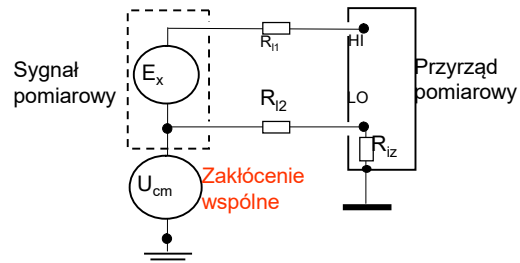
2.3.1. Układ zastępczy dla źródła zakłócenia wspólnego



Źródło zakłócenia wspólnego U_{cm} jest włączono w obwód wspólny źródła sygnału mierzonego oraz przyrządu pomiarowego.

Zakłócenie to uwzględnia nieekwipotencjalność punktów uziemienia źródła sygnału i przyrządu pomiarowego i jednocześnie zmienia potencjały obydwu wejść przyrządu.

2.3.1. Układ zastępczy dla źródła zakłócenia wspólnego



Ono też jest **źródłem ekwiwalentnym**, to znaczy że ono uwzględnia wszystkie zakłócenia przenikające w obwód pomiarowy przez obwody uziemienia oraz zasilania.

Zakłócenie wspólne U_{cm} **bezpośrednio nie zniekształca sygnał pomiarowy** jednak ono w skutek nieidealnej izolacji, obecności pasożytniczych pojemności oraz innych przyczyn może się przekształcić w zakłócenie normalne.

Właśnie **stopień szkodliwości zakłócenia wspólnego zależy od stopnia jego przekształcenia w zakłócenie normalne.**