

# Villamos kapcsolókészülékek

- Házi feladat -

Készítette: Szabó Kristóf (SOQW9P)

Dátum: 2009. május 7.

## Feladat:

A megszakító az ábrán látható áramkörben a kistávolságú szabadvezeteki zárlatot a veszélyes zónában nem tudta megszakítani, mert az ív dielektromosan újragyulladt (az újragyújtáshoz szükséges feszültség időfüggvénye  $U_{gy}(t) = U_0 \cdot e^{t/\tau_{iv}}$  alakú). Ideális (ívmentes, de áramnullátmenetben történő) megszakítást, valamint az áramnullátmenet környéki lineárisan változó áramot és időben állandó visszatérő feszültséget feltételezve számítsa ki

- a visszaszökő feszültség időfüggvényét
- a veszélyes zónának a megszakító kapcsaitól mért  $l_{min}$  és  $l_{max}$  távolsággal megadható kereteit
- valamint ezen két távolságban a VSF paramétereit ( $f_{01}$ ,  $m_k$ , első csúcserték), és rajzolja fel az időfüggvényeket a két határesetben a hullám második visszaverődéséig!

A zárlati áram a megszakító kapcsain:

$$I_{leff} = 40 \text{ kA}$$

A zárlati áram a megszakítótól  $l=15$  km távolságnál:

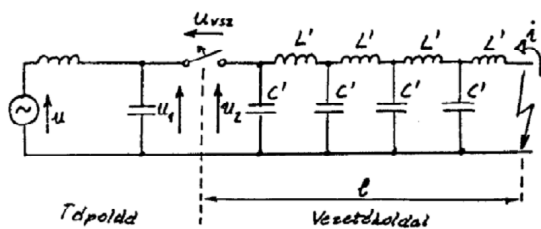
$$I_{leff} = 30 \text{ kA}$$

$$U_{eff} = 400/\sqrt{3} \text{ kV}$$

$$C_1 = 0,35 \text{ } \mu\text{F}$$

$$U_0 = 13 \text{ kV}$$

$$\tau_{iv} = 16 \text{ } \mu\text{s}$$



A beadott feladatban az eredményeken kívül az azok kiszámításához felhasznált összefüggéseket és a számítási részeredményeket is közölje!

## Megoldás:

Két ismeretlenünk van,  $L_1$  és  $L'$ .

$L_1$  meghatározása a kapocszárlati áramérték alapján történik, ekkor

$$I_{\text{leff}} = \frac{U_{\text{eff}}}{\omega \cdot L_1} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 2\pi \cdot 50 \cdot L_1} = 40 \text{ kA}, \text{ ebből } L_1 = 0,0184 \text{ H} = 18,4 \text{ mH}$$

(a kapocszárlat  $C_1$ -et rövidre zárja).

### Hosszegységre eső induktivitás $L'$ meghatározása ( $L_2 = l \cdot L'$ )

$Z = \frac{U_{\text{eff}}}{I_1}$ , ahol  $I_1$  a generátoron folyó áram zárlatkor. Az  $l = 15 \text{ km}$  távolságban folyó zárlati áramot könnyen megkapjuk áramosztással, azaz

$$I_{\text{leff}} = I_1 \cdot \frac{\frac{1}{\omega C_1}}{\frac{1}{\omega C_1} + \omega L_2} = I_1 \cdot \frac{1}{1 + \omega^2 L_2 C_1}$$

$$\text{Így } Z = \frac{U_{\text{eff}}}{I_{\text{leff}} (1 + \omega^2 L_2 C_1)}$$

Azonban  $Z$  felírható az impedanciák összegeként is:

$$Z = \omega L_1 + (\omega L_2) \times \frac{1}{\omega C_1} = \omega L_1 + \frac{\omega L_2}{1 + \omega^2 L_2 C_1}$$

A fenti két egyenletből  $L_2$  és így  $L'$  kifejezhető:

$$L_2 = 0,00614 \text{ H} = 6,14 \text{ mH}$$

$$L' = L_2/l = 0,00614/15000 = 0,409 \mu\text{H/m} = 0,409 \text{ mH/km}$$

$$C' = \frac{1}{v^2 \cdot L'} = 27,22 \text{ pF/m} = 27,22 \text{ nF/km}$$

$$\omega_{01} = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}} = 12,469 \text{ krad/s}$$

$$f_{01} = \frac{\omega_{01}}{2 \cdot \pi} = 1,9845 \text{ kHz}$$

A hullám visszaverődési ideje (a zárlatig megtett út kétszerese)  $\tau = 2 \cdot \frac{l}{v} = 0,1 \text{ ms}$

Az újragyújtási feszültség:

$$U_{\text{gy}}(t) = U_0 \cdot e^{t/\tau_{iv}}$$

Ha a visszaszökő feszültség az újragyújtási fesz. görbéje alatt fut (nem metszi/érinti), akkor nem következik be ív-újragyulladás a zárlati helyen.

A visszazökő feszültség időfüggvénye ( $t < \tau$  ideig érvényes, utána már a visszaverődött hullám hatása is megjelenik):

$$U_{VSF}(t) = \sqrt{2} U_{eff} \left( 1 - \frac{L_1}{L_1 + L_2} \cos(\omega_{01} t) - \frac{L_2}{L_1 + L_2} \left( 1 - \frac{v}{l} t \right) \right)$$

$$U_{VSF}(t) = 326,598 (0,7498 - 0,7498 \cos(12649 \cdot t) + 5004 \cdot t) \text{ kV}$$

A veszélyes zóna határait a VSF függvények ábrázolása után próbálgatással határozzuk meg, a cél, hogy  $U_{gy}(t)$ -t éppen érintse vagy messe a VSF.

$$l_{max} = 8280 \text{ m}$$

$$l_{min} = 1620 \text{ m}$$

A meredekségek:

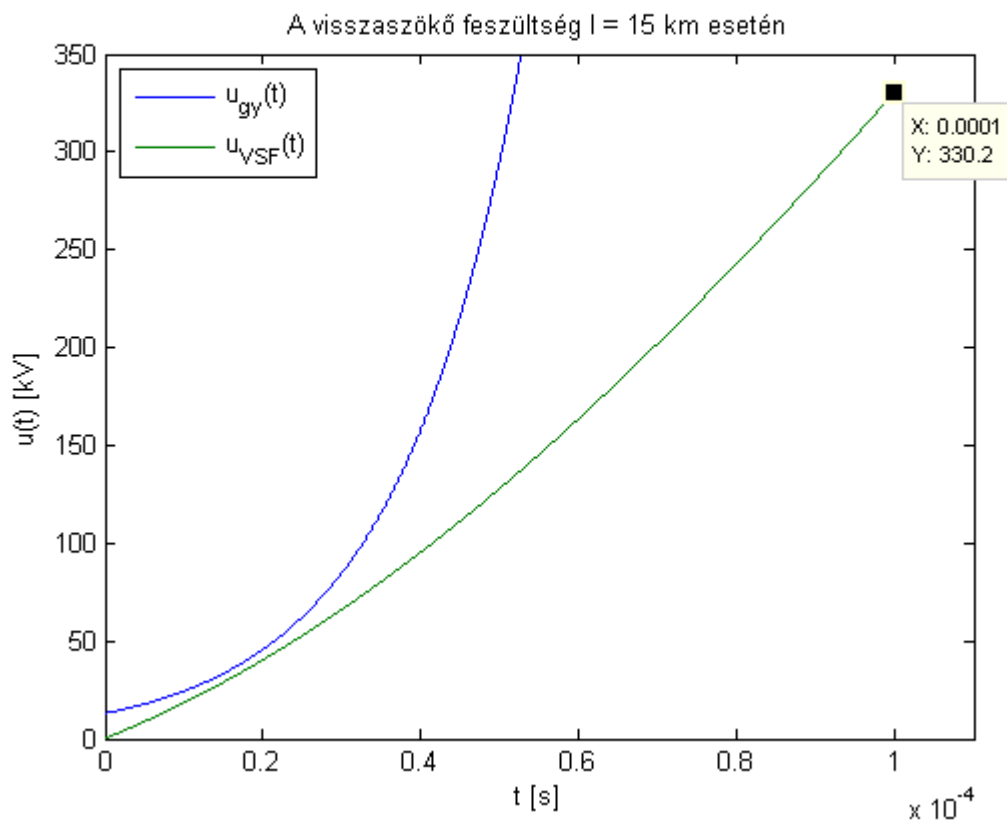
$$m_{kmax} = \sqrt{2} U_{eff} \frac{L' \cdot v}{L_1 + L' l_{max}} = 1838 \text{ kV/ms}$$

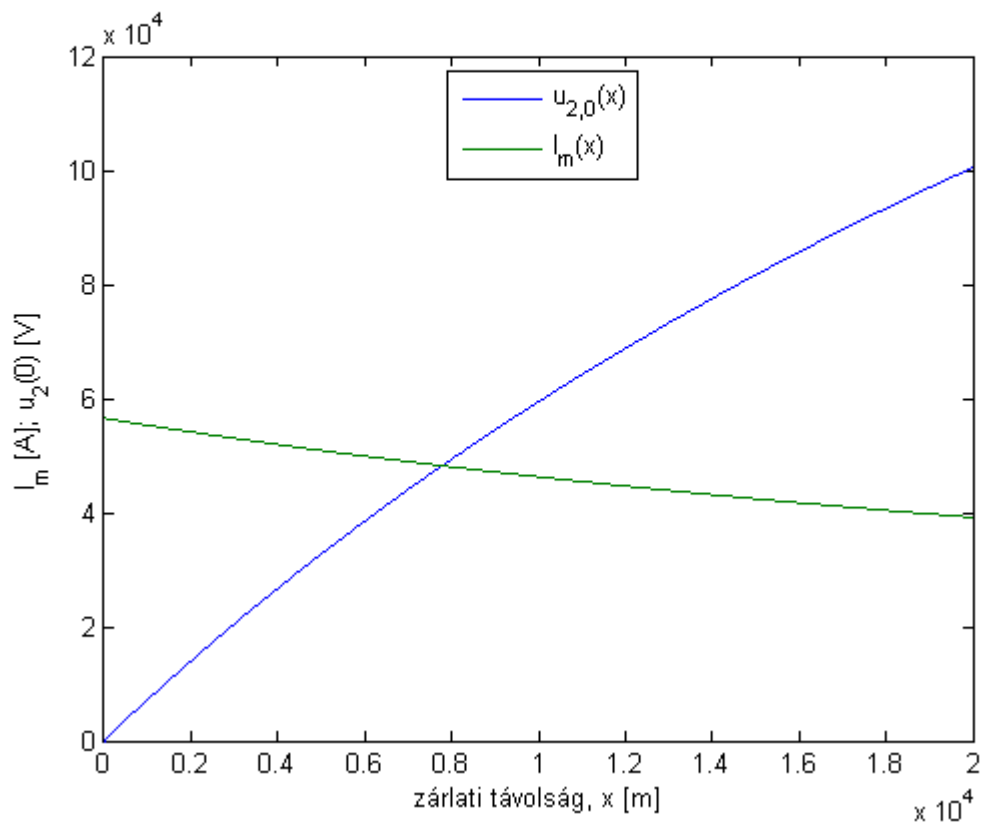
$$m_{kmin} = \sqrt{2} U_{eff} \frac{L' \cdot v}{L_1 + L' l_{min}} = 2100 \text{ kV/ms}$$

Az első csúcértékek:

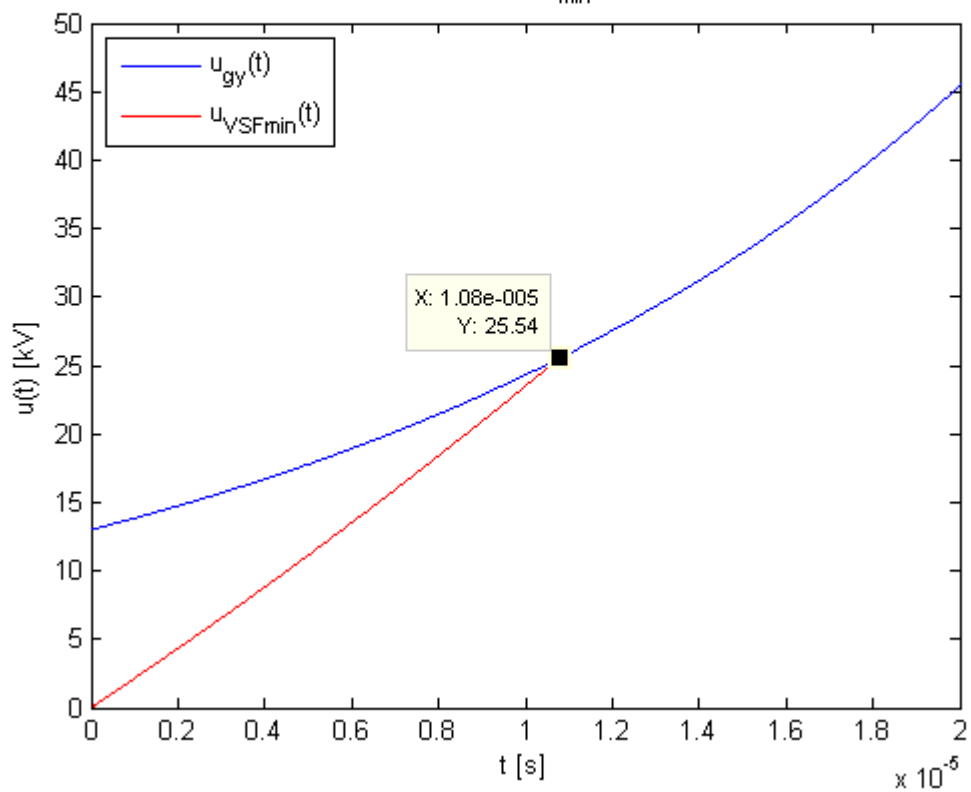
$$U_{csmax} = U_{VSFmax}(\tau_{max}) = 164,26 \text{ kV}$$

$$U_{csmin} = U_{VSFmin}(\tau_{min}) = 25,538 \text{ kV}$$

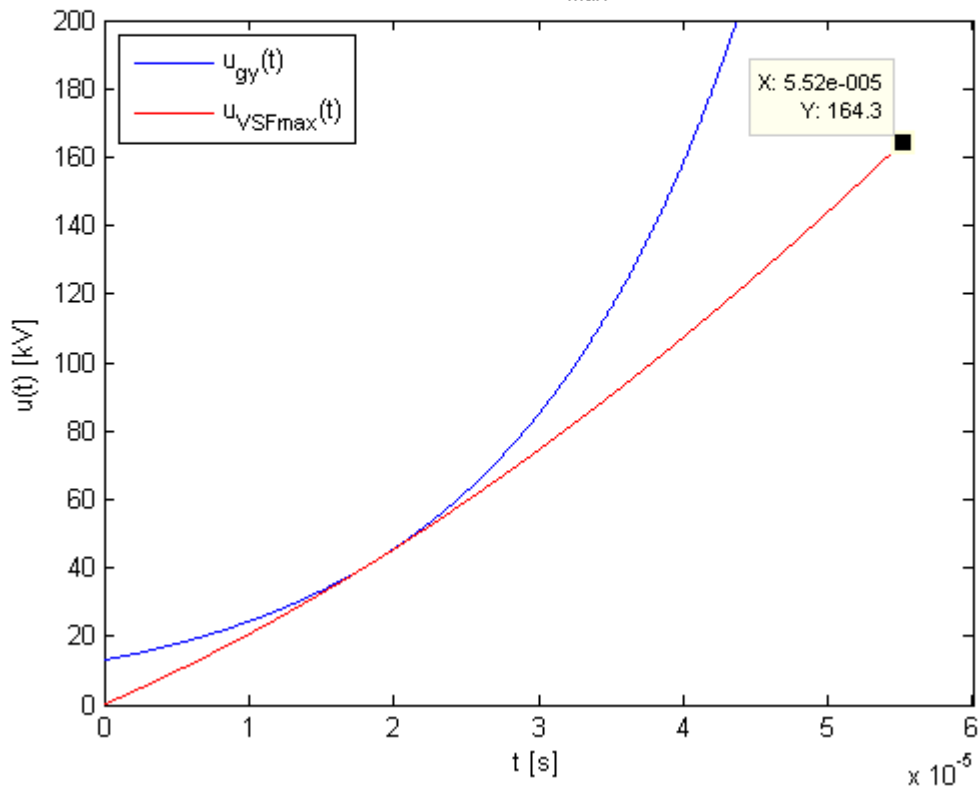




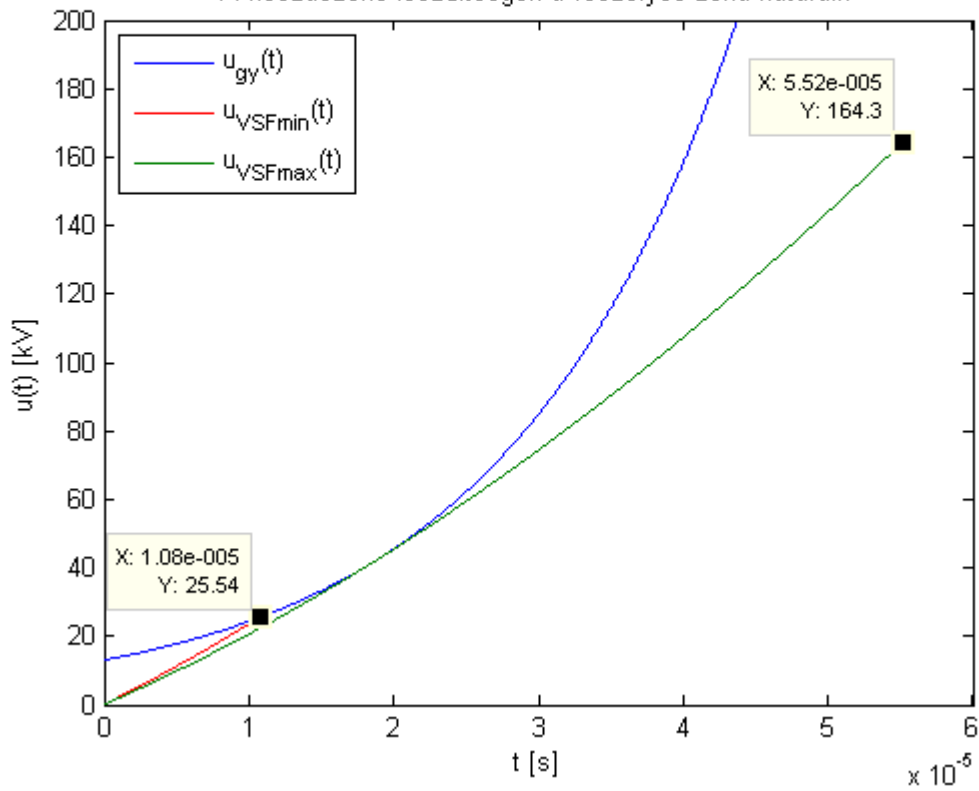
A visszaszökő feszültség  $l_{\min} = 1620$  m esetén



A visszaszökő feszültség  $I_{\max} = 8280$  m esetén



A visszaszökő feszültségek a veszélyes zóna határain



## A teljes MATLAB-kód:

```
Ueff=400000/sqrt(3);
Ileff=40000;
Ileff=30000;
om=2*pi*50;
C1=0.35*10^(-6);
l=15000; %zárlat távolsága
v=3*10^8;
U0=13000;
tau_iv=16*10^(-6);

fv=@(L1) om*L1-Ueff/Ileff;
L1=fsolve(fv,1)

fv=@(L2) om*L1+om*L2/(om^2*L2*C1+1)-Ueff/(Ileff*(1+om^2*L2*C1));
L2=fsolve(fv,1)

Lv=L2/l %['L'] = H/m
Cv=1/(v^2*Lv) %['C'] = F

om01=1/sqrt(L1*C1)
f01=om01/(2*pi)

tau=2*l/v
t=0:10^(-8):tau;

Ugy=U0*exp(t/tau_iv);
Uvsf=Ueff*sqrt(2)*(1-L1/(L1+L2)*cos(om01*t)-L2/(L1+L2)*(1-v*t/l));

figure(1)
set(gcf,'Color','w') %fehér háttér a görbeablaknak
plot(t,Ugy/1000,t,Uvsf/1000)
axis([0 1.1*10^(-4) 0 350])
xlabel('t [s]')
ylabel('u(t) [kV]')
legend('u_g_y(t)', 'u_V_S_F(t)', 'Location', 'NorthWest');
title('A visszaszökő feszültség l = 15 km esetén');

%l=15km esetére
m_k=Ueff*sqrt(2)*L2/(L1+L2)*v/l

%ez csak önszorgalom...
figure(2)
set(gcf,'Color','w')
x=0:10:20000;
u2_0=Ueff*sqrt(2)*Lv*x/(L1+Lv*x);
m_k=Ueff*sqrt(2)*Lv*v/(L1+Lv*x);
Im=m_k/om/Z;
plot(x,u2_0,x,Im)
xlabel('zárlati távolság, x [m]')
ylabel('I_m [A]; u_2(0) [V]')
legend('u_2_0(x)', 'I_m(x)', 'Location', 'North');

%veszélyes zóna alsó határa
l_min=1620; %l=1619-nél még nem metszi, l=1620-nál már igen
m_k_min=Ueff*sqrt(2)*Lv*v/(L1+Lv*l_min)
L2=Lv*l_min;
tau_min=2*l_min/v
t_min=0:10^(-8):tau_min;
```

```

Uvsf_min=Ueff*sqrt(2)*(1-L1/(L1+L2)*cos(om01*t_min)-L2/(L1+L2)*(1-v*t_min/
l_min));
U_cs_min=Uvsf_min(length(t_min)) %első csúcsérték

figure(3)
set(gcf,'Color','w')
plot(t,Ugy/1000,t_min,Uvsf_min/1000,'r')
axis([0 2*10^(-5) 0 50])
xlabel('t [s]')
ylabel('u(t) [kV]')
legend('u_g_y(t)', 'u_V_S_F_m_i_n(t)', 'Location', 'NorthWest');
title('A visszaszökő feszültség l_m_i_n = 1620 m esetén');

%veszélyes zóna felső határa
l_max=8280; %l=8200-nál még 2 helyen metszi; l=8300-nál már nem metszi; a
becsült érintési pont: 8280 m
m_k_max=Ueff*sqrt(2)*Lv*v./(L1+Lv*l_max)
L2=Lv*l_max;
tau_max=2*l_max/v
t_max=0:10^(-8):tau_max;
Uvsf_max=Ueff*sqrt(2)*(1-L1/(L1+L2)*cos(om01*t_max)-L2/(L1+L2)*(1-v*t_max/
l_max));
U_cs_max=Uvsf_max(length(t_max)) %első csúcsérték

figure(4)
set(gcf,'Color','w')
plot(t,Ugy/1000,t_max,Uvsf_max/1000,'r')
axis([0 0.6*10^(-4) 0 200])
xlabel('t [s]')
ylabel('u(t) [kV]')
legend('u_g_y(t)', 'u_V_S_F_m_a_x(t)', 'Location', 'NorthWest');
title('A visszaszökő feszültség l_m_a_x = 8280 m esetén');

%egyszerre ábrázolva a visszaszökő feszültséget mindkét esetben
figure(5)
set(gcf,'Color','w')
plot(t,Ugy/1000,t_min,Uvsf_min/1000,'r',t_max,Uvsf_max/1000)
axis([0 0.6*10^(-4) 0 2*10^2])
xlabel('t [s]')
ylabel('u(t) [kV]')
legend('u_g_y(t)', 'u_V_S_F_m_i_n(t)', 'u_V_S_F_m_a_x(t)', 'Location',
'NorthWest');
title('A visszaszökő feszültségek a veszélyes zóna határain');

```