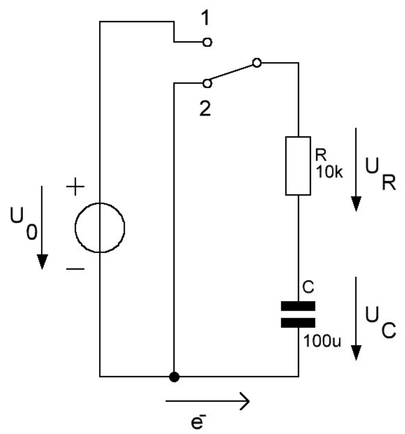
A KONDENZÁTOR TÖLTŐDÉSE

Kapcsoljunk sorba egy kondenzátort, egy ellenállást, valamint egy kapcsolót, az 1. ábra szerint! Vizsgálódásunk tárgya a kondenzátor töltődési folyamata lesz. Az ellenállás szerepe az áramkorlátozás.



1. ábra

Alaphelyzetben a kapcsoló a 2. állásban van. A kondenzátor mindkét fegyverzetén a töltéshordozók (elektronok) száma egyenlő a töltéskiegyenlítődés okán.

Billentsük át a kapcsolót az 1. állásba! A forrás pozitív pólusa elektronhiányos, így az R ellenálláson keresztül megindul az elektronok áramlása a kondenzátor pozitív fegyverzetéről a forrás pozitív pólusa felé, így lényegében megindul a szabad töltéshordozók áramlása. Mivel a forrásnak közel nulla a belső ellenállása, így az az áramlásnak nem szab gátat, vagyis az elektronok tovább áramlanak a kondenzátor negatív fegyverzete felé.

A forrás viszonylatában – ahogy ezt az egyenáramú körök esetében láthattuk – lényegében töltéskiegyenlítődés folyik. Ezzel ellentétben ha a kondenzátor két fegyverzetét vizsgáljuk, akkor az tapasztalható, hogy amíg a kondenzátor pozitív fegyverzete elektronban szegényebb lesz, addig a negatív fegyverzete elektronban gazdag, vagyis a két fegyverzet között potenciálkülönbség alakul ki. Ez a villamos feszültség villamos térerősséget hoz létre a két fegyverzet között, melynek nagysága a fegyverzetek között kialakuló feszültség (U_C) és a fegyverzetek közötti távolság (d) függvénye.

A térerősség pillanatnyi nagysága: $E=\frac{u_C}{d}$.

Könnyen belátható, hogy a bekapcsolási pillanatban – mivel a fegyverzetek töltése kiegyenlített – a kondenzátor fegyverzetei közötti feszültség nulla, melynek okán a térerősség is nulla. A kondenzátorok fegyverzetein kialakuló töltéskülönbség növekvő villamos feszültséget eredményez. Ennek megfelelően a fegyverzetek közötti villamos térerősség is megnő. A növekvő térerősség hatására a lemezek közötti vonzó hatás is megnövekszik, így újabb elektronok vándorolnak a negatív fegyverzetre, ez pedig a feszültség növekedését eredményezi. Az áramláshoz szükséges elektromotoros erőt a forrás biztosítja. Lássuk meg, hogy mindennek értelmében a kondenzátor feszültsége folyamatosan nő!

A) A bekapcsolás (0 s, a kapcsoló billentése 2-es ből 1-es állásba): A bekapcsolás pillanatában a kondenzátoron mérhető feszültség – ahogy azt az előzőekben igazoltuk – nulla értékű, vagyis a kondenzátor rövidzárként viselkedik. Kirchhoff huroktörvénye értelmében: $U_0=u_R+u_C$.

Mivel $u_C=0$, ezért: $U_0=u_R+u_C=u_R+0$, ebből következik, hogy $u_R=U_0$.

Ebben az állapotban az áram értéke maximális, hiszen a forrás feszültsége teljes egészében a soros ellenállásra „jut”. $I_{max}=\frac{U_0}{R}$

B) A töltődés (átmeneti állapot, tranziens): Ahogy töltődik a kondenzátor, a fegyverzetein mérhető feszültség is növekszik $(\uparrow)$, ezzel együtt az ellenálláson eső feszültség csökken $(\downarrow)$, a Kirchhoff huroktörvénye alapján, hiszen a két elem (ellenállás és kondenzátor) feszültségének mindenkori összege a forrás feszültségével azonos:

$$U_0 = \downarrow u_R + \uparrow u_C$$

A töltődés okán a kondenzátoron eső feszültség növekszik, így:

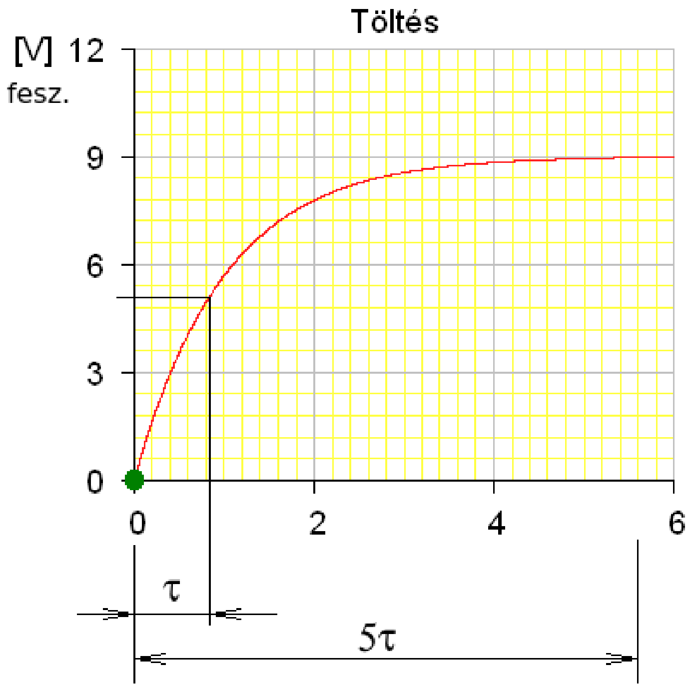
- az ellenállás feszültsége csökken;
- csökken az áramerősség;
- a kondenzátor által képviselt pillanatnyi ellenállásérték nő.

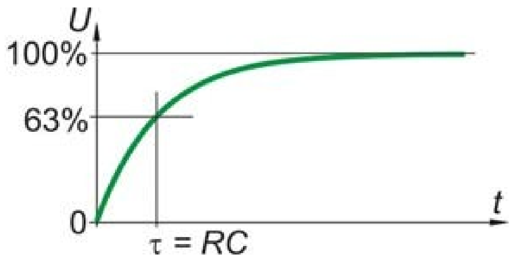
C) Feltöltött állapot: A töltődés folyamán a kondenzátoron mérhető feszültség folyamatosan nő, míg a köráram csökken, így az ellenálláson eső feszültség nulláig csökken, hiszen a kondenzátor negatív lemezeire véges számú elektron „vándorolhat” (áram pedig addig van, amíg áramlás). Könnyen belátható, hogy ennek a feszültségnövekedésnek a forrás feszültsége szab gátat. A feltöltött állapotot Kirchhoff huroktörvényével igazolva:

Mivel az áramlás megszűnik (a kondenzátor feltöltődése okán), az áram értéke $I=0$ lesz.

Ebből $U_0 = u_R + u_C = R \cdot I + u_C = R \cdot 0 + u_C = 0 + u_C = u_C$, vagyis $u_C = U_0$

Megállapítható, hogy állandósult (feltöltött) állapotban a kondenzátor által képviselt ellenállás elméletileg szakadással ($R=\infty$) egyenértékű, amennyiben a kondenzátor fegyverzetei közötti dielektrikumában létrejövő szivárgó áramtól eltekintünk.





$$u_C = U_0 \cdot \left(1 - e^{\frac{-t}{\tau}}\right)$$

2. ábra a kondenzátor töltődése

Mint ismeretes, a kondenzátor kapacitása a kondenzátor fegyverzeteire kapcsolt feszültség hatására felhalmozódó töltés, vagyis ez véges értékű: $C=\frac{Q}{U}=\frac{[C]}{[V]}=\frac{[As]}{[V]}$

A felhalmozódó töltés nagysága ebből: $Q=C\cdot U=\left[\frac{As}{V}\right]\cdot[V]=[As]=[C]$.

A kondenzátor időben változó (pillanatnyi) feszültsége exponenciális függvénnyel írható le:

$u_C=U_0\cdot\left(1-e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$, ahol

U_0 a forrás feszültsége
e az Euler-féle természetes szám $(e\approx 2{,}718)$
t a pillanatnyi idő
τ az időállandó

A kondenzátor töltősének ideje a kondenzátor kapacitásának és az ellenállás értékének felhasználásával könnyen kiszámítható:

A feltöltődési idő, mely alatt a kondenzátor megközelítőleg U_0 feszültségre töltődik: 5τ, ahol τ-t időállandónak nevezzük. τ Az az idő, ami alatt a kondenzátor U_0 63%-ára töltődik (2. ábra).

$$t=\frac{Q}{I} \;\Rightarrow\; \tau=\frac{C\cdot U_0}{\frac{U_0}{R}}=R\cdot C=\left[\frac{V}{A}\right]\cdot\left[\frac{As}{V}\right]=[s]$$

1. példa: számítsuk ki egy soros RC-kör időállandóját, valamit feltöltődési idejét! $R=100\,k\Omega$; $C=100\,\mu F$

időállandó: $\tau=R\cdot C=100\,k\Omega\cdot 100\,\mu F=10^5\frac{V}{A}\cdot 10^{-4}\frac{As}{V}=10^1 s=10\,s$

a feltöltődési idő: $5\tau=5\cdot 10\,s=50\,s$

2. példa: Mekkora a kondenzátor értéke, ha feltöltődési idő 5s, az ellenállás értéke pedig $10\,k\Omega$?

időállandó: $\tau=\frac{5\tau}{5}=\frac{5\,s}{5}=1\,s$;

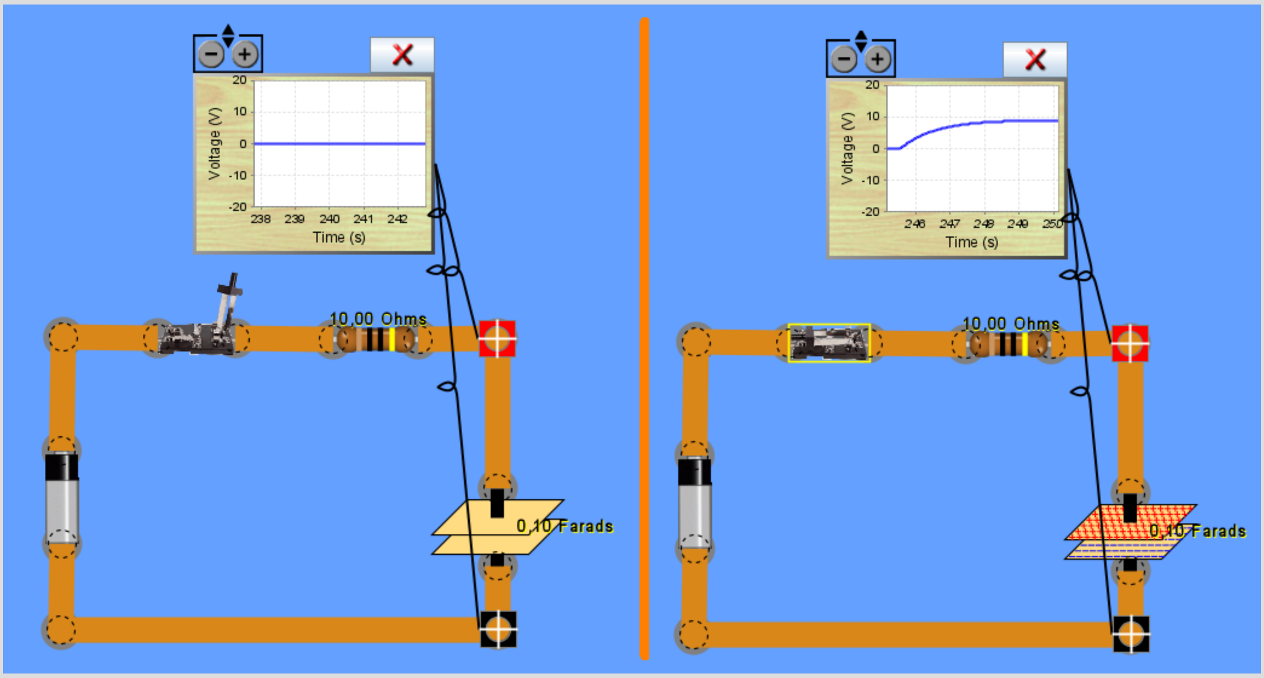
a kondenzátor kapacitása: $C=\frac{\tau}{R}=\frac{1\,s}{10\,k\Omega}=\frac{1\,s}{10^4\frac{V}{A}}=1\cdot 10^{-4}\frac{As}{V}=100\cdot 10^{-6}\frac{As}{V}=100\,\mu F$

4. példa: Állítsa össze a mérőkört az *Áramkörépítő* segítségével a 3. ábrán látható kapcsolási rajtot ($C=0{,}1\,F$, $R=10\,\Omega$)! Számítsa ki az időállandót, a feltöltődési idő, majd hasonlítsa össze e számított adatokat a mért adatokkal!

időállandó: $\tau=R\cdot C=10\,\Omega\cdot 0{,}1\,F=10\frac{V}{A}\cdot 0{,}1\frac{As}{V}=1\,s$;

az ellenállás értéke: $R=\frac{\tau}{C}=\frac{100\,ms}{10\,\mu F}=\frac{10^{-1}\,s}{10^{-5}\,\frac{As}{V}}=10^{4}\frac{V}{A}=10\,k\,\Omega$

a feltöltődési idő: $5\tau=5\cdot 1\,s=5\,s$



3. ábra

5. példa: Számítsa ki egy soros RC-kör időállandóját és az időállandóhoz tartozó feszültségszintet, ha a forrás feszültsége 10V! Ábrázolja a töltési folyamatot!

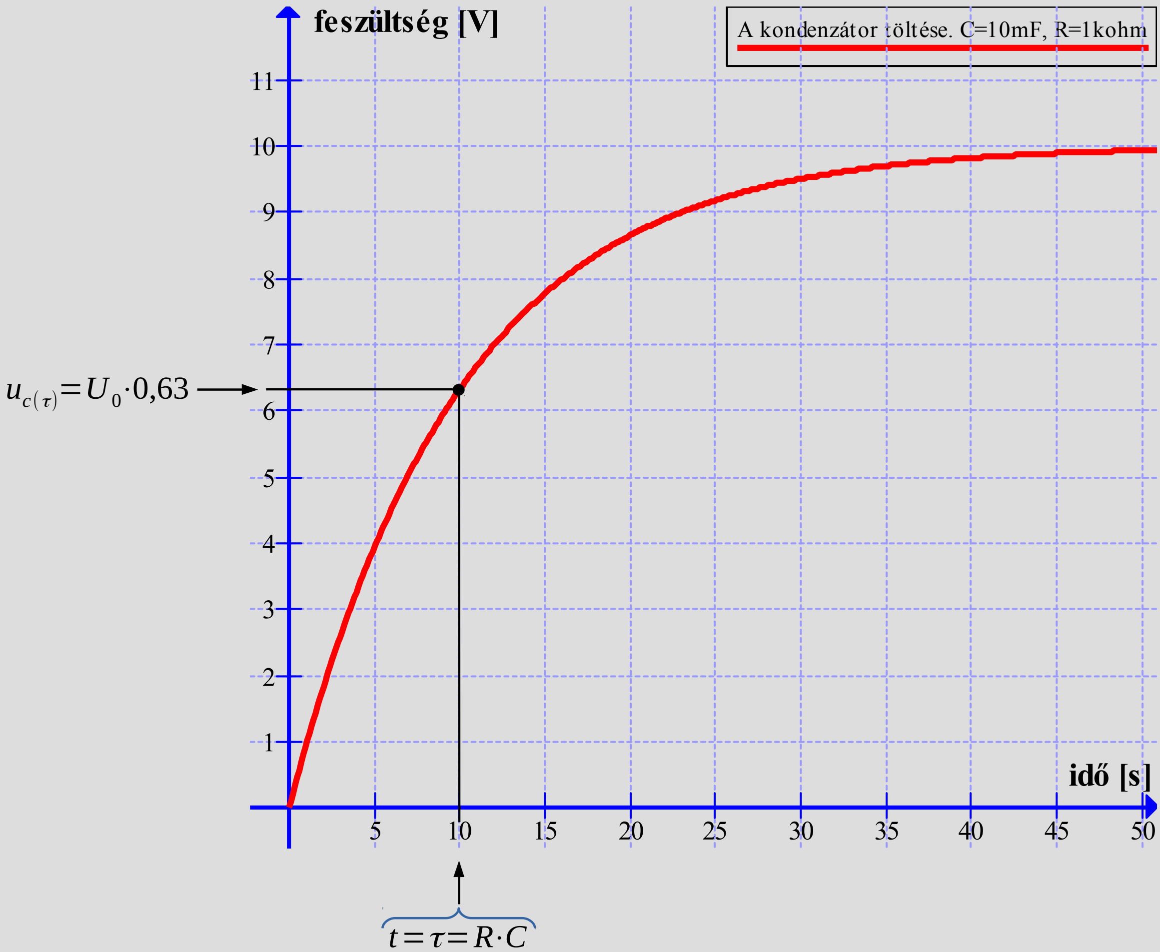
Adatok: $U_0 = 10\,V$, $C = 10\,mF$, $R = 1\,k\Omega$

időállandó: $\tau = R \cdot C = 1\,k\Omega \cdot 10\,mF = 10^3 \frac{V}{A} \cdot 10 \cdot 10^{-3} \frac{As}{V} = 10\,s$;

A feszültség (τ) -nál:

$$u_{C(\tau)} = U_0 \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) = U_0 \cdot (1 - e^{-\frac{\tau}{\tau}}) = U_0 \cdot (1 - e^{-1}) = U_0 \cdot (1 - \frac{1}{e}) = U_0 \cdot (1 - 0{,}368) = U_0 \cdot 0{,}632 = 6{,}32\,V$$

Ez az forrásfeszültség (várt) kb. 63%-a.



4. ábra

A töltési folyamat megjelenítését a *Graph 4.4.2* Freeware szoftverrel egyszerűen megtehetjük. A függvény megadása a következő:

$$u_C = U_0 \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) = 10\,V \cdot (1 - e^{-\frac{t}{10\,s}}) \quad \rightarrow \quad y = 10 \cdot (1 - e^{-\frac{x}{10}}) \quad \rightarrow$$

→ ebből a *Graph megadás:* 10*(1-e^(-x/10))