

Разорна пражњења у далеководима

Диелектрична чврстоћа је онај напон који изолатор може да поднесе. Конвенциони напон опрема мора увек да издржи.

Прескочни напон у ваздуху зависи од облика електрода, од облика електричног поља, амплитуде и трајања пренапона. Такође зависи од низа микропроцеса у природи и има случајан карактер, не долази увек до прескока при истом напону.

$$N(\mu, \sigma^2)$$

N - нормална (Гаусов) расподела,

μ - математичко очекивање,

σ^2 - квадрат стандардне девијације.

$$f(x, \mu, \sigma^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

f - је густина расподеле,

x - случајна променљива.

$$F(x, \mu, \sigma^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dt$$

dt - није обавезно време.

$$P_i = P(x = x_i) \quad \text{вероватноћа}$$

x_i - дискретне вредности које случајна променљива узима.

$$\mu = E(x) = \sum_i x_i P_i$$

$$\sigma^2 = D^2(x) = \sum_i (x_i - \mu)^2 P_i$$

Стандардизација расподеле:

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

Нормализована расподела

$$\mu=0, \sigma^2=1, N(0,1)$$

1.) Мерењем прекочног напона између коаксијалних цилиндричних електрода у SF6 гасу добијене су следеће вредности $u(\text{kV})$: 210, 208, 208, 175, 182, 206, 190, 194, 198, 205, 212, 200, 205, 202, 207, 210, 202, 201, 188, 205, 209, 201, 216, 196. Одредити:

а) очекивану вредност прескочног напона,

б) варијансу и стандардну девијацију прескочног напона,

в) функцију густине расподеле и функцију расподеле прескочног напона.

x_i	175	182	188	190	194	196	198	200	201	202	205	206	207	208	209	210	212	216
P_{mi}	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	1	1	2	1	2	1	1
P_i	1/24	1/24	1/24	1/24	1/24	1/24	1/24	1/24	1/12	1/12	1/8	1/24	1/24	1/12	1/24	1/12	1/24	1/24
$\sum_{x < x_i} P_i$	1/24	2/24	3/24	4/24	5/24	6/24	7/24	8/24	10/24	12/24	15/24	16/24	17/24	19/24	20/24	22/24	23/24	1

P_{mi} - амплитуда учестаности појављивања.

Релативна учестаност, вероватноћа да прескочни напон узме неку од прескочних вредности.

$$P_i = \frac{P_{mi}}{m} \quad n = 24, \text{ кумулативна вероватноћа.}$$

а)

$$\begin{aligned} \mu = E(x) &= \sum_{i=1}^{18} x_i P_i = \frac{1}{24} (175 + 182 + 188 + 190 + 194 + 196 + 198 + 200 + 206 + 207 + 209 \\ &+ 212 + 216) + \frac{1}{12} (201 + 202 + 208 + 210) + \frac{1}{8} 205 = 201.25 \text{ kV} \end{aligned}$$

б)

$$\sigma^2 = D^2(x) = \sum_{i=1}^{18} (x_i - \mu)^2 P_i = 91.27 (\text{kV})^2$$

$\sigma = 9,55 \text{ kV}$, на основу ове вредности се одређује интервал око вредности где се очекује прескочни напон.

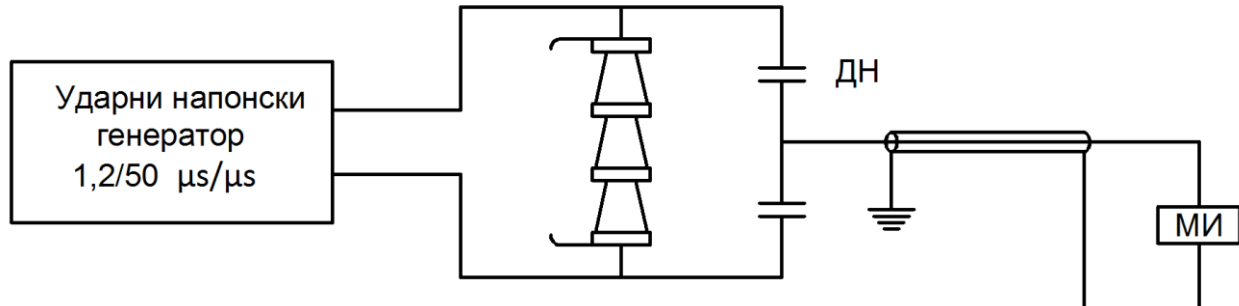
в)

$$f(x) = P(x = x_i) = P_i$$

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} = 0.0418 \cdot e^{-\frac{(x-201.25)^2}{18254}} \text{ kV}$$

Метода горе доле за одређивање 50% прескочног напона

50% прескочни напон је напон при коме у 50% случајева долази до прескока. Ова метода се може применити јер подлаже нормалној расподели.



Испитује се кад долази до прескока а не до пробоја.

ДН - капацитивно делило напона,

МИ - мерни инструмент.

Коаксијални кабл елиминише електро магнетне сметње до мерног инструмента.

Ударни генератор може давати таласе различитих амплитуда.

Метода горе доле

Полази се од напона U_0 приликом кога не долази до прескока. Напон се повећава за ΔU све док не дође до прескока напона на изолатору и тај напон се усваја да је U_{i1} онда се напон спушта и добија се $U_{i2} = U_{i1} - \Delta U$ и такав напон се доводи на изолатор и утврђује да ли долази до прескока, ако се не појави прескок напон се повећа за ΔU , а ако се појави напон се смањи за ΔU . Поступак се понавља све док се не добије n вредности напона. Аритметичка средина ових напона представља 50% прескочни напон.

2.) При одређивању 50% прескочног напона методом горе доле напон се мења на следећи начин. Одредити 50% прескочни напон и стандардно одступање.

Редни број	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
U(kV)	120	145	140	145	150	145	150	145	140	135	140	145	140	145	150	155	150	145
прескок	не	да	не	не	да	не	да	да	да	не	не	да	не	не	не	да	да	да

$\Delta U = 5 \text{ kV}$.

U_0 се не користи за израчунавање 50% прескочни напон.

x_i	135	140	145	150	155
P_m	1	4	7	4	1
P_i	1/17	4/17	7/17	4/17	1/17
$\sum P_i$	1/17	5/17	12/17	16/17	1

P_i релативна учестаност појављивања ових вредности.

$\sum P_i$ кумулативно појављивање.

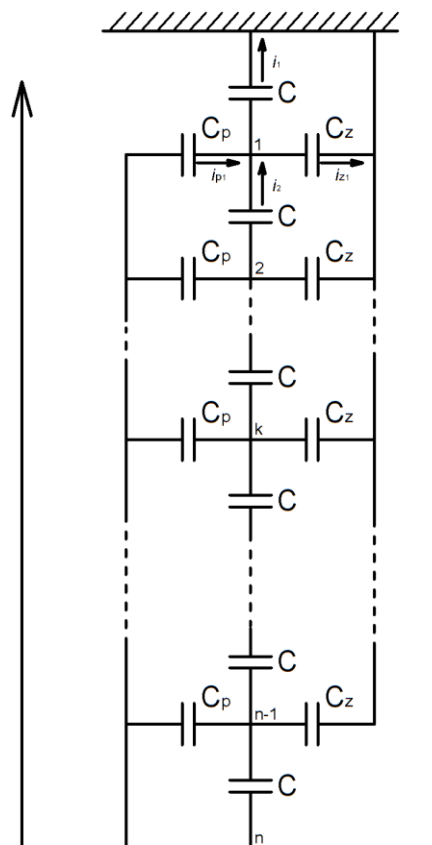
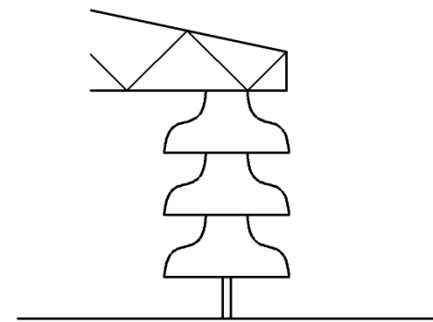
$$U_{50\%} = \mu = E(x) = \sum_{i=1}^5 x_i P_i = 145 \text{ kV}$$

$$\sigma^2 = D^2(x) = \sum_{i=1}^5 (x_i - \mu)^2 P_i = 23.53 (\text{kV})^2$$

$$\sigma = 4.851 \text{ kV}$$

Одређивање расподеле напона дуж изолаторског ланца

- 3.) Одредити расподелу напона дуж једног изолаторског ланца који се састоји из n изолаторских чланака. Претпоставити да су капацитивности металних делова чланака према земљи, према проводнику и према суседном чланку независне од чланка. Бројни подаци: $n=3$, капацитивност између металних делова суседних чланака $C = 50 \text{ pF}$, капацитивност према земљи $C_z = 5 \text{ pF}$, капацитивност према проводнику $C_p = 1 \text{ pF}$.



Конзола стуба је уземљена, тако да је $U_k = 0$. Расподела напона дуж изолатора је нелинеарна, а то је последица постојања паразитних капацитивности према проводнику под напоном и према земљи.

$$\underbrace{(U - U_1)pC_p}_{i_{p1}} + \underbrace{(U_2 - U_1)pC}_{i_2} = \underbrace{U_1 pC}_{i_1} + \underbrace{U_1 pC_z}_{i_{z1}}$$

$$(U - U_2)pC_p + (U_3 - U_2)pC = (U_2 - U_1)pC + U_2 pC_z$$

⋮

$$(U - U_k)pC_p + (U_{k+1} - U_k)pC = (U_k - U_{k-1})pC + U_k pC_z$$

⋮

$$(U - U_{n-1})pC_p + (U - U_{n-1})pC = (U_{n-1} - U_{n-2})pC + U_{n-1} pC_z$$

$$\begin{bmatrix} C_p \\ C_p \\ \vdots \\ C_p \\ \vdots \\ C_p \\ C_p + C \end{bmatrix}_{(n-1) \times 1} pU = \begin{bmatrix} 2C + C_p + C_z & -C & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -C & 2C + C_p + C_z & -C & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & \ddots & & & & \\ 0 & 0 & -C & 2C + C_p + C_z & -C & 0 & 0 \\ & & & & \ddots & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -C & 2C + C_p + C_z & -C \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -C & 2C + C_p + C_z \end{bmatrix}_{(n-1) \times (n-1)} \cdot p \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ \vdots \\ U_k \\ \vdots \\ U_{n-2} \\ U_{n-1} \end{bmatrix}_{(n-1) \times 1}$$

На главној дијагонали је збир свих капацитивности које се сустичу у тој тачки.

$$[C_{pk}]U = [C_k][U_k]$$

$$[U_k] = [C_k]^{-1}[C_{pk}]U$$

$$[U_{kr}] = [C_k]^{-1}[C_{pk}]100\%$$

U_{kr} је релативни однос у односу на напон на изолатору који се сматра да је 100% напон.

$$n = 3$$

$$\begin{bmatrix} U_{1r} \\ U_{2r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2C + C_p + C_z & -C \\ -C & 2C + C_p + C_z \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} C_p \\ C_p + C \end{bmatrix} 100\% = \begin{bmatrix} 106 & -50 \\ -50 & 106 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 1 \\ 51 \end{bmatrix} 100\%$$

$$\det \begin{vmatrix} 106 & -50 \\ -50 & 106 \end{vmatrix} = 8736$$

$$\text{adj} = \begin{bmatrix} 106 & 50 \\ 50 & 106 \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} 106 & 50 \\ 50 & 106 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} U_{1r} \\ U_{2r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.01213 & 0.00572 \\ 0.00572 & 0.01213 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 51 \end{bmatrix} 100\% = \begin{bmatrix} 30.4 \\ 62.5 \end{bmatrix} \%$$

$$n = 5$$

$$\begin{bmatrix} U_{1r} \\ U_{2r} \\ U_{3r} \\ U_{4r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 106 & -50 & 0 & 0 \\ -50 & 106 & -50 & 0 \\ 0 & -50 & 106 & -50 \\ 0 & 0 & -50 & 106 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 51 \end{bmatrix} 100$$

$$\det C_k = 106 \begin{vmatrix} 106 & -50 & 0 \\ -50 & 106 & -50 \\ 0 & -50 & 106 \end{vmatrix} - (-50) \begin{vmatrix} -50 & 0 & 0 \\ -50 & 106 & -50 \\ 0 & -50 & 106 \end{vmatrix} = 106 \cdot 661016 + 50 \cdot (-436800) = 48227696$$

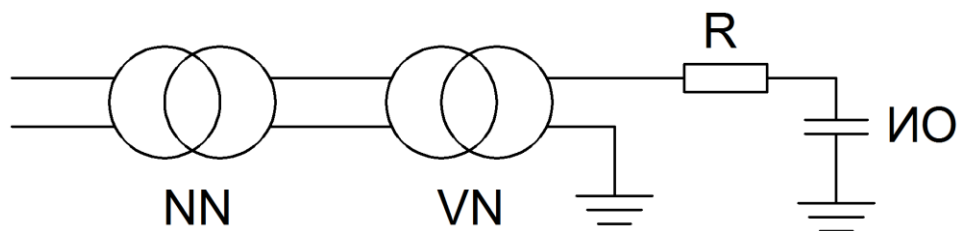
$$adjC_k = \begin{bmatrix} 661016 & 436800 & 265000 & 125000 \\ 436800 & 1191016 & 561800 & 265000 \\ 265000 & 561800 & 926016 & 436800 \\ 125000 & 265000 & 436800 & 661016 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} U_{1r} \\ U_{2r} \\ U_{3r} \\ U_{4r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 16.04 \\ 32.5 \\ 49.82 \\ 71.64 \end{bmatrix} \%$$

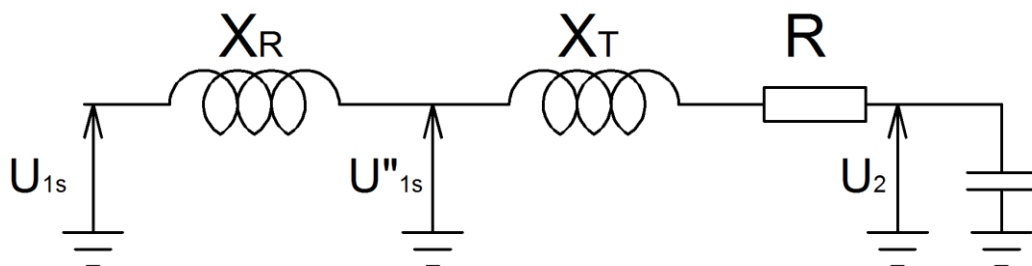
4.) Високонпонски монофазни испитни трансформатор има следеће карактеристике: називни примарни напон $U_{nT}' = 500V$, називни секундарни напон $U_{nT}'' = 500kV$, називна фреквенција $f = 50 \text{ Hz}$, називно оптерећење при пуном напону $S_n = 75 \text{ kVA}$, $U_{KST} = 6 \%$. Напајање овог испитног трансформатора врши се из регулационог трансформатора следећих карактеристика: $U_{nR}'' = 5380kV$, секундарни напон је променљив од 0 до 500 kV, минимално напонско подешење $\Delta U_{min} = 1\%$, трајна снага при максималном напону $S_R = 100 \text{ kVA}$, $U_{KSR} = 3,16 \%$. Испитни трансформатор на располагању има и заштитни отпорник чија је отпорност $R = 900 \text{ k}\Omega$.

а) Одредити колики капацитет може да има објекат који се испитује,

б) Проценити да ли је потребно прикључивати заштитни отпорник ако је краткотрајно дозвољена струја кратког споја $I_{Kskr} = 1A$.



Заменска шема



а) Максимална капацитивност је она при коме се има максимална струја кроз испитни трансформатор

$$C_{\max} = \frac{S_n}{\omega U_n^2} = \frac{75000}{2\pi 50(500000)^2} = 0.955 \cdot 10^{-9} \text{ F}$$

б) Када не би било отпорника и када би испитни објекат био кратко спојен

$$I_k = \frac{U_{1s}}{X_T + X_R}$$

$$X_T = \frac{U_{kT}}{100} \frac{U_{nT}''}{S_n} = \frac{6}{100} \frac{500000^2}{75000} = 200 \text{ k}\Omega$$

$$X_R = \frac{U_{kR}}{100} \frac{U_{nT}''}{S_n} = \frac{3.16}{100} \frac{500000^2}{100000} = 79 \text{ k}\Omega$$

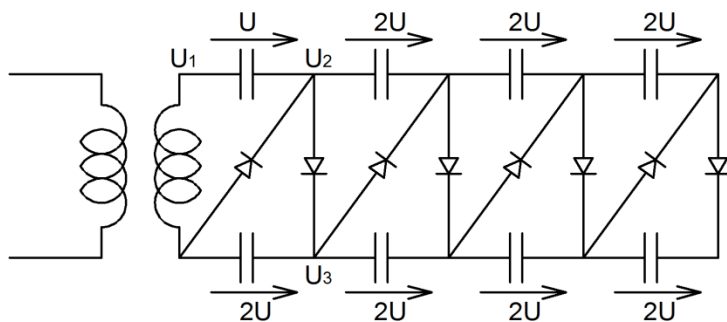
$$I_k = \frac{500 \text{ kV}}{279 \text{ k}\Omega} = 1.792 \text{ A} > I_{kSkR}$$

Неопходно је коришћење заштитног отпорника

$$I_k = \frac{U_{1s}}{\sqrt{R^2 + (X_T + X_R)^2}} = \frac{500 \cdot 10^3}{\sqrt{900^2 + 279^2 \cdot 10^3}} = 0.53 \text{ A}$$

5.) Каскадни генератор једносмерног напона напаја се напоном мрежне учестаности $f = 50 \text{ Hz}$ и даје једносмерни напон од 100 kV (то је номинални напон каскадног генератора). Генератор се састоји од 4 каскаде, сви кондензатори имају по $C = 0,2 \mu\text{F}$, номинално струјно оптерећење је 4 mA . Одредити:

- пад напона при номиналном оптерећењу,
- пулсацију напона при номиналном оптерећењу,
- напон празног хода.

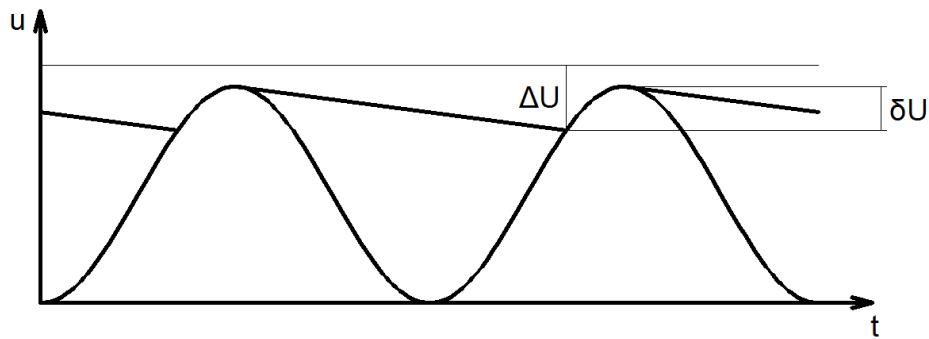
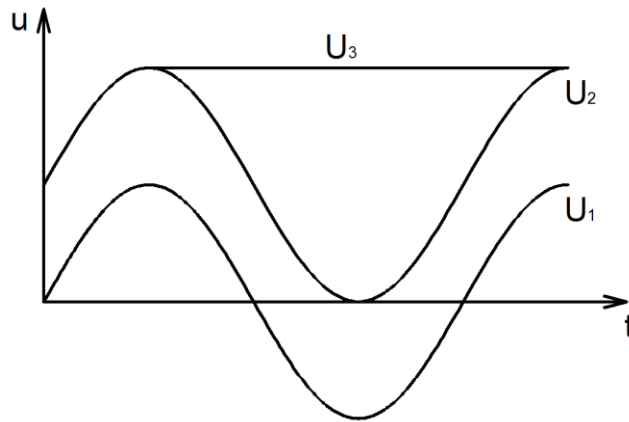


Ако се претпостави да наилази негативна полупериода, постоји могућност да се кондензатор напуни на максималну вредност U (напон на високонапонској страни трансформатора).

У току позитивне полупериоде преко вертикалне диоде која је усмерена на доле пуни се доњи

кондензатор на $2U$ (напон на кондензатору се надовезује на напон секундарна високонапонског трансформатора).

Напон од $8U$ је напон празног хода. Када се каскада оптерети протећиће нека струја и долази до пражњења ових кондензатора. Напон при оптерећењу је мањи од напона празног хода.



a)

$$\Delta U = \frac{I_{sr}}{fC} \left(\frac{2}{3} n^3 + \frac{1}{2} n^2 - \frac{n}{6} \right) = \frac{4 \cdot 10^{-3}}{50 \cdot 0.2 \cdot 10^{-6}} \left(\frac{2}{3} 4^3 + \frac{1}{2} 4^2 - \frac{4}{6} \right) = 20 \text{ kV}$$

n - број каскада

б)

$$\delta U = \frac{I_{sr}}{fC} \frac{n(n+1)}{2} = \frac{4 \cdot 10^{-3}}{50 \cdot 0.2 \cdot 10^{-6}} \frac{4(4+1)}{2} = 4 \text{ kV}$$

в)

$$U_{ph} = U_n + \Delta U = 100 + 20 = 120 \text{ kV}$$

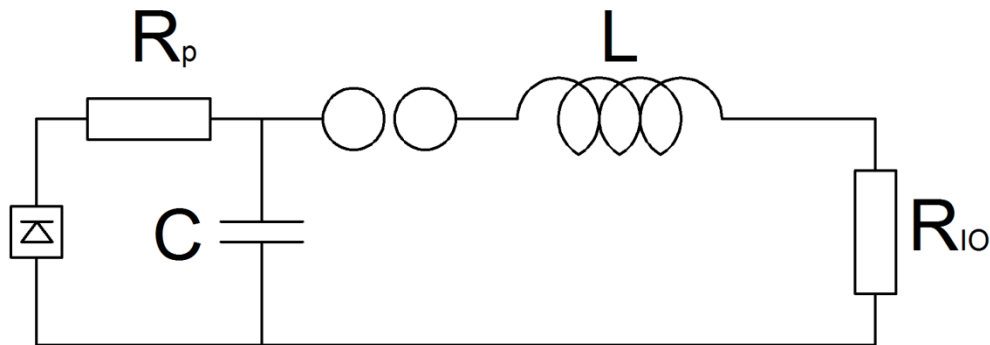
$$U = U_m = \frac{U_{ph}}{2n} = \frac{120}{2 \cdot 4} = 15 \text{ kV}$$

Ударни струјни генератор

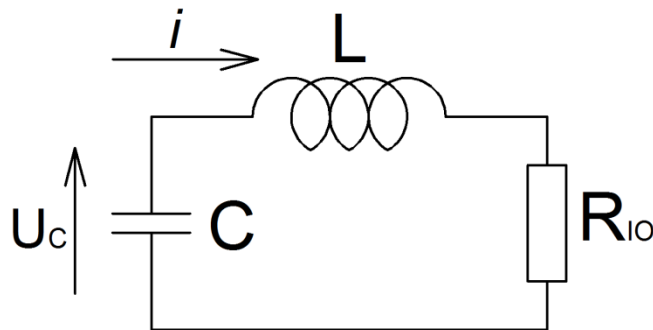
Служи за добијање великих струја при малим напонима, проблем је добити велику струју и велики напон истовремено. Принцип рада ударног струјног генератора се заснива на прежђењу кондензатора преко мале импедансе која у себи садржи неки отпор или индуктивитет. Користе се за динамичко и термичко напрезање објекта, симулира струју атмосферског пражњења.

6.) Дати су параметри ударног струјног генератора: $U = 25 \text{ kV}$, $C = 58,2 \text{ }\mu\text{F}$, $L = 0,104 \text{ }\mu\text{H}$ (индуктивност целог објекта), $R_{\text{I}0} = 8,6 \text{ m}\Omega$. Одредити облик и амплитуду ударног струјног таласа.

Принципијална шема:



Сферно искриште (варничар) има улогу прекидача



Подешавањем ових елемената може се добити жељени облик струјног таласа.

$$i = -C \frac{du_c}{dt} \quad u_c = L \frac{di}{dt} + Ri \quad u_c(0) = U_0, \quad i(0) = 0 \text{ при прескоку}$$

$$I(p) = -C(pU_c(p) - u_c(0))$$

$$U_c(p) = L(pI(p) - i(0)) + RI(p)$$

$$I(p) = -pC(LpI(p) + RI(p)) + CU_0$$

$$I(p) = \frac{CU_0}{p^2LC + pRC + 1} = \frac{U_0}{L} \frac{1}{p^2 + \frac{R}{L}p + \frac{1}{LC}} = \frac{U_0}{L} \frac{1}{p^2 + 2\delta p + \omega^2} = \frac{U_0}{L} \frac{1}{(p - p_1)(p - p_2)}$$

p_1 и p_2 су нуле полинома $p^2 + 2\delta p + \omega^2 = 0$

$$p_{1,2} = \frac{-2\delta \pm \sqrt{4\delta^2 - 4\omega^2}}{2} = -\delta \pm j\sqrt{\omega^2 - \delta^2}$$

$$\delta = \frac{R}{2L} = \frac{8.6 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0.104 \cdot 10^{-6}} = 41.346 \cdot 10^{-3} \frac{1}{s}$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{0.104 \cdot 10^{-6} \cdot 58.2 \cdot 10^{-6}}} = 41.464 \cdot 10^3 \frac{\text{rad}}{s}$$

Пошто је $\omega > \delta$ има се псевдопериодичан режим, тј. нуле ће бити имагинарне.

$$p_1 = -\delta + j\sqrt{\omega^2 - \delta^2} = -\delta + j\alpha\omega$$

$$p_2 = -\delta - j\sqrt{\omega^2 - \delta^2} = -\delta - j\alpha\omega$$

$$\alpha = \sqrt{1 - \frac{\delta^2}{\omega^2}} = \sqrt{1 - \left(\frac{41.346}{406.464}\right)^2} = 0.995$$

$$T_C = \frac{1}{\delta} = 21.19 \cdot 10^{-6} \text{ s} \text{ степен пригушења}$$

$$I(p) = \frac{U_0}{Lp_1p_2} \frac{1}{\left(\frac{p}{p_1} - 1\right)\left(\frac{p}{p_2} - 1\right)} = \frac{U_0}{Lp_1p_2} \frac{1}{(1 + pT_1)(1 + pT_2)} \xrightarrow{t} i(t) = \frac{U_0}{Lp_1p_2} \frac{e^{-\frac{t}{T_1}} - e^{-\frac{t}{T_2}}}{T_1 - T_2}$$

$$i(t) = \frac{U_0}{Lp_1p_2} \frac{e^{p_1t} - e^{p_2t}}{-\frac{1}{p_1} + \frac{1}{p_2}} = \frac{U_0}{L} \frac{e^{p_1t} - e^{p_2t}}{p_1 - p_2} = \frac{U_0}{L} \frac{e^{-\delta t}(\cos(\alpha\omega t) + j\sin(\alpha\omega t)) - e^{-\delta t}(\cos(\alpha\omega t) - j\sin(\alpha\omega t))}{-\delta + j\alpha\omega - (-\delta - j\alpha\omega)}$$

$$i(t) = \frac{U_0}{L} \frac{e^{-\delta t} j 2\sin(\alpha\omega t)}{2j\alpha\omega} = \frac{U_0}{\alpha\omega L} e^{-\delta t} \sin(\alpha\omega t)$$

Максимална вредност струје се приближно постиже за 1/4 периоде.

$$\tau_m = \frac{T}{4} = \frac{\frac{2\pi}{\alpha\omega}}{4} = \frac{\pi}{2\alpha\omega} = 3.88 \mu\text{s}$$

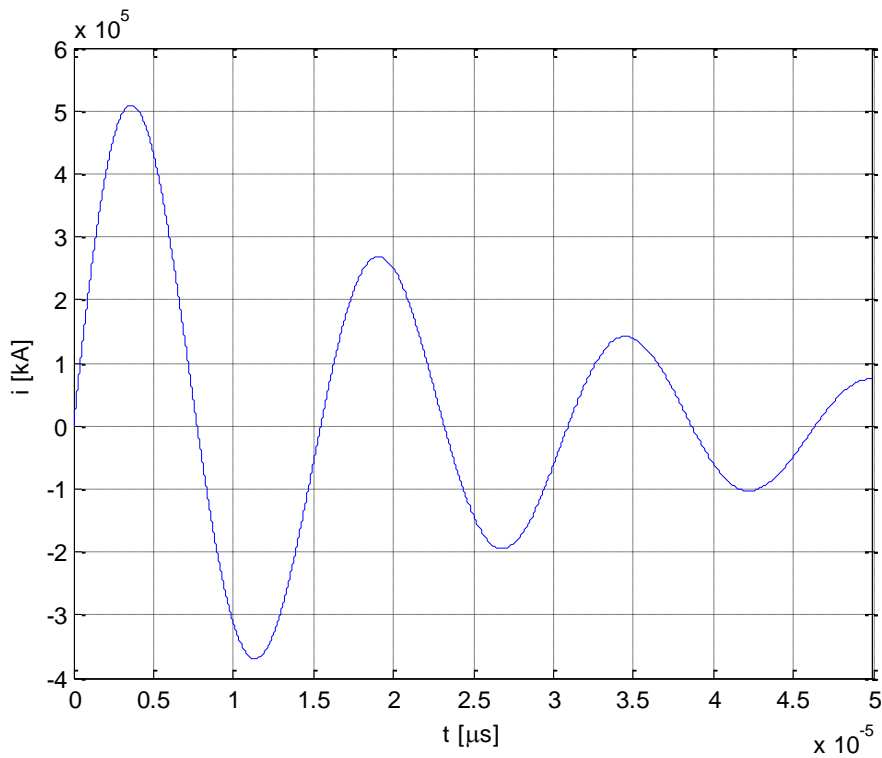
$$I_m = \frac{U_0}{\alpha \omega L} e^{-\delta \tau_m} = \frac{25 \cdot 10^3}{0.995 \cdot 406.464 \cdot 10^3 \cdot 0.104 \cdot 10^{-6}} e^{-41.34610^3 \cdot 3.8810^{-6}} = 506.28 \cdot 10^3 \text{ A}$$

$$i(t) = 594.37 \cdot 10^3 \cdot e^{-41.34610^3 \cdot t} \sin(406.464 \cdot 10^3 \cdot t)$$

$t(\mu\text{s})$	0,1	0,2	0,3	0,21	2,52	6,3	6,4	6,32
$i(\text{kA})$	24,05	47,87	71,41	50,94	457,56	251,36	234,63	248,04

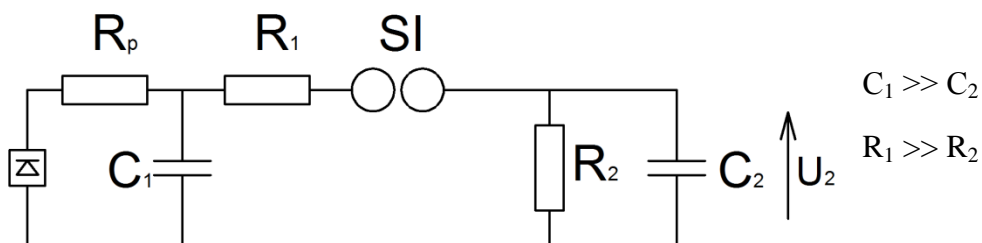
$t_1 = 0,3 \mu\text{s}$ при $0,1 I_m$, и $t_1 = 2,52 \mu\text{s}$ при $0,9 I_m$.

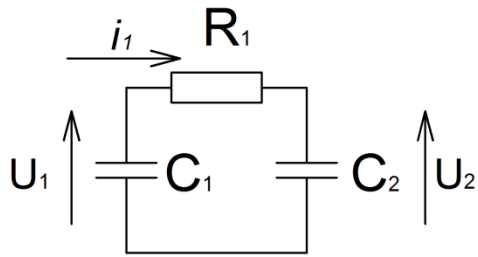
$$T_C = \frac{t_2 - t_1}{0.8} = \frac{2.52 - 0.3}{0.8} = 2.775 \mu\text{s}$$



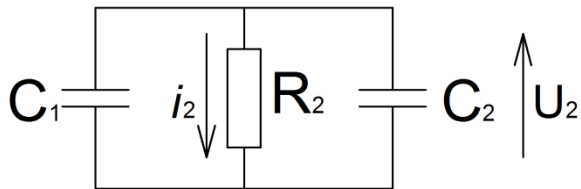
Једносмерни ударни напонски генератор

7.) За изградњу једносмерног ударног напонског генератора на располагању су два кондензатора $C_1 = 7,2 \text{ nF}$, и $C_2 = 0,5 \text{ nF}$ (C_2 обухвата и капацитивност испитног објекта). Активна отпорност испитног објекта је бесконачна. Одредити отпор који је потребно убацили у коло да би облик таласа био $1,2/50$.





За овај прелазни процес, који је кратак, R_2 је бесконачно велик. C_1 се незнатно празни у процесу пуњења C_2 . После тога обе капацитивности се празне преко R_2 . Ово је други временски процес, има дужу временску константу.



$$T_1 \approx C_2 R_1, T_2 \approx C_1 R_2$$

$$u_1 - R_1 i_1 - u_2 = 0$$

$$i_1 = -C_1 \frac{du_1}{dt}$$

$$i_1 = C_2 \frac{du_2}{dt}$$

$$u_1(0) = U_{10}$$

$$u_2(0) = 0$$

$$U_1 - R_1 I_1 - U_2 = 0$$

$$I_1 = -C_1(pU_1 - u_1(0))$$

$$I_1 = C_2(pU_2 - u_2(0))$$

$$C_2 p U_2 = -C_1 p U_1 + C_1 U_{10}$$

$$U_1 = \frac{1}{pC_1}(C_1 U_{10} - pC_2 U_2)$$

$$\frac{U_{10}}{p} - \frac{C_2}{C_1} U_2 - R_1 p C_2 U_2 - U_2 = 0 \Rightarrow U_2 = \frac{1}{1 + pC_2 R_1 + \frac{C_2}{C_1}} \frac{U_{10}}{p} = \frac{U_{10} C_1}{p} \frac{1}{C_1 + pC_1 C_2 R_1 + C_2}$$

$$U_2 = \frac{U_{10} C_1}{C_1 + C_2} \frac{1}{p \left(1 + pR_1 \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \right)} \xrightarrow{t} u_2(t) = \frac{U_{10} C_1}{C_1 + C_2} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_1}} \right) h(t)$$

$$T_1 = R_1 \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \approx R_1 C_2$$

$$u_2 = R_2 i_2$$

$$i_2 = -(C_1 + C_2) \frac{du_2}{dt}$$

$$u_2(0) = U_m = \frac{U_{10} C_1}{C_1 + C_2}$$

$$U_2 = R_2 I_2$$

$$I_2 = -(C_1 + C_2)(pU_2 - u_2(0))$$

$$U_2 = -R_2(C_1 + C_2)pU_2 + R_2(C_1 + C_2)U_m$$

$$U_2 = \frac{R_2(C_1 + C_2)U_m}{1 + pR_2(C_1 + C_2)}$$

$$u_2(t) = U_m e^{-\frac{t}{T_2}} h(t)$$

$$T_2 = R_2(C_1 + C_2)$$

$$u_2(t) = U_m \left(e^{-\frac{t}{T_2}} - e^{-\frac{t}{T_1}} \right) h(t)$$

$$0.3U_m = U_m \left(1 - e^{-\frac{t_1}{T_1}} \right)$$

$$0.9U_m = U_m \left(1 - e^{-\frac{t_2}{T_1}} \right)$$

$$T_c = \frac{t_2 - t_1}{0.6} = \frac{T_1 \ln 7}{0.6} = 3.243 T_1$$

$$T_1 = R_1 C_2 \Rightarrow R_1 = \frac{T_1}{C_2} = \frac{T_c}{3.243 C_2} = 740 \Omega$$

$$T_1 = 740 \cdot 0.5 \cdot 10^{-9} = 0.37 \mu\text{s}$$

$$0.5U_m = U_m e^{-\frac{t_3}{T_2}}$$

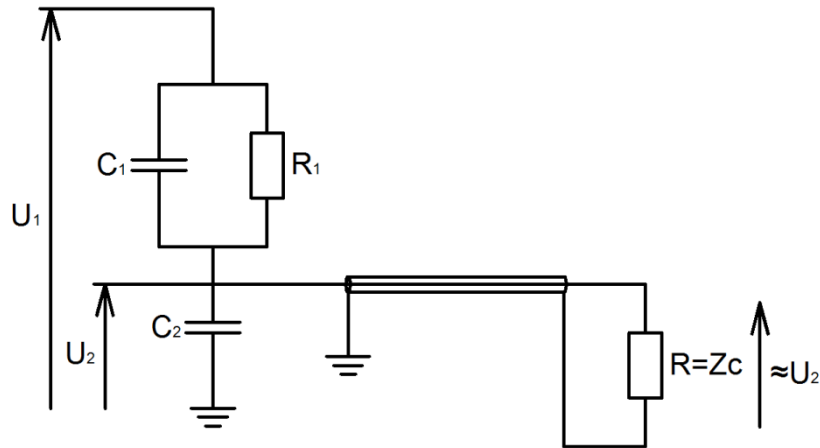
$$t_3 = T_z = T_2 \ln 2$$

$$T_2 = R_2 C_1 \Rightarrow R_2 = \frac{T_2}{C_1} = \frac{T_z}{C_1 \ln 2} = 10 \text{ k}\Omega$$

$$T_2 = 10 \cdot 10^3 \cdot 7.2 \cdot 10^{-9} = 72 \mu\text{s}$$

Делила напона се користе при мерењу високог напона јер су јефтине од трансформатора за високи напон.

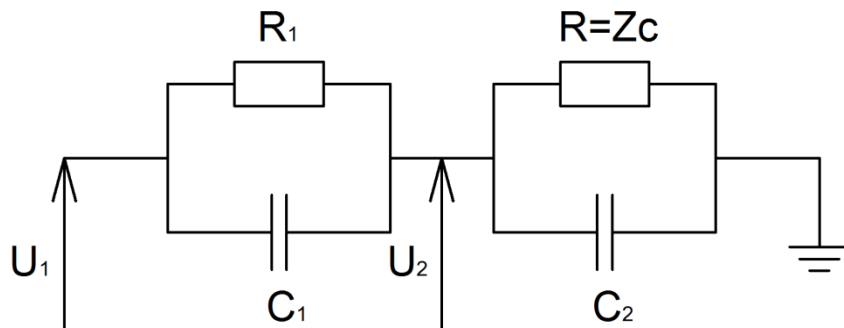
8.) За мешовито делило напона који је приказан на слици одредити такав однос параметара да делило теоријски не уноси изобличења. Однос дељења треба да буде $n+1:1$. Делило је предвиђено да ради тако да буде повезано са осцилоскопом преко коаксијалног кабла карактеристичне импедансе Z_c , дужине d који је на крају затворен отпором R .



$R = Z_c$ да не би било рефлексија од коаксијалног кабла.

Потребно је да се плашт уземљи само у једној тачки, да не би било лутајућих струја (што је случај ако је кабал уземљен на два места).

Еквивалентна шема



$$U_1 = U_2 + \frac{R_1 \frac{1}{pC_1}}{R_1 + \frac{1}{pC_1}} I_1 = U_2 + \frac{R_1}{1 + pC_1 R_1} U_2 \underbrace{\left(pC_2 + \frac{1}{Zc} \right)}_{I_1 = (U_2 - 0)Y}$$

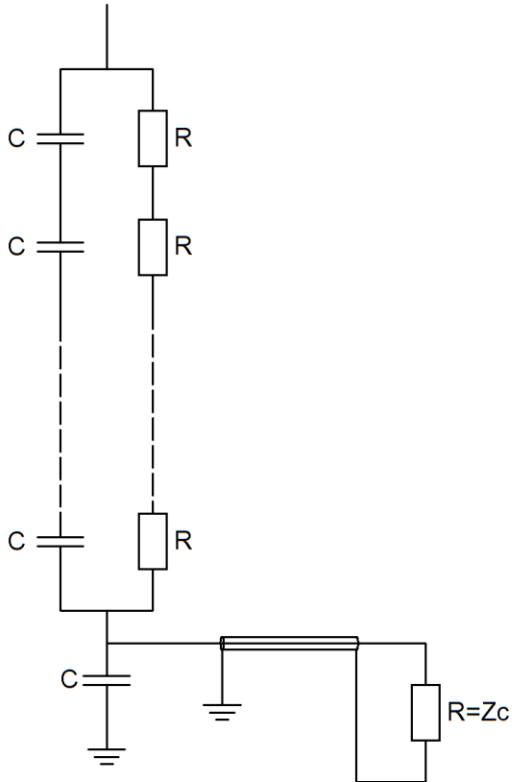
$$U_1 = U_2 \left(1 + \frac{R_1}{1 + pC_1 R_1} \frac{1 + pC_2 Zc}{Zc} \right)$$

$$\frac{U_1}{U_2} = 1 + \frac{R_1}{1 + pC_1 R_1} \frac{1 + pC_2 Zc}{Zc} = n + 1$$

$$\frac{R_1}{1 + pC_1 R_1} \frac{1 + pC_2 Zc}{Zc} = n$$

$$R_1 + pC_2 Zc R_1 = n(Zc + pC_1 R_1 Zc)$$

Да би n био цео број:



$$R_1 = nZ_c$$

$$C_2 R_1 Z_c = n C_1 R_1 Z_c$$

Одавде следи да је:

$$R_1 = nZ_c$$

$$C_2 = nC_1$$

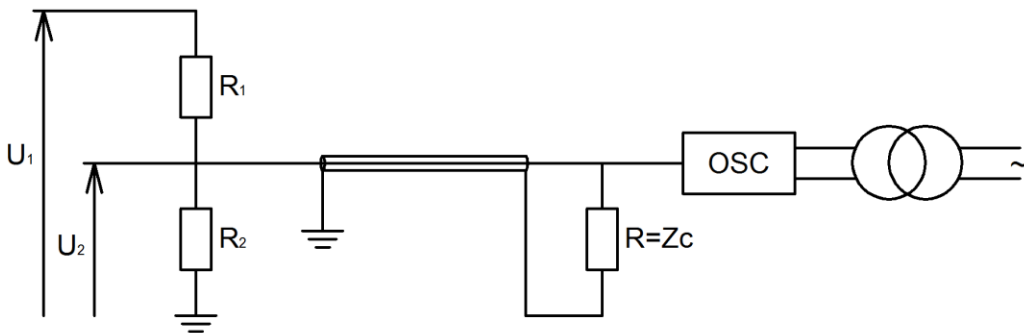
Само један кондензатор зато што је горе редна веза nC , одавде следи да је:

$$C_2 = n \frac{C}{n} = C$$

9.) За мерење импулсног напона примењено је омско делило напона на које је прикључен осцилоскоп за снимање брзих појава као на слици. Карактеристична импеданса коаксијалног кабла је $Z_c = 70 \Omega$. Осетљивост осцилоскопа је 50 V/cm а висина екрана је 8 cm . Одредити отпор R_1 да би овим делилом могли да меримо напон до 1 MV . Отпор R_2 сматрати:

а) да тежи бесконачности,

б) $R_2 = Z_c = 70 \Omega$.



$$U_{2\max} = 50 \frac{\text{V}}{\text{cm}} 8 \text{ cm} = 400 \text{ V}$$

$$m = \frac{U_2}{U_1} = \frac{R_{ekv}}{R_1 + R_{ekv}}$$

$$R_{ekv} = \frac{R_2 R}{R_2 + R} = \frac{R_2 Zc}{R_2 + Zc}$$

$$R_1 \gg R_{ekv} \quad m = \frac{R_{ekv}}{R_1} = \frac{R_2 Zc}{R_1 (R_2 + Zc)} \Rightarrow R_1 = \frac{R_2 Zc}{m (R_2 + Zc)}$$

$$m = \frac{U_{2\max}}{U_1} = \frac{400}{10^6} = 0.4 \cdot 10^{-3}$$

$$R_1 = \frac{Zc}{m \left(1 + \frac{Zc}{R_2} \right)}$$

$$\text{a) } R_2 \rightarrow \infty \quad R_1 = \frac{Zc}{m} = \frac{70}{0.4 \cdot 10^{-3}} = 175 \text{ k}\Omega$$

$$\text{b) } R_2 = Zc \quad R_1 = \frac{Zc}{2m} = 87.5 \text{ k}\Omega$$