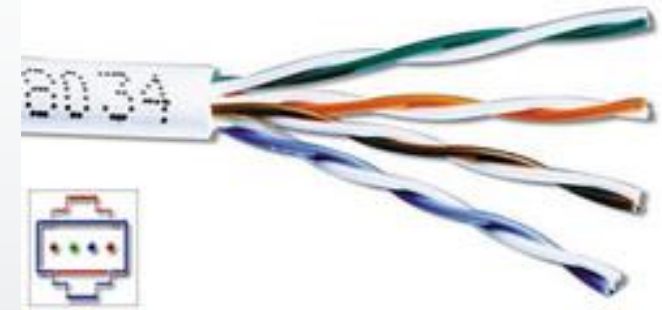


Shielded twisted pair (STP)



Unshielded twisted pair (UTP)



# Fizica III – Electromagnetism

## Aplicatii # 3

### Legile campului EM – legea inductiei electromagnetice

Prof.dr.ing. Gabriela Ciuprina [gabriela@lmn.pub.ro](mailto:gabriela@lmn.pub.ro)

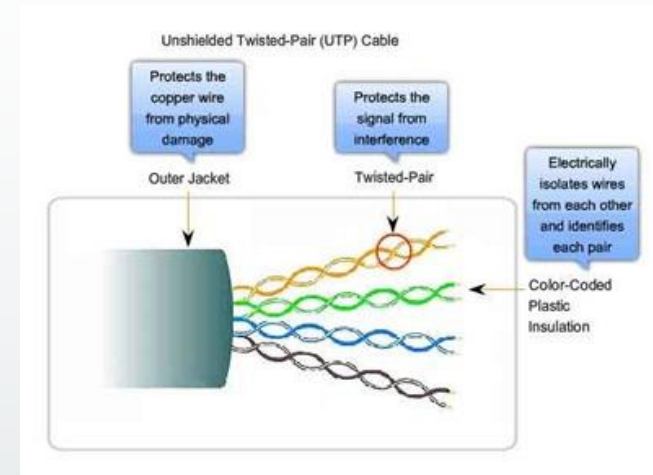
As.dr.ing. Mihai Popescu [mihai\\_p@lmn.pub.ro](mailto:mihai_p@lmn.pub.ro)

S.I.dr.ing. Sorin Lup [sorin@lmn.pub.ro](mailto:sorin@lmn.pub.ro)

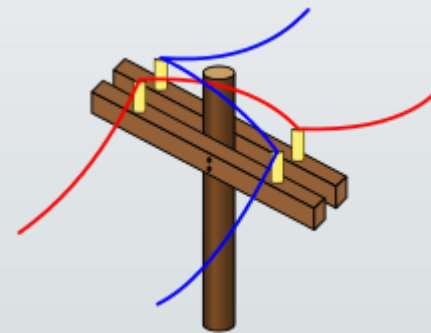
Student Alexandru Lefterie, an III, IE.

# Torsadarea cablurilor (*twisted pair cabling*)

- 1. Concepte
  - 1.1. Ideea
  - 1.2. Ideea experimentului
- 2. Experimente virtuale
- 3. Experimente reale
  - 3.1. Descrierea experimentului
  - 3.2. Efectuarea experimentului
- 4. Concluzii

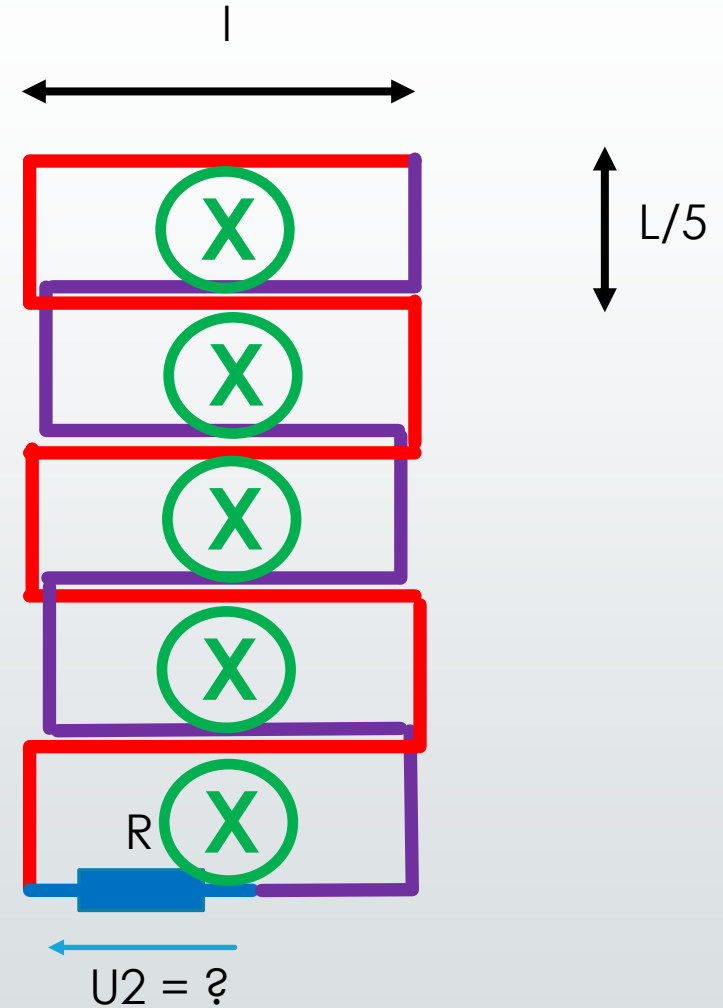
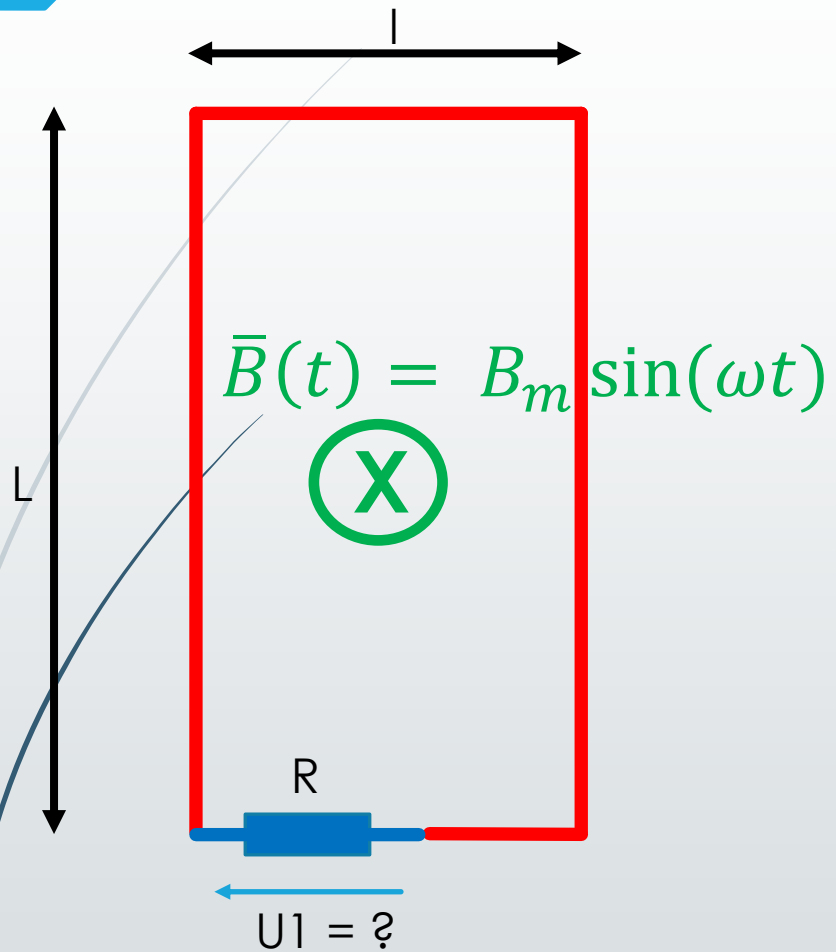


<https://www.fiberoptics4sale.com/blogs/archive-posts/95046918-what-is-unshielded-twisted-pair-utp-cable>



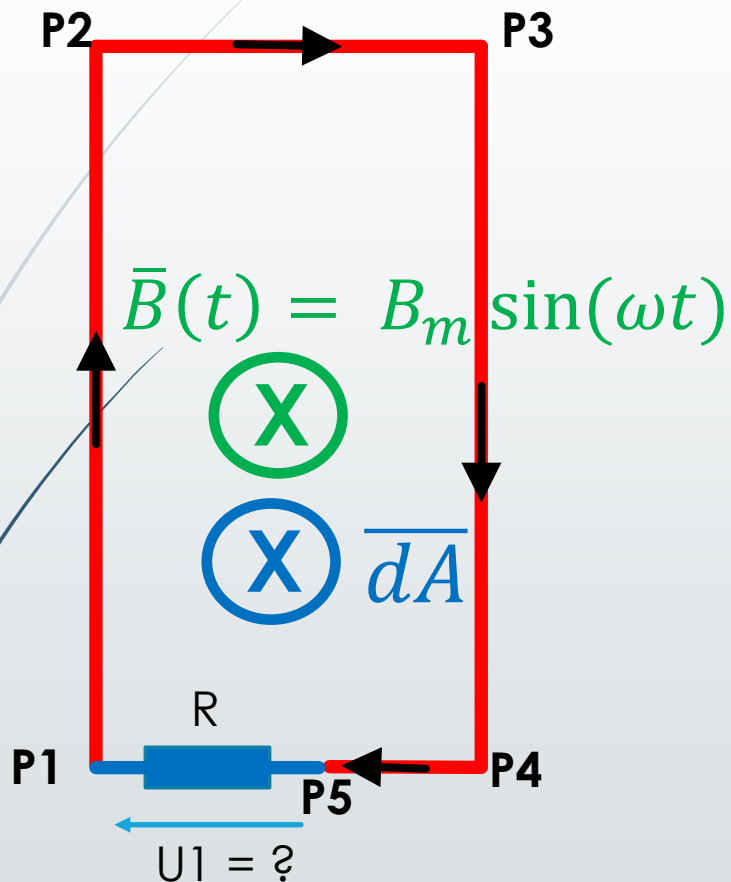
[https://en.wikipedia.org/wiki/Twisted\\_pair](https://en.wikipedia.org/wiki/Twisted_pair)

## 1.1. Ideea



Ce ar indica un voltmetru de c.a. conectat la bornele R?

# 1.1. Ideea – legea inducției electromagnetice



- Alegem o curba inchisa care urmareste firul conductor si se inchide prin R.
- Alegem o orientare pentru aceasta curba (de exemplu de la P1 la P2, etc P5, P1).
- Deducem orientarea suprafetei care se sprijina pe aceasta curba (regula burghiului drept/regula mainii drepte).  $\Rightarrow \vec{dA}$
- Aplicam LIE si deducem tensiunea indusa pe curba inchisa.
- Explicitam tensiunea conform definitiei ei. Pe curbele care trec prin conductoare, tensiunea este proportionala cu curentul (cf. T. rezistorului linear, va fi prezentat la C3)

$$\Gamma = P1, P2, P3, P4, P5, P1$$

$$u_{\Gamma}(t) = -\frac{d\varphi_{S_{\Gamma}}}{dt}$$

$$\varphi_{S_{\Gamma}} \stackrel{\text{def}}{=} \int_{S_{\Gamma}} \vec{B} \cdot \vec{dA} = \int_{S_{\Gamma}} B dA \cos(0) = \int_{S_{\Gamma}} B dA = B \int_{S_{\Gamma}} dA = BA$$

Vectorul inducție mg și  
elemental de arie sunt  
paralele și orientate în  
același sens

Câmpul inducției mg este  
uniform (valoarea nu  
depinde de punctul din  
spațiu).

$$A = Ll$$

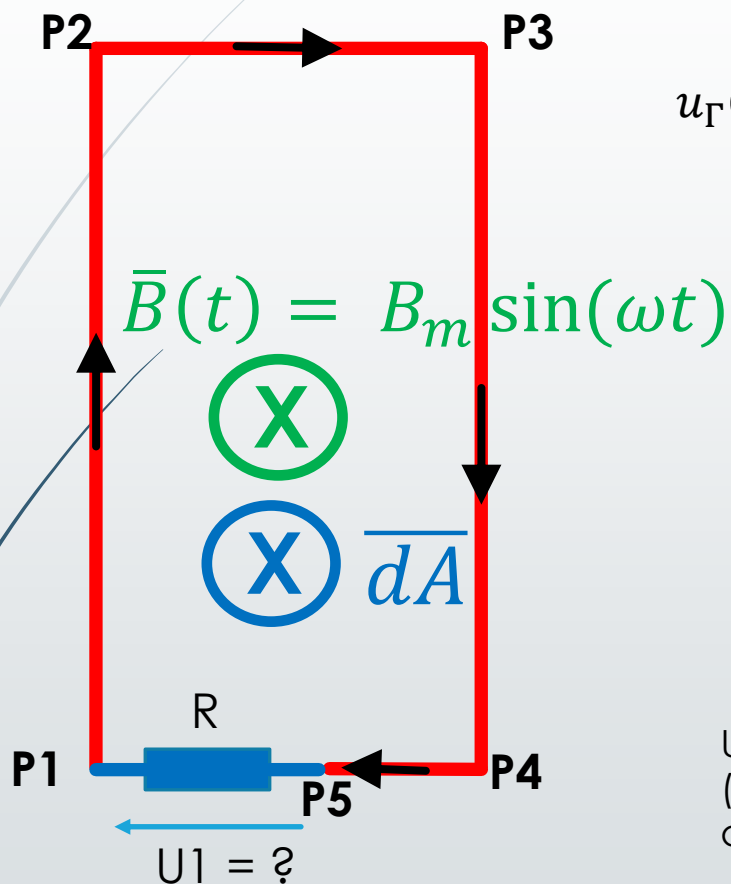
$$\varphi_{S_{\Gamma}}(t) = AB_m \sin(\omega t) \longrightarrow u_{\Gamma}(t) = -A\omega B_m \cos(\omega t)$$

$$u_{\Gamma}(t) \stackrel{\text{def}}{=} \int_{\Gamma} \vec{E} \cdot \vec{dl} = \int_{P1, P2, P3, P4, P5} \vec{E} \cdot \vec{dl} + \int_{P5, P1} \vec{E} \cdot \vec{dl} = R_{\text{cablu}} i + R i$$

Am presupus un curent orientat în același sens cu sensul de parcurs pe curba! (Orientarea are legătura cu orientarea unei suprafețe transversal prin cablu!) <sup>11/7/2022</sup>

De asemenea, presupunem că influența curentului indus asupra câmpului magnetic inițial se poate neglija.

# 1.1. Ideea – legea inducției electromagnetice



$$u_{\Gamma}(t) = -A\omega B_m \cos(\omega t)$$

$$u_{\Gamma}(t) \stackrel{\text{def}}{=} \int_{\Gamma} \vec{E} \cdot d\vec{l} = \underbrace{\int_{P1,P2,P3,P4,P5} \vec{E} \cdot d\vec{l}}_{\text{Tensiunea de-a lungul cablului}} + \underbrace{\int_{P5,P1} \vec{E} \cdot d\vec{l}}_{\text{Tensiunea de-a lungul rezistorului R}} = R_{\text{cablu}} i + R i$$

Teorema rezistorului liniar (C3)

$$u_{\Gamma}(t) = (R_{\text{cablu}} + R)i$$

$$i(t) = \frac{u_{\Gamma}(t)}{(R_{\text{cablu}} + R)} = \frac{-A\omega B_m \cos(\omega t)}{(R_{\text{cablu}} + R)}$$

$$u_1(t) = R i(t) = \frac{R}{(R_{\text{cablu}} + R)} (-A\omega B_m \cos(\omega t))$$

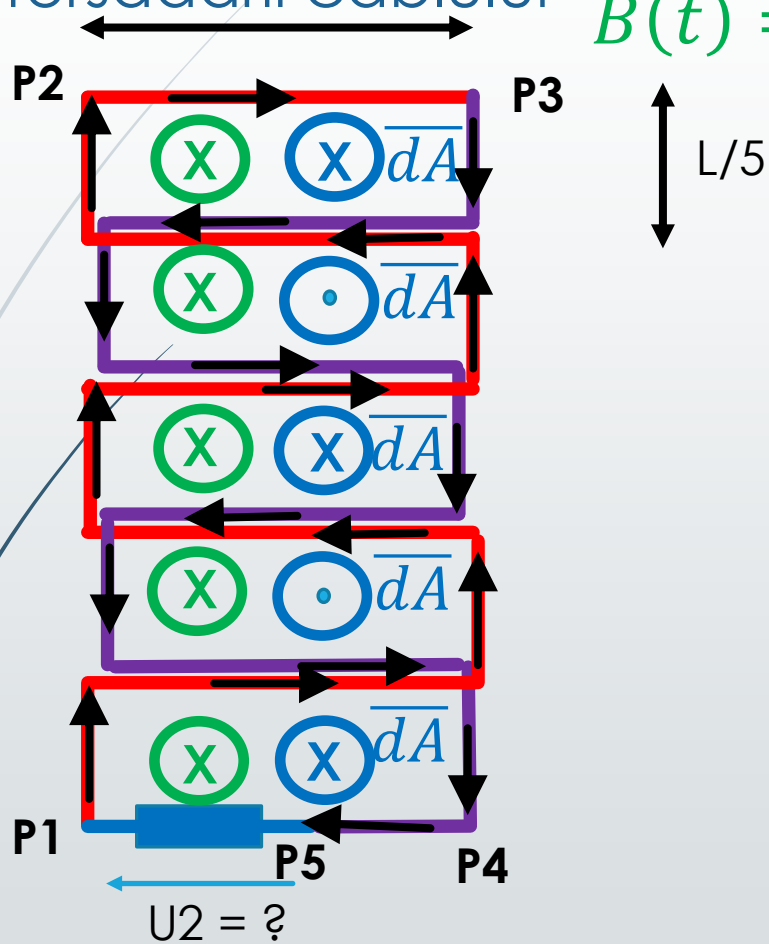
Un voltmetru de c.a. conectat la bornele R (cu firele strict în lungul R, pentru a nu forma alte bucle!) va indica valoarea efectivă  $U_1$

$$U_1 = \frac{R}{(R_{\text{cablu}} + R)} \frac{A\omega B_m}{\sqrt{2}}$$

- Ce puteți spune despre  $U_1$  dacă rezistența cablului este neglijabilă față de rezistența sarcinii?
- Ce indică voltmetrul dacă această configurație nu este plasată în câmp magnetic?

# 1.1. Ideea – legea inducției electromagnetice

Efectul torsadării cablului



$$\bar{B}(t) = B_m \sin(\omega t)$$

$$\Gamma = P1, P2, P3, P4, P5, P1$$

Dar suprafața care se sprijină pe curba închisă este și ea torsadată.

$$u_{\Gamma}(t) = -\frac{d\varphi_{S_{\Gamma}}}{dt}$$

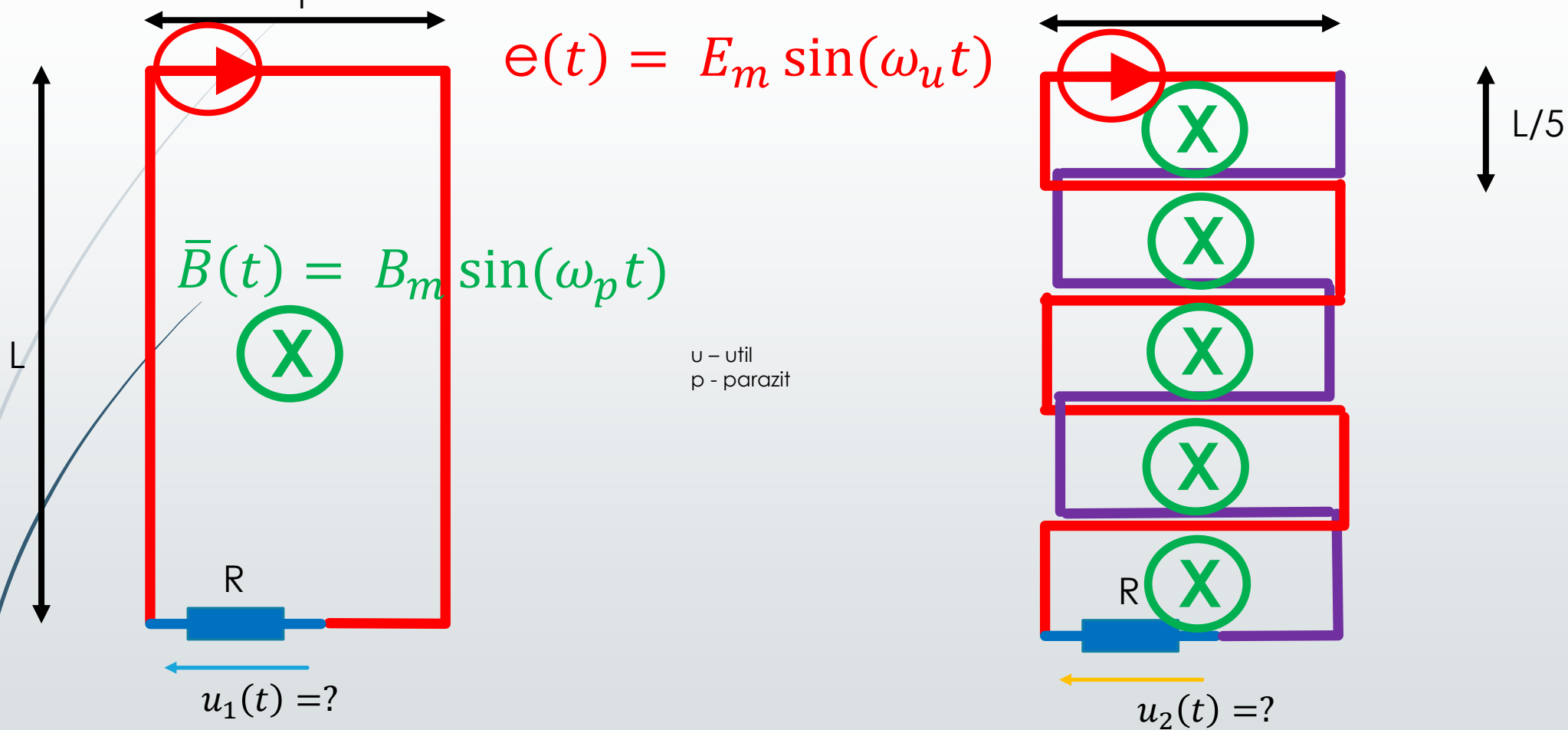
Arătați că în acest caz  $u_{\Gamma}(t) = -\frac{A}{5} \omega B_m \cos(\omega t)$

$$u_{\Gamma}(t) = (R_{\text{cablu}} + R)i$$

$$u_2(t) = R i(t) = \frac{R}{(R_{\text{cablu}} + R)} \left( -\frac{A}{5} \omega B_m \cos(\omega t) \right)$$

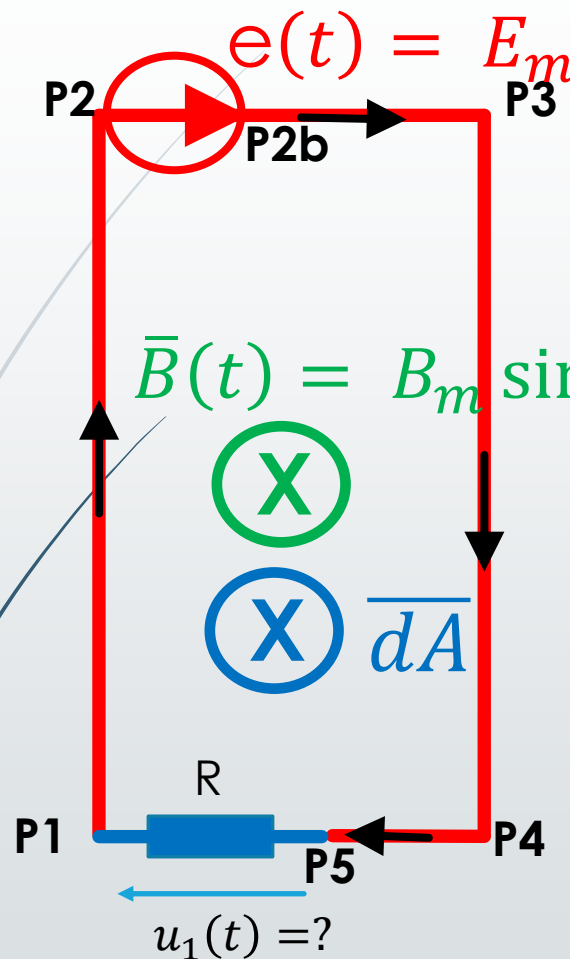
$$U_2 = \frac{R}{(R_{\text{cablu}} + R)} \frac{A \omega B_m}{5\sqrt{2}} = \frac{U_1}{5}$$

## 1.2. Ideea experimentului



Cum ar arata semnalele pe ecranul unui osciloscop care ar fi conectat la bornele rezistentei  $R$  ?

## 1.2. Ideea experimentului



$$e(t) = E_m \sin(\omega_u t)$$

$$\Gamma = P1, P2, P2b, P3, P4, P5, P1$$

$$u_\Gamma(t) = -\frac{d\phi_{S_\Gamma}}{dt}$$

$$\phi_{S_\Gamma} \stackrel{\text{def}}{=} \int_{S_\Gamma} \vec{B} \cdot \vec{dA} = \int_{S_\Gamma} B dA \cos(0) = \int_{S_\Gamma} B dA = B \int_{S_\Gamma} dA = BA$$

$$\vec{B}(t) = B_m \sin(\omega_p t) \quad A = Ll$$

$$\phi_{S_\Gamma}(t) = AB_m \sin(\omega_p t) \longrightarrow u_\Gamma(t) = -A\omega_p B_m \cos(\omega_p t) \quad (*)$$

$$u_\Gamma(t) \stackrel{\text{def}}{=} \int_\Gamma \vec{E} \cdot \vec{dl} =$$

$$= \int_{P1, P2} \vec{E} \cdot \vec{dl} + \int_{P2, P2b} \vec{E} \cdot \vec{dl} + \int_{P2b, P3, P4, P5} \vec{E} \cdot \vec{dl} + \int_{P5, P1} \vec{E} \cdot \vec{dl} =$$

$$= R_{\text{cablu}} i - e(t) + R i \quad (**)$$

$$(*) \text{ si } (**) \longrightarrow -A\omega_p B_m \cos(\omega_p t) = (R_{\text{cablu}} + R) i - E_m \sin(\omega_u t)$$

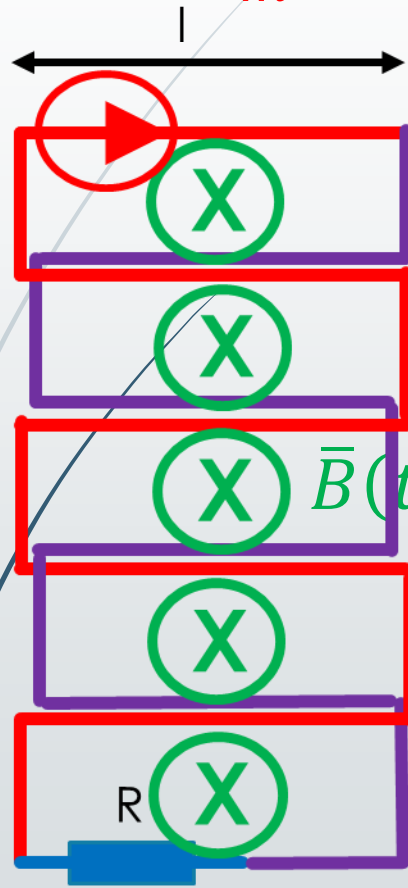
$$i(t) = \frac{E_m \sin(\omega_u t) - A\omega_p B_m \cos(\omega_p t)}{(R_{\text{cablu}} + R)}$$

$$u_1(t) = R i(t)$$



## 1.2. Ideea experimentului

$$e(t) = E_m \sin(\omega_u t)$$



$L/5$

$$\vec{B}(t) = B_m \sin(\omega_p t)$$

$$u_{\Gamma}(t) = -\frac{d\varphi_{S_{\Gamma}}}{dt} \longrightarrow u_{\Gamma}(t) = -\frac{A}{5} \omega_p B_m \cos(\omega_p t) \quad (*)$$

$$u_{\Gamma}(t) \stackrel{\text{def}}{=} \int_{\Gamma} \vec{E} \cdot d\vec{l} = R_{\text{cablu}} i - e(t) + R i \quad (**)$$

$$-\frac{A}{5} \omega_p B_m \cos(\omega_p t) = (R_{\text{cablu}} + R) i - E_m \sin(\omega_u t)$$

$$i(t) = \frac{E_m \sin(\omega_u t) - \frac{A}{5} \omega_p B_m \cos(\omega_p t)}{(R_{\text{cablu}} + R)}$$

$$u_2(t) = R i(t)$$

## 2. Experimente virtuale

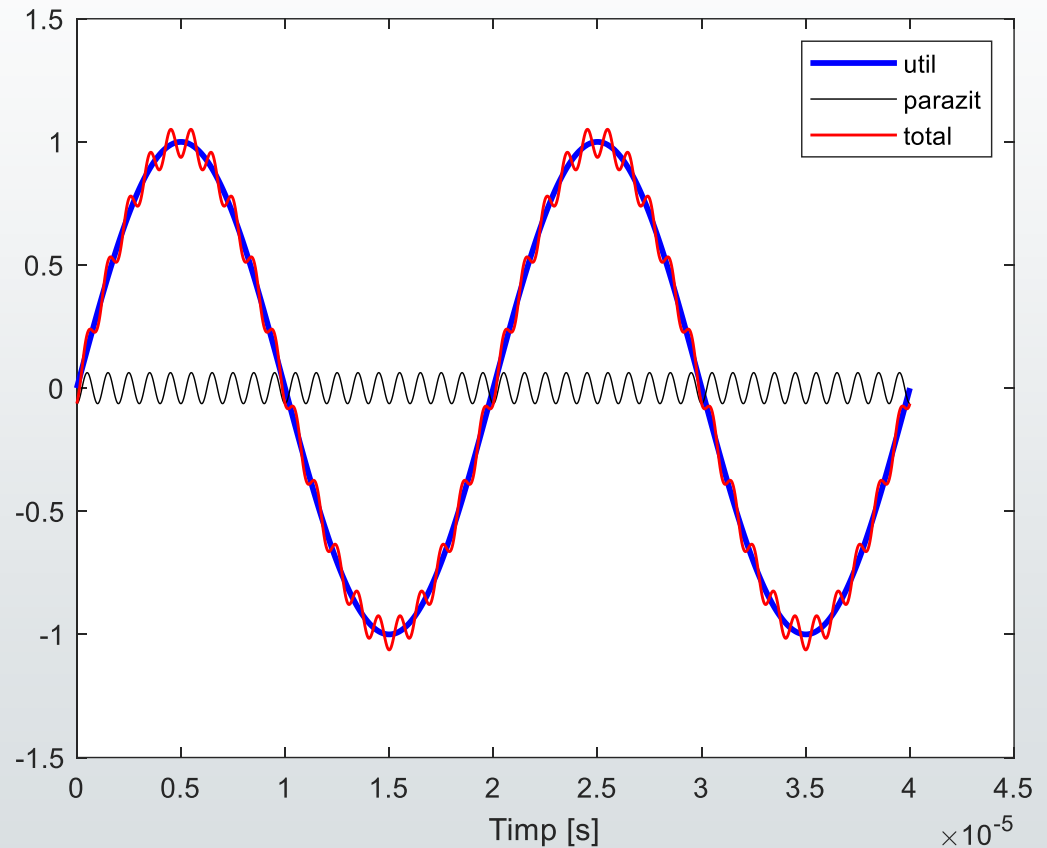
```
function P3()
% P3, ilustreaza suprapunerea semnalului util cu cel parazit
kHz = 1e3;
MHz = 1e6;
frecv_u = 50*kHz; % frecventa semnalului util
frecv_p = 10*MHz; % frecventa semnalului parazit
frecv_p = 1*MHz;
omega_u = 2*pi*frecv_u;
omega_p = 2*pi*frecv_p;

Cu = 1; % Em/(Rcablu + R)
Cp = 1e-9; % A*Bm/(Rcablu + R)
Cp = 1e-8; % A*Bm/(Rcablu + R)

T_u = 1/frecv_u; % perioada semnalului util
T_p = 1/frecv_p;

nop = 2;
if (T_u > T_p)
    tmax = nop*T_u;
else
    tmax = nop*T_p;
end
nopp = 10000;
t = linspace(0,tmax,nopp);
rez = f(t);
figure(1); clf;
plot(t,rez.u,'-b','Linewidth',2); hold on;
plot(t,rez.p,'-k');
plot(t,rez.tot,'-r','Linewidth',1);
legend('util','parazit','total');
xlabel('Timp [s]');

function rez = f(t)
    rez.u = Cu*sin(omega_u*t);
    rez.p = - Cp*omega_p*cos(omega_p*t);
    rez.tot = rez.u + rez.p;
end
end
```



## 2. Experimente virtuale

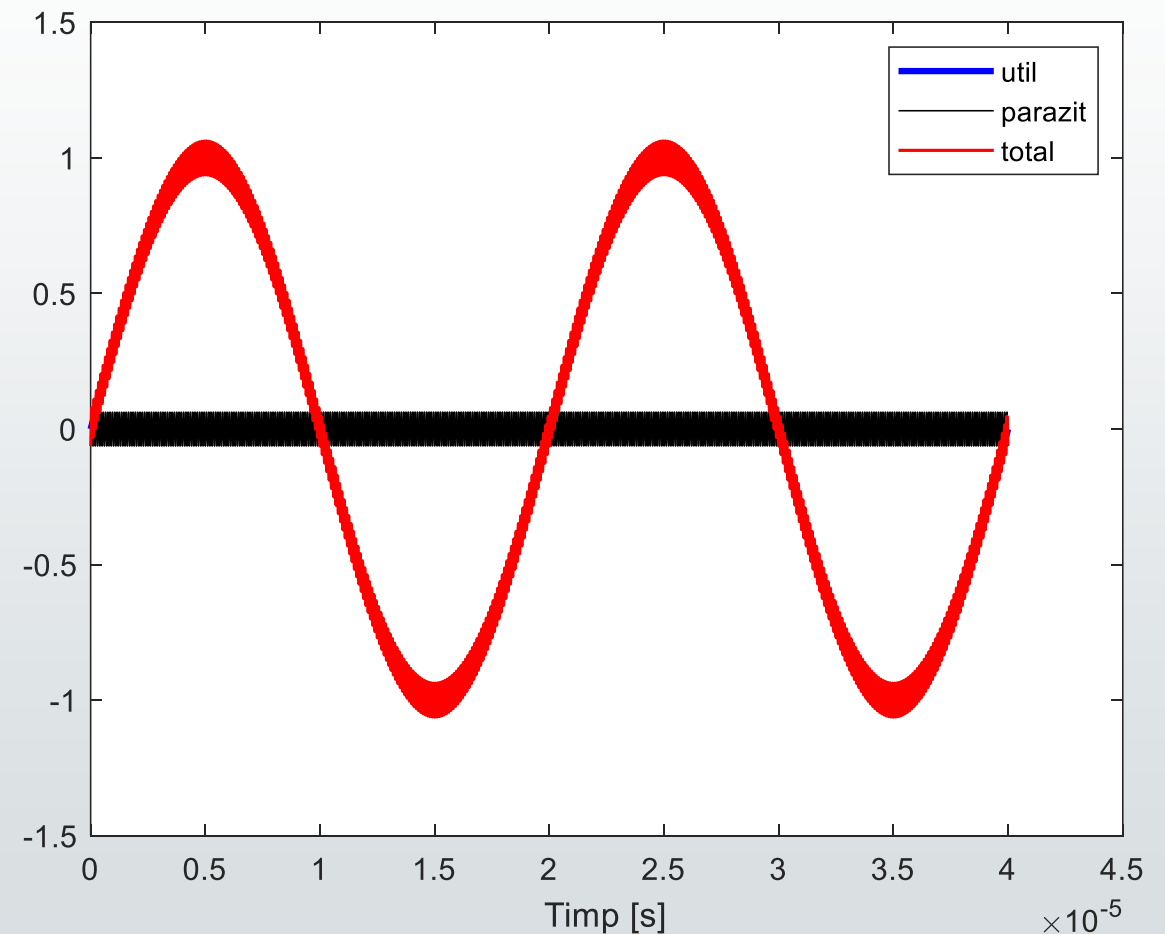
```
function P3()
% P3, ilustreaza suprapunerea semnalului util cu cel parazit
kHz = 1e3;
MHz = 1e6;
frecv_u = 50*kHz; % frecventa semnalului util
frecv_p = 10*MHz; % frecventa semnalului parazit
%frecv_p = 1*MHz;
omega_u = 2*pi*frecv_u;
omega_p = 2*pi*frecv_p;

Cu = 1; % Em/(Rcablu + R)
Cp = 1e-9; % A*Bm/(Rcablu + R)
%Cp = 1e-8; % A*Bm/(Rcablu + R)

T_u = 1/frecv_u; % perioada semnalului util
T_p = 1/frecv_p;

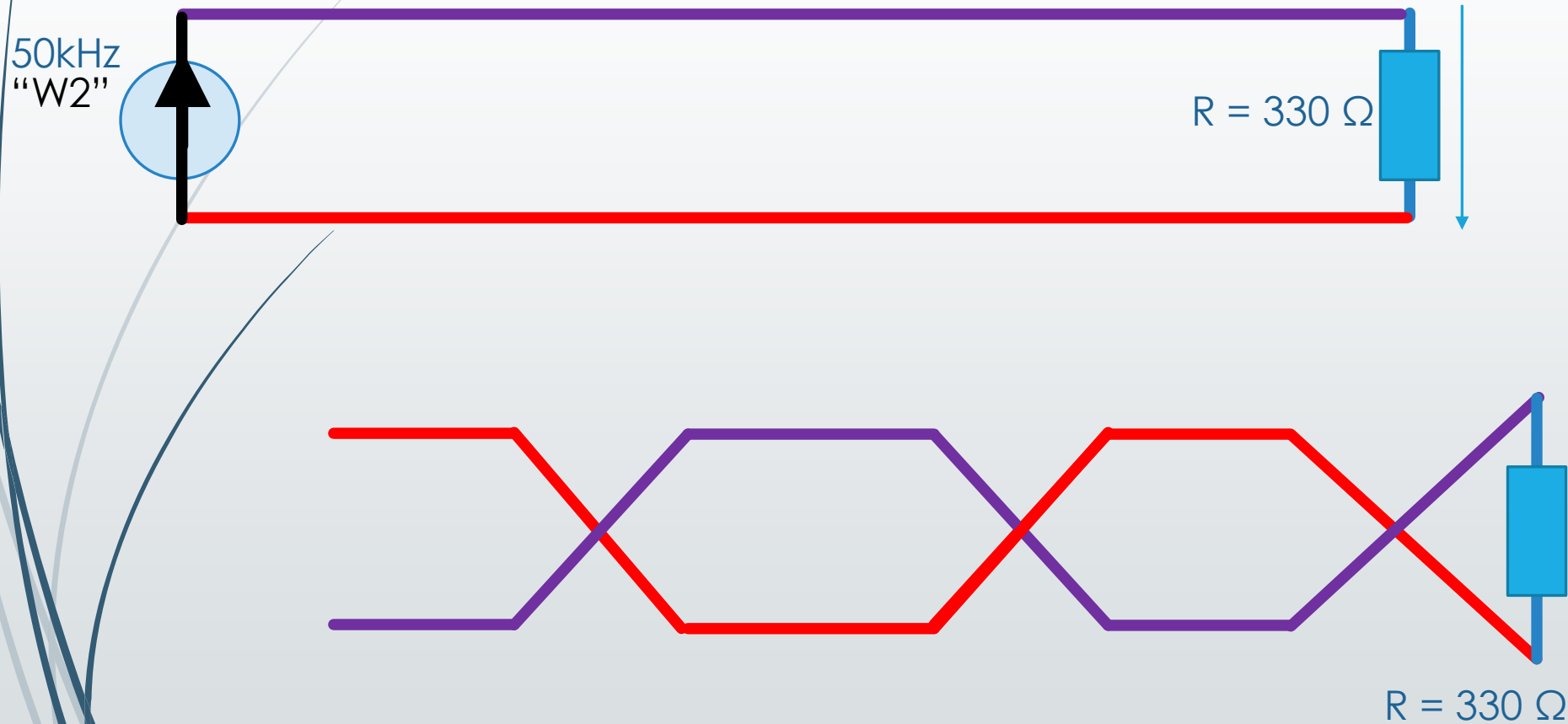
nop = 2;
if (T_u > T_p)
    tmax = nop*T_u;
else
    tmax = nop*T_p;
end
nopp = 10000;
t = linspace(0,tmax,nopp);
rez = f(t);
figure(1); clf;
plot(t,rez.u,'-b','Linewidth',2); hold on;
plot(t,rez.p,'-k');
plot(t,rez.tot,'-r','Linewidth',1);
legend('util','parazit','total');
xlabel('Timp [s]');

function rez = f(t)
    rez.u = Cu*sin(omega_u*t);
    rez.p = - Cp*omega_p*cos(omega_p*t);
    rez.tot = rez.u + rez.p;
end
end
```



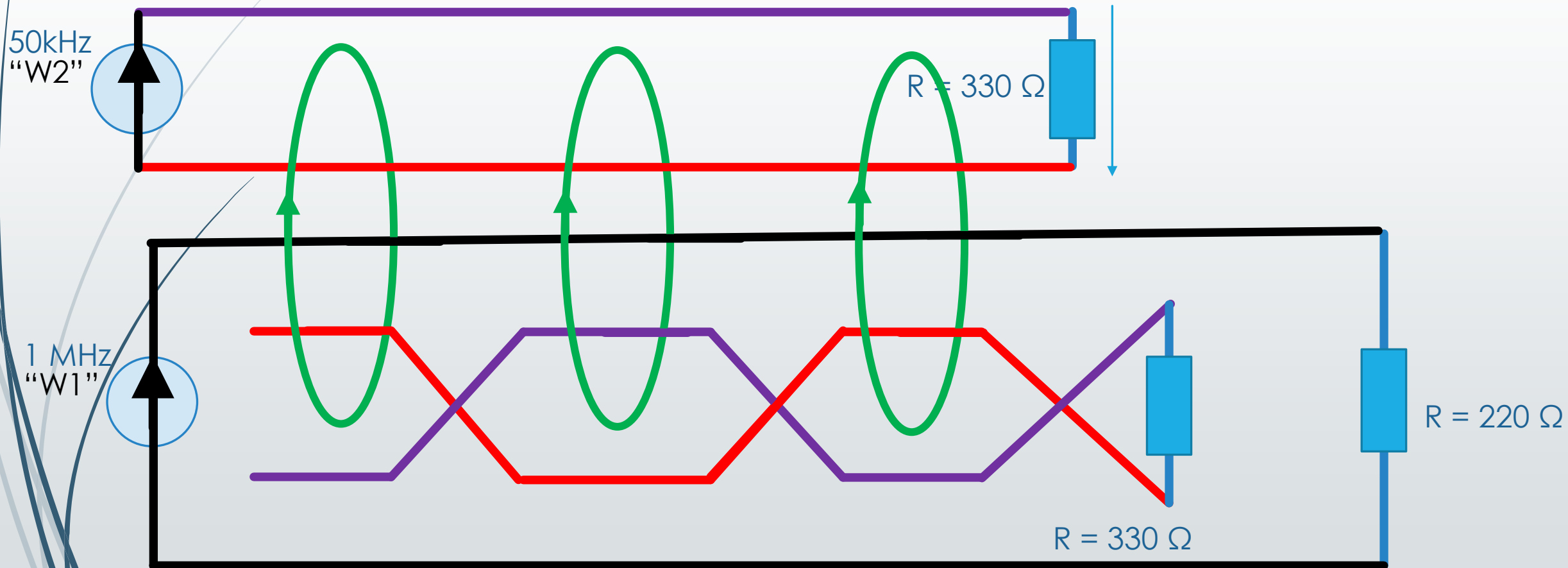
### 3. Experimente reale – a)

a) semnal util pe cablul netorsadat, fara cp magnetic perturbator



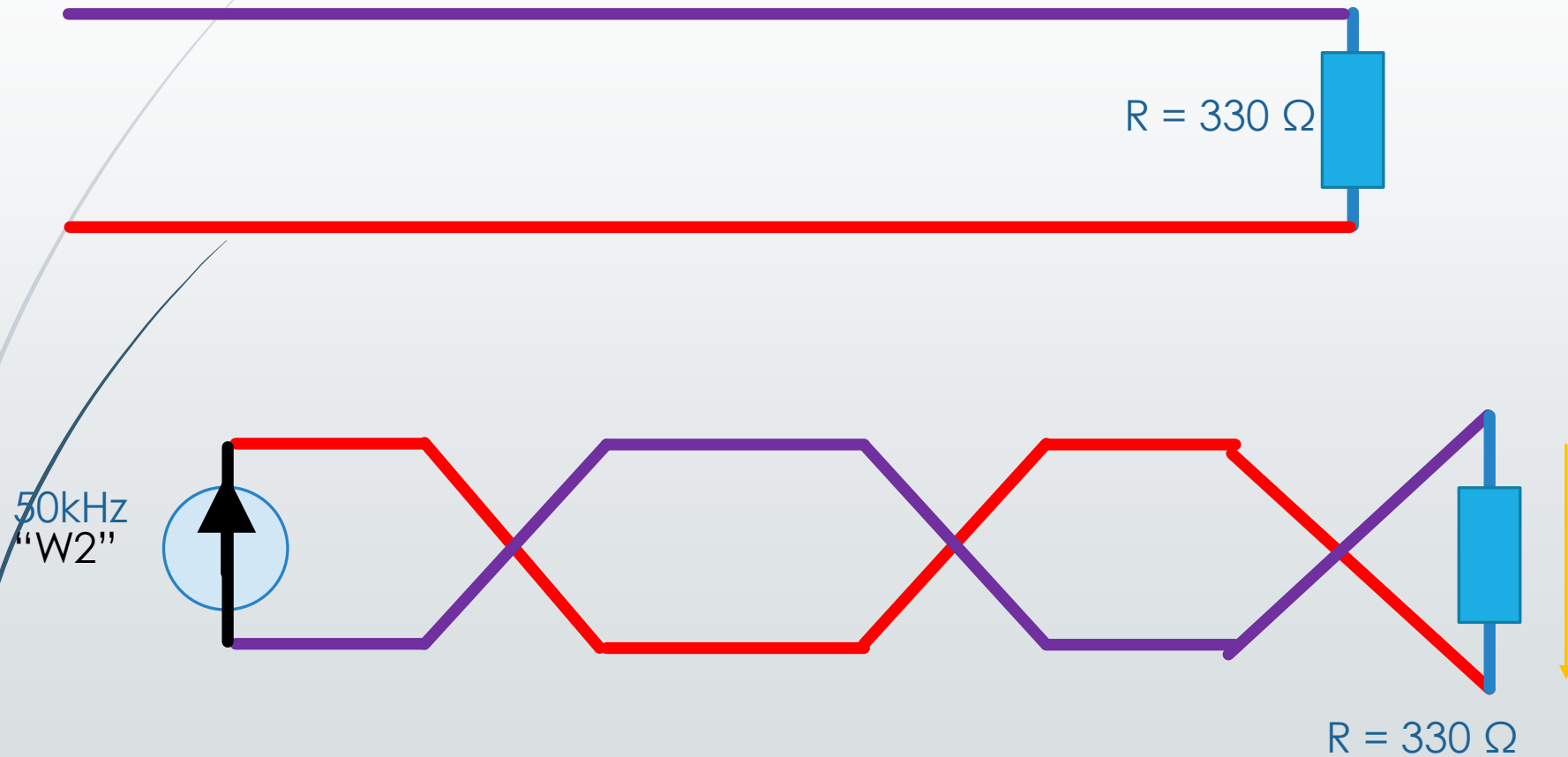
### 3. Experimente reale – b)

b) semnal util pe cablul netorsadat, cu cp magnetic perturbator



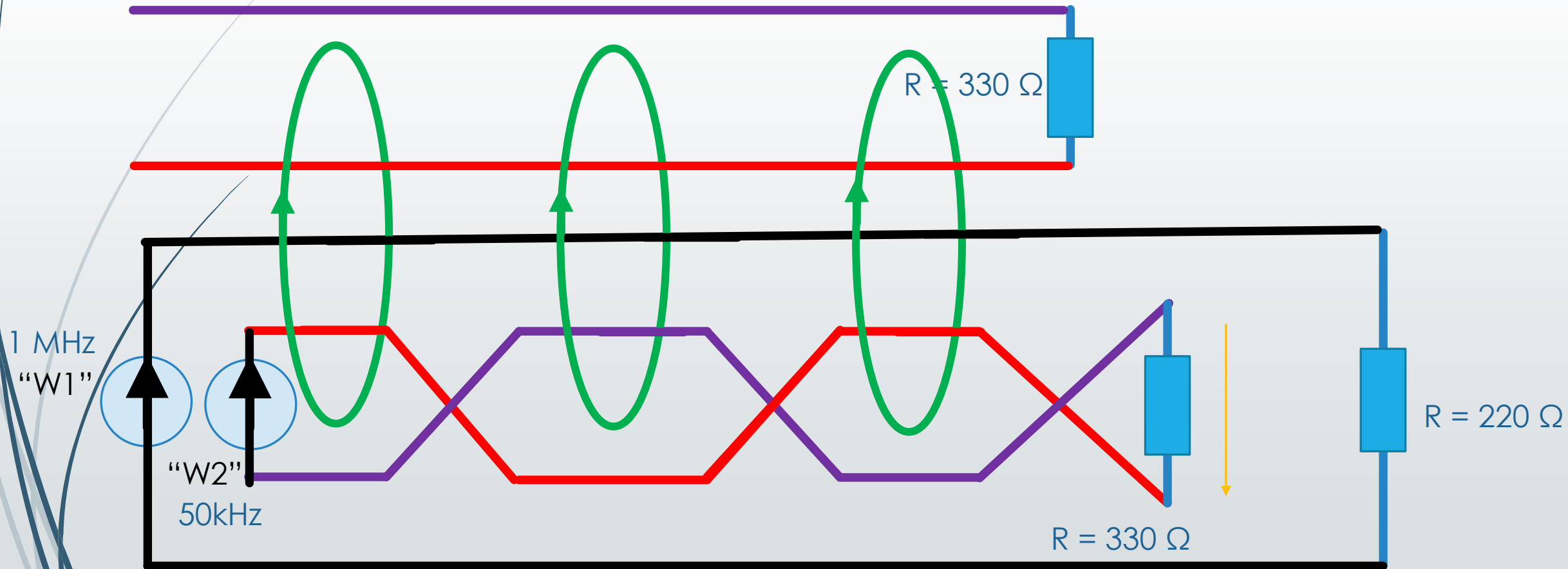
### 3. Experimente reale – c)

c) semnal util pe cablul netorsadat, fara cp magnetic perturbator

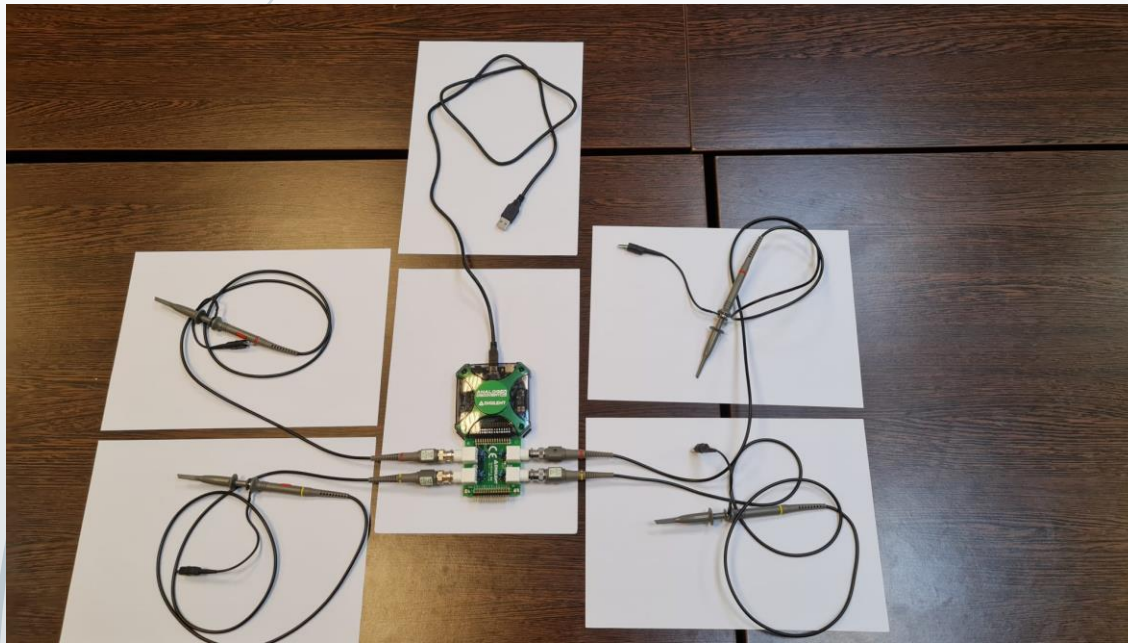


### 3. Experimente reale - d)

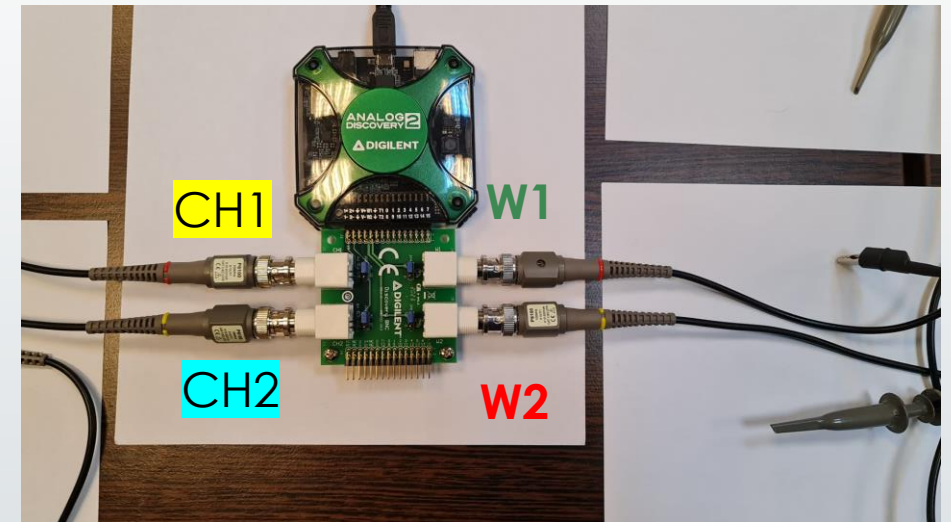
d) semnal util pe cablul netorsadat, cu cp magnetic perturbator



### 3. Experimente reale – Analog discovery



Calulator



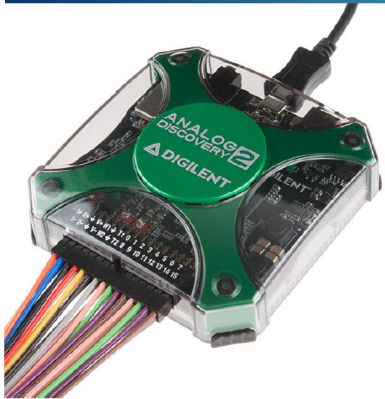
CH1 -> cablul torsadat

CH2 -> cablul netorsadat



# 3. Experimente reale – Analog discovery

## UNITATEA MULTIFUNCȚIONALĂ ANALOG DISCOVERY 2

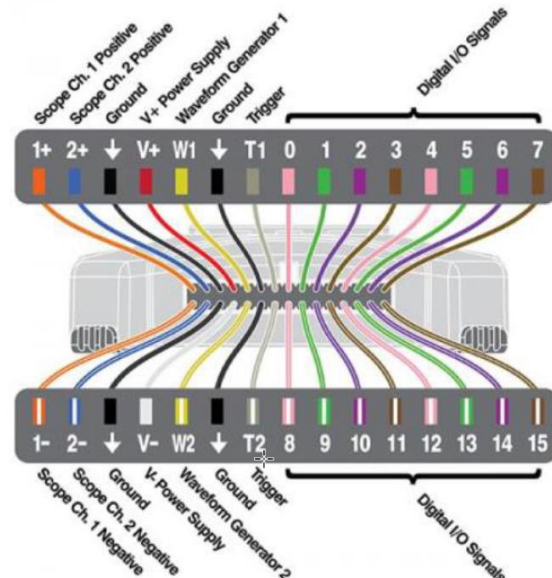


01. Două surse de tensiune continuă programabile (0...+5V, 0...-5V) – max 0,7A (V+, GND, V-)
02. Două generatoare de funcții arbitrare (max  $\pm 5V$ , max. 20Mhz) obținute prin conversie D/A pe 14 biți cu o rată de 100Ms/sec (W1, GND) și (W2, GND)
03. Osciloscop cu două intrări diferențiale ( $1M\Omega / \pm 25V$ , max. 20Mhz) rată de eșantionare 100Ms/sec, conversie A/D independentă pe 14 biți (1+, 1-) și (2+, 2-), multiple posibilități de sincronizare
04. Analizor / generator programabil digital pe 16 biți (0, 1, 2, ... 15), utilizabil ca analizor / generator de secvențe logice, respectiv de semnale logice la nivel de bit

## ANALOG DISCOVERY 2 - interfața hardware

Alimentarea se efectuează prin conexiune USB direct din computer, sau dintr-un alimentator extern

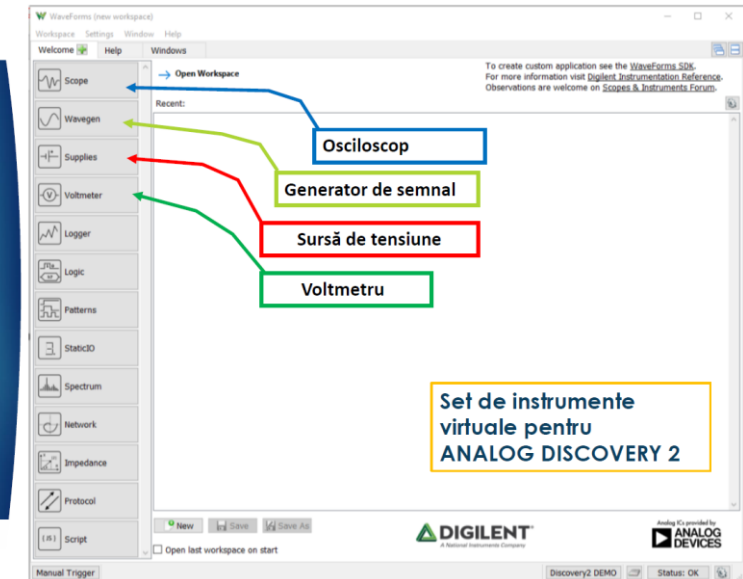
Conectarea la I/E se realizează printr-un conector de 2 x 15 pini și conductoare colorate pentru fiecare bornă în parte



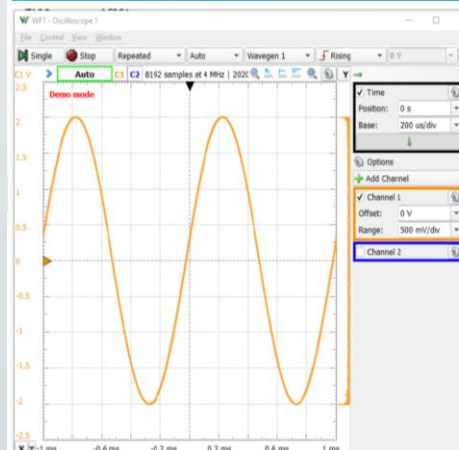
## Interfața software:

fiecare funcție are câte o interfață dedicată, apelabilă din meniul principal

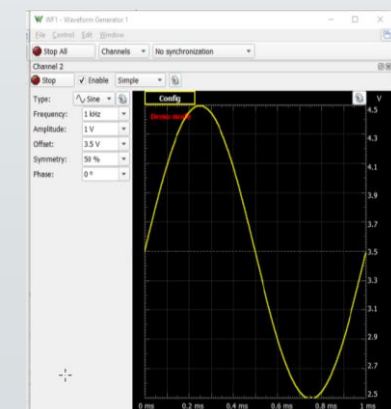
WAVEFORMS



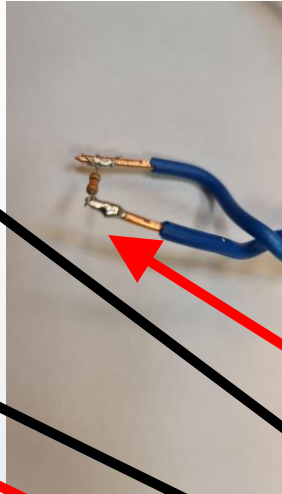
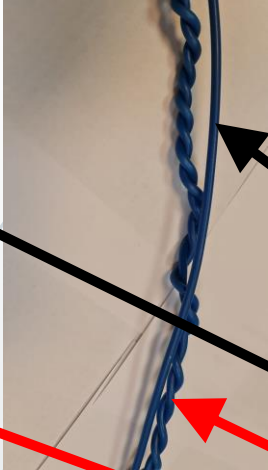
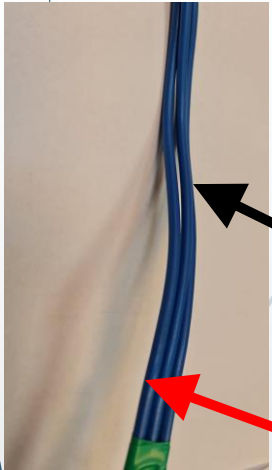
## Interfața software: Osciloscop



## Generator de semnal



### 3. Experimente reale – obiecte folosite



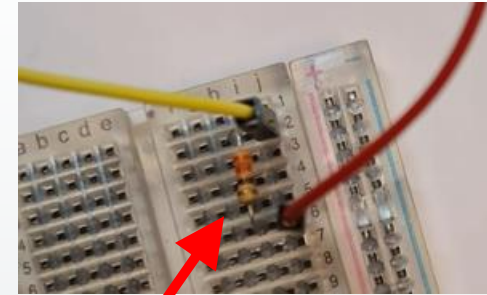
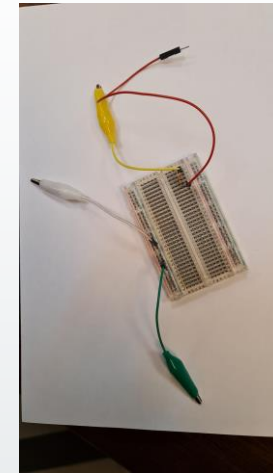
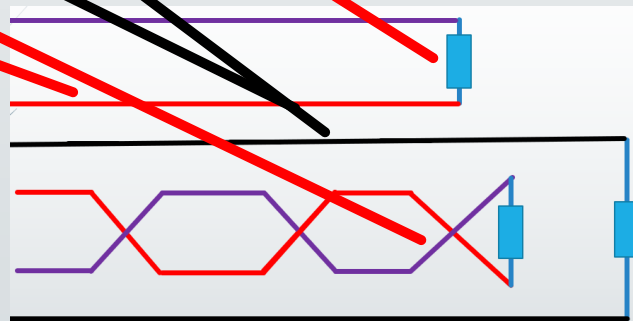
Cablu netorsadat

torsadat

Rezistor – sarcina  
cablurilor

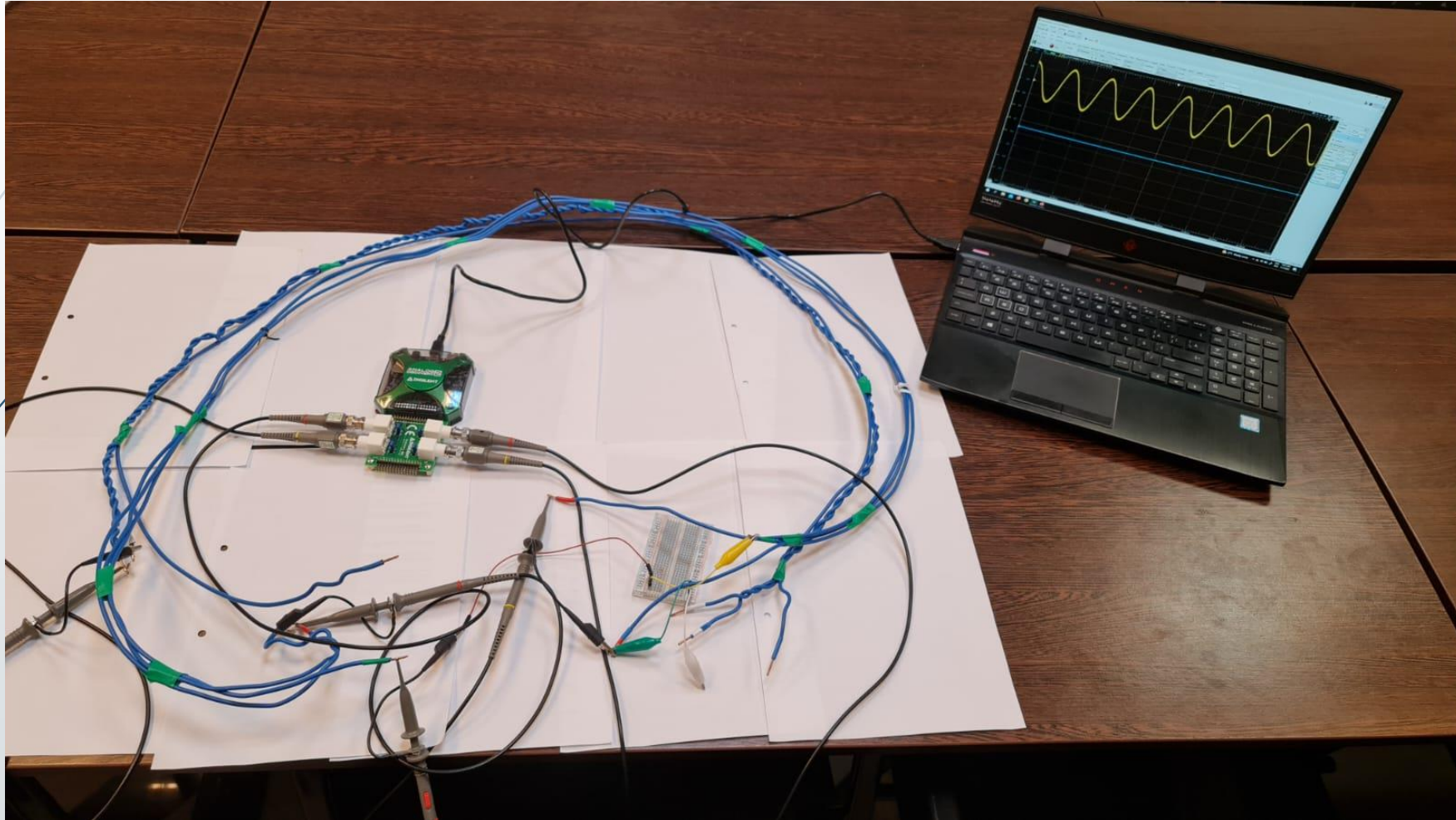


F3-EM, 2022-2023



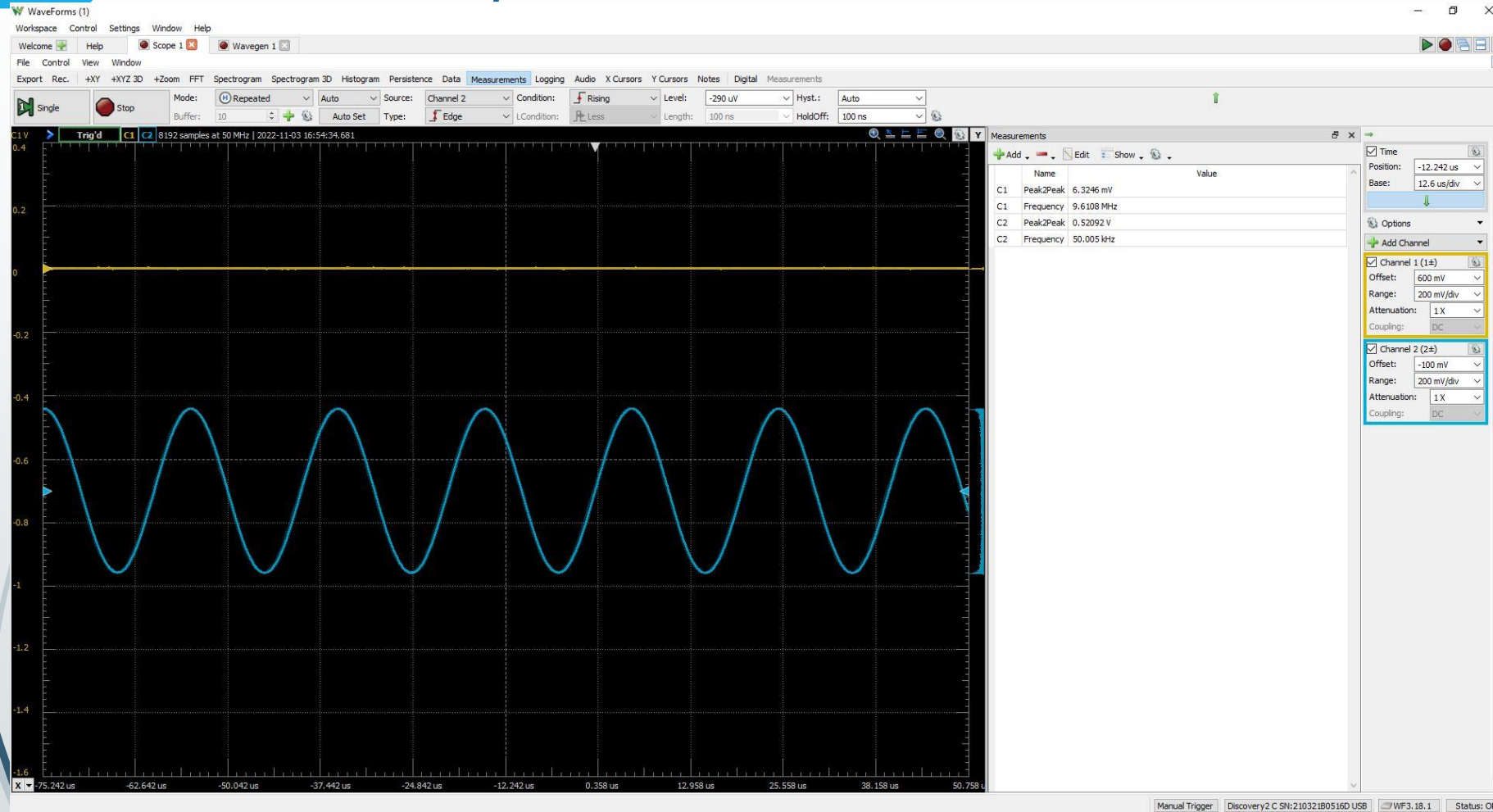
Rezistor – sarcina  
circuitului care  
genereaza campul  
magnetic  
perturbator

### 3. Esperimento reale





### 3. Experimente reale – demo a)

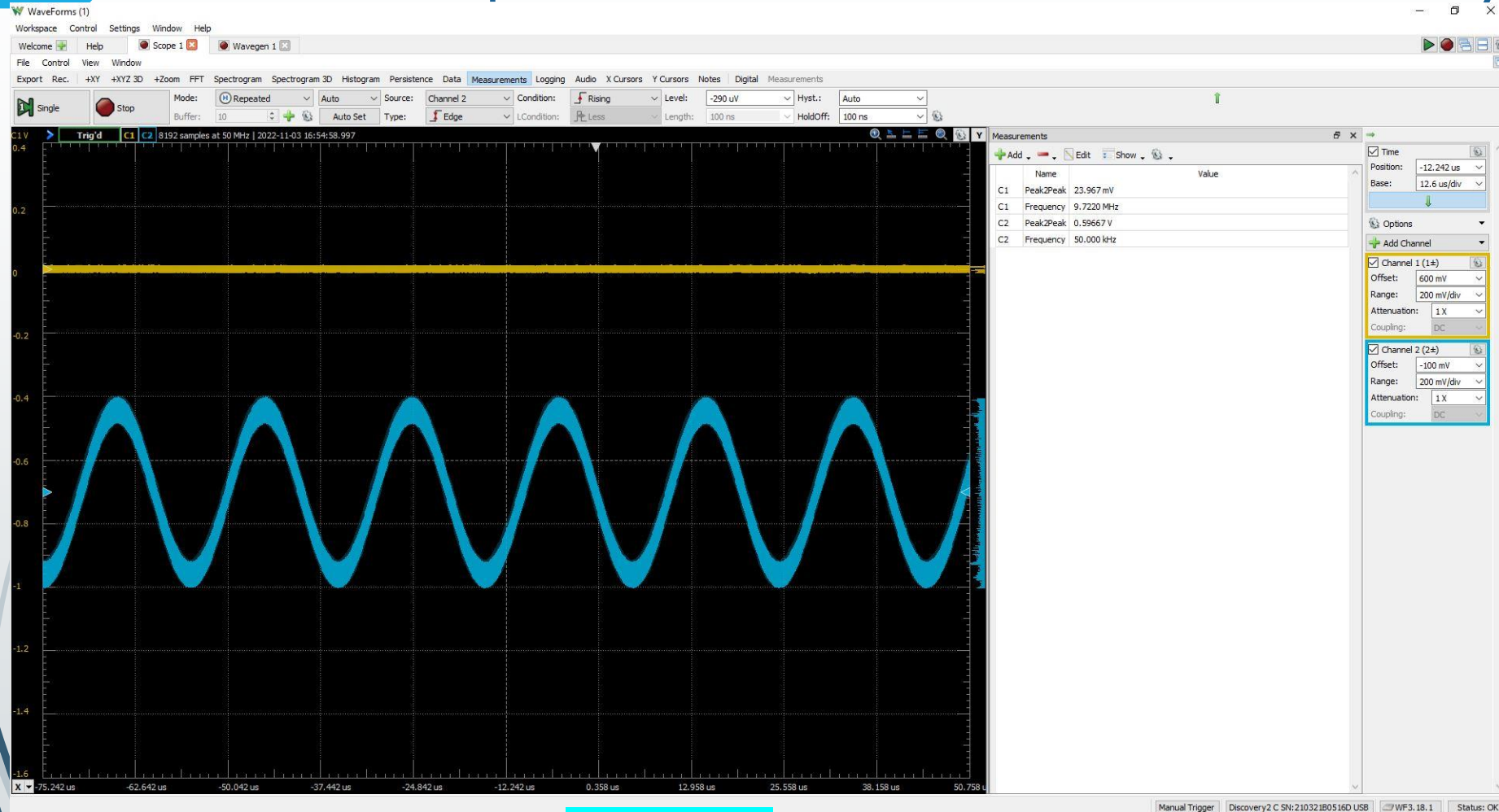


Peak2peak CH2  
Approx 0.5 V

Frecv pe CH2  
Approx 50 kHz

a) semnal util pe cablul netorsadat, fara cp magnetic perturbator

### 3. Experimente reale – demo b)

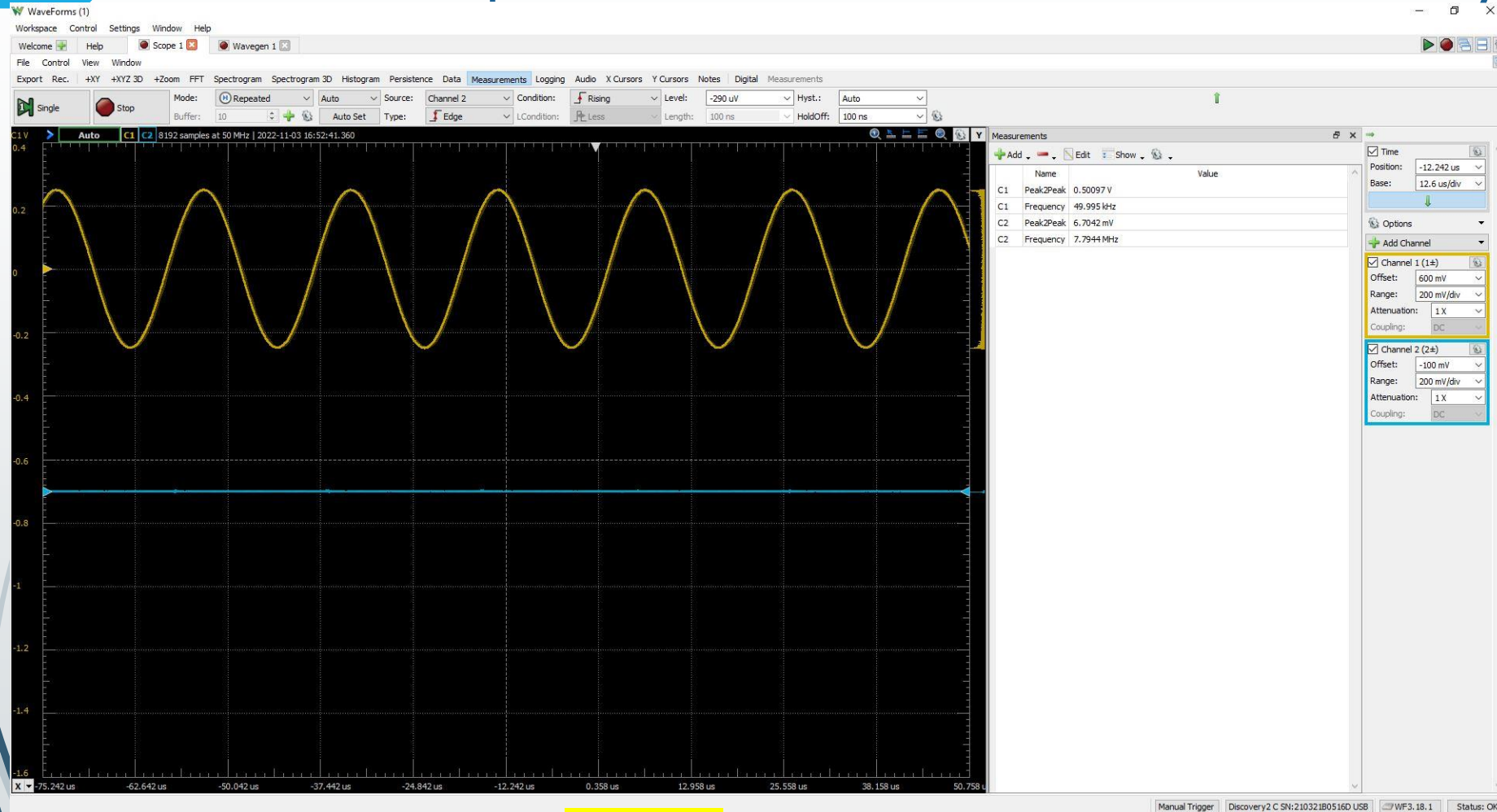


Peak2peak CH2  
Approx 0.6 V

Frecv pe CH2  
50 kHz

b) semnal util pe cablul **netorsadat**, **cu** cp magnetic perturbator

### 3. Experimente reale – demo c)

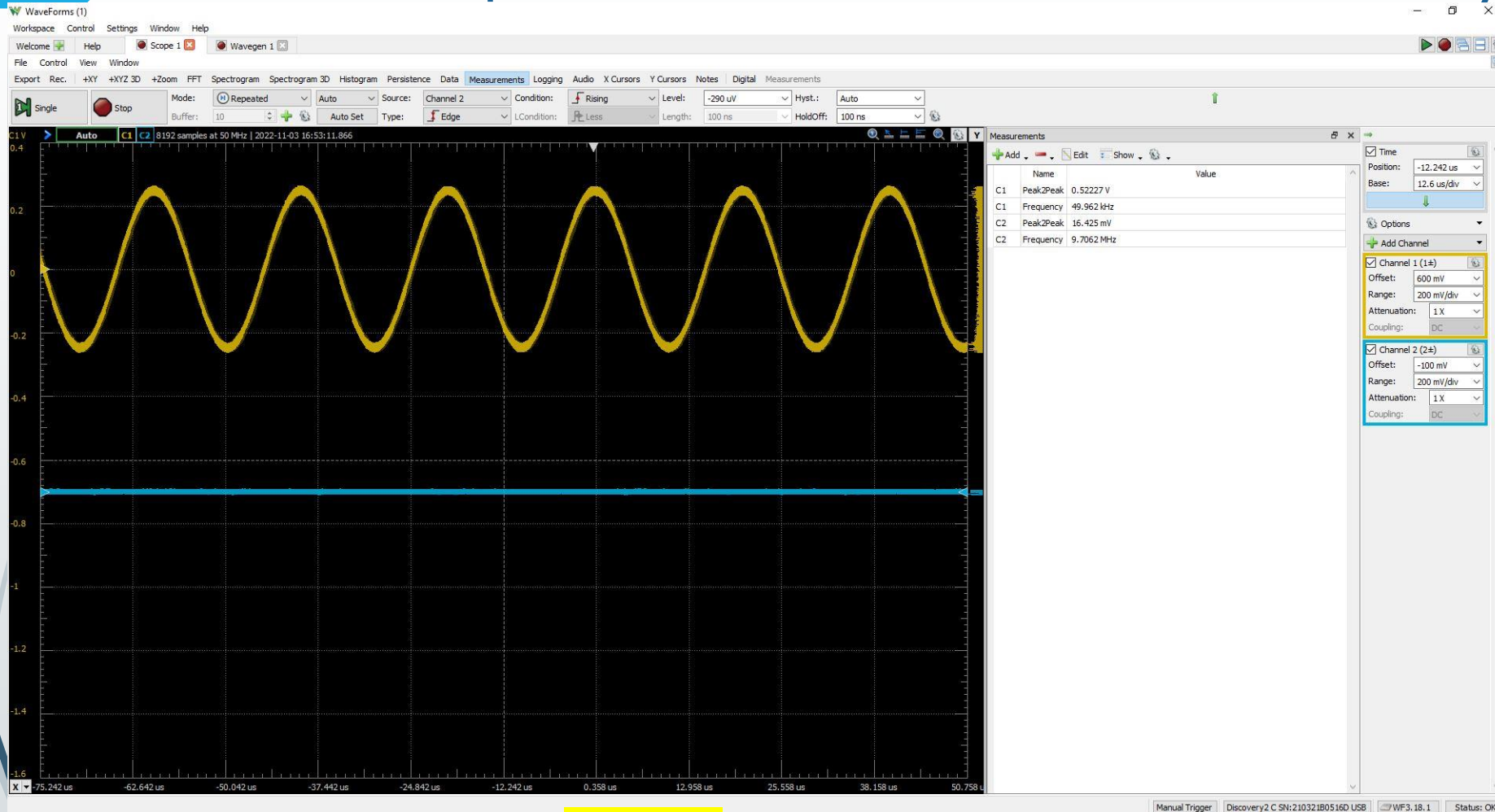


Peak2peak CH1  
Approx 0.5 V

Frecv pe CH1  
Approx 50 kHz

c) semnal util pe cablul **torsadat**, fara cp magnetic perturbator

### 3. Experimente reale – demo d)



Peak2peak CH1  
Approx 0.5 V

Frecv pe CH1  
Approx 50 kHz

d) semnal util pe cablul **torsadat**, **cu** cp magnetic perturbator

## 4. In loc de concluzii

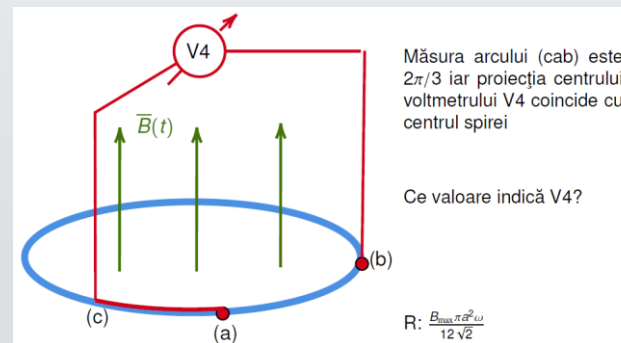
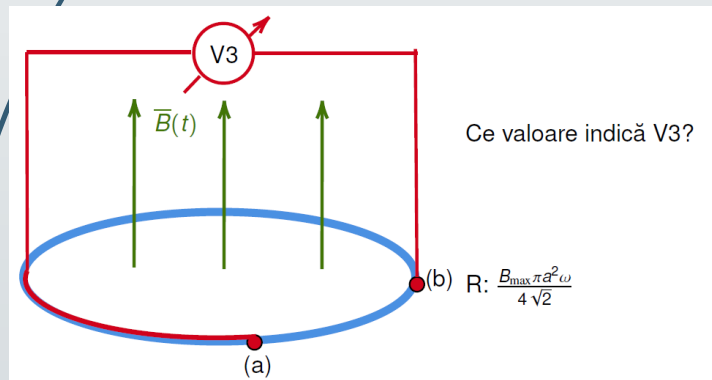
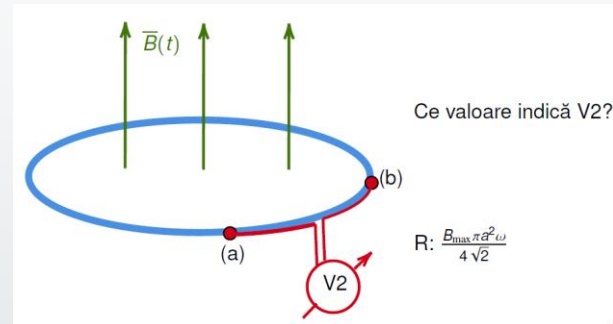
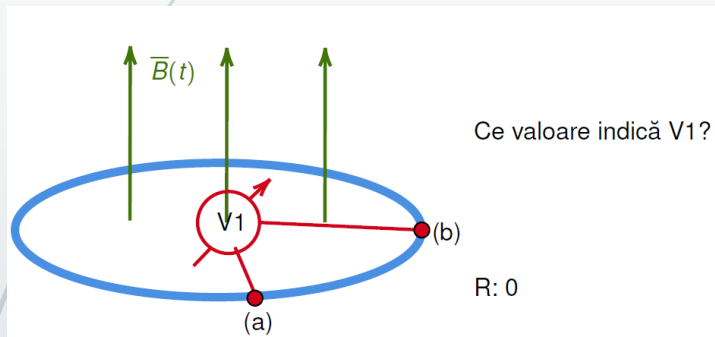
1. Explicati fenomenul inductiei electromagnetice.
2. Dati exemple de dispozitive electromagnetice care folosesc acest fenomen.
3. Explicati de ce experimentul din aceasta lucrare evidentiaza o aplicatie nedorita a acestui fenomen.
4. Cum depinde perturbatia semnalului util de frecventa campului magnetic perturbator? Ce influenta are un camp magnetic constant in timp?
5. Cum depinde perturbatia semnalului util de aria buclei care se formeaza?
6. De ce se practica torsadarea cablurilor?
7. Cautati pe internet semnificatia cuvintului "crosstalk" (diafonie in RO).
8. Cautati pe internet – "differential signaling"/"differential pairs" (semnale diferentiale in RO).
9. Reamintiti-va ipotezele teoriei circuitelor electrice cu parametri concentrati si observati care nu este satisfacuta in experimental realizat.



# Supplement - concepte

Daca doriti sa mai exersati astfel de rationamente.

$B(t) = B_{max} \sin(\omega t)$  Unghiul a0b are masura de 90 de grade.



# Supplement – experimente virtuale

```
function P3_util_dreptunghiular()
% P3_util_dreptunghiular, ilustreaza suprapunerea semnalului util cu cel parazit
% semnalul util este patrat
% semnalul parazit este sinusoidal
Baud = 9600;
frecv_u = Baud/2; % Hz

MHz = 1e6;
%frecv_p = 10*MHz; % frecventa semnalului parazit
%frecv_p = 1*MHz;
%frecv_p = 0.1*MHz;
omega_u = 2*pi*frecv_u;
omega_p = 2*pi*frecv_p;

Cu = 1; % Em/(Rcablu + R)
%Cp = 1e-9; % A*Bm/(Rcablu + R)
%Cp = 1e-8; % A*Bm/(Rcablu + R)
Cp = 1e-7;

T_u = 1/frecv_u; % perioada semnalului util
T_p = 1/frecv_p;

nop = 2;
if (T_u > T_p)
    tmax = nop*T_u;
else
    tmax = nop*T_p;
end
nopp = 10000;
t = linspace(0,tmax,nopp);
rez = f(t);
figure(1); clf;
plot(t,rez.u,'-b','Linewidth',2); hold on;
plot(t,rez.p,'-k');
plot(t,rez.tot,'-r','Linewidth',1);
legend('util','parazit','total');
xlabel('Timp [s]');

function rez = f(t)
    rez.u = Cu*(sign(sin(omega_u*t))+1)/2;
    rez.p = -Cp*omega_p*cos(omega_p*t);
    rez.tot = rez.u + rez.p;
end
end
```

F3-EM, 2022-2023

Semnal util, patrat cu frecventa  $f_u$  = semnal digital transmis cu viteza  $2 f_u$  biti/s (Baud).

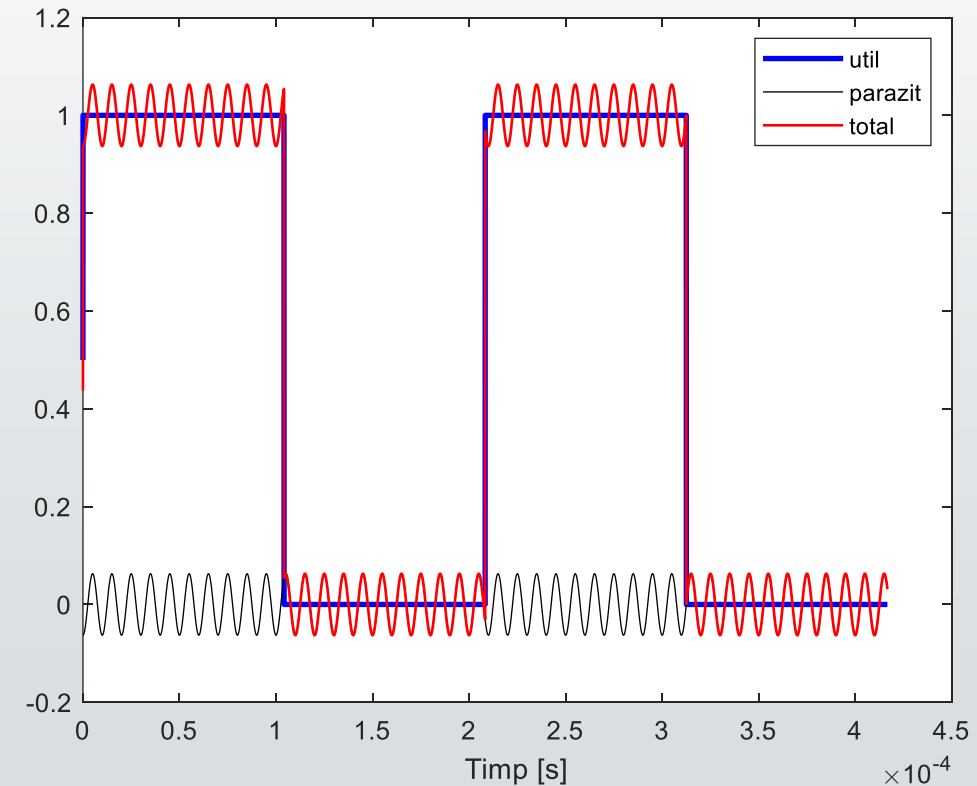
Exemplu – informatie transmisa serial cu

9600 Baud =>  $f_u = 4800 \text{ Hz} = 4.8 \text{ kHz}$

19200 Baud =>  $f_u = 9600 \text{ Hz} = 9.6 \text{ kHz}$

38400 Baud =>  $f_u = 18200 \text{ Hz} = 18.2 \text{ kHz}$

<https://en.wikipedia.org/wiki/Baud>



# Supplement – experimente virtuale

```

function P3_util_dreptunghiular()
% P3_util_dreptunghiular, ilustreaza suprapunerea semnalului util cu cel parazit
% semnalul util este patrat
% semnalul parazit este sinusoidal
Baud = 9600;
frecv_u = Baud/2; % Hz

MHz = 1e6;
%frecv_p = 10*MHz; % frecventa semnalului parazit
frecv_p = 1*MHz;
%frecv_p = 0.1*MHz;
omega_u = 2*pi*frecv_u;
omega_p = 2*pi*frecv_p;

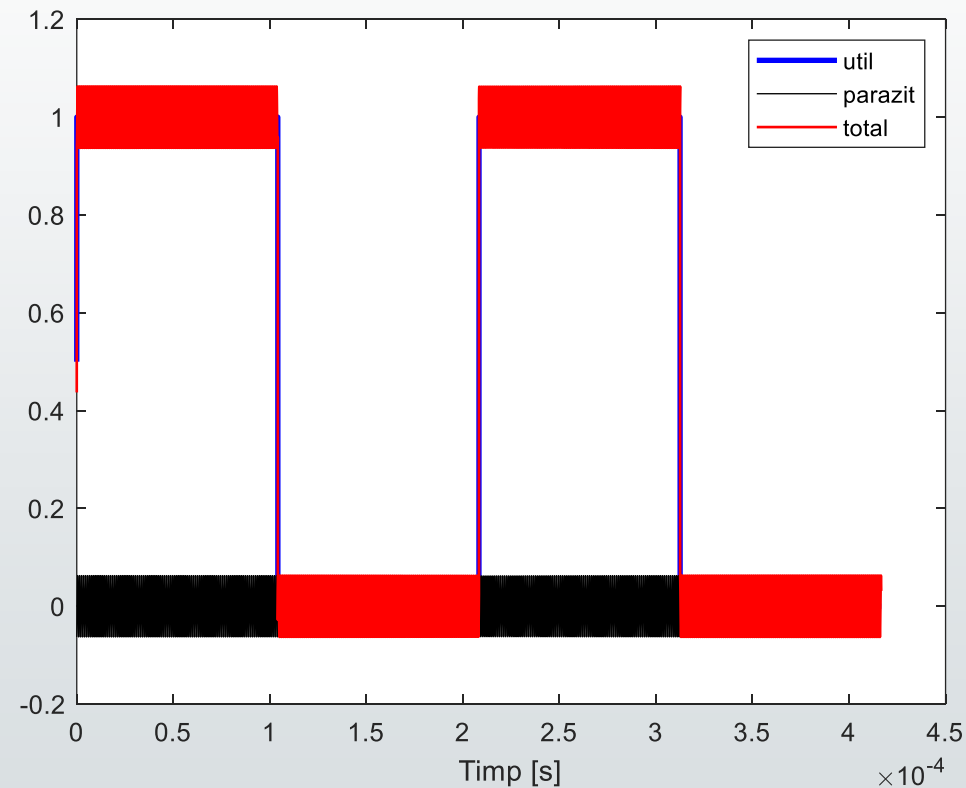
Cu = 1; % Em/(Rcablu + R)
Cp = 1e-9; % A*Bm/(Rcablu + R)
Cp = 1e-8; % A*Bm/(Rcablu + R)
Cp = 1e-7;

T_u = 1/frecv_u; % perioada semnalului util
T_p = 1/frecv_p;

nop = 2;
if (T_u > T_p)
    tmax = nop*T_u;
else
    tmax = nop*T_p;
end
nopp = 10000;
t = linspace(0,tmax,nopp);
rez = f(t);
figure(1); clf;
plot(t,rez.u,'-b','Linewidth',2); hold on;
plot(t,rez.p,'-k');
plot(t,rez.tot,'-r','Linewidth',1);
legend('util','parazit','total');
xlabel('Timp [s]');

function rez = f(t)
    rez.u = Cu*(sign(sin(omega_u*t))+1)/2;
    rez.p = -Cp*omega_p*cos(omega_p*t);
    rez.tot = rez.u + rez.p;
end
end

```



# Notare

- Rezolvati quiz-ul P3.
- Pentru bonus (pana in saptamana 14)
  - – crearea unor figuri/animatii proprii ilustrative pentru cursul de EM, folosind coduri proprii si instrumente software mai performante, de exemplu <https://vtk.org/>, <https://www.paraview.org/>
  - - realizarea unor experimente virtuale/reale care sa ilustreze conceptele discutate.