

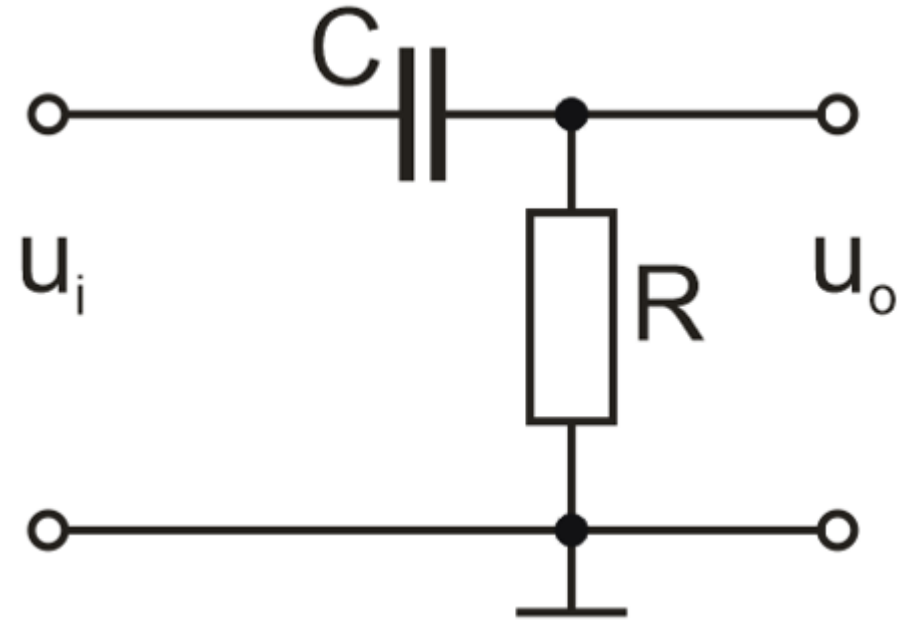
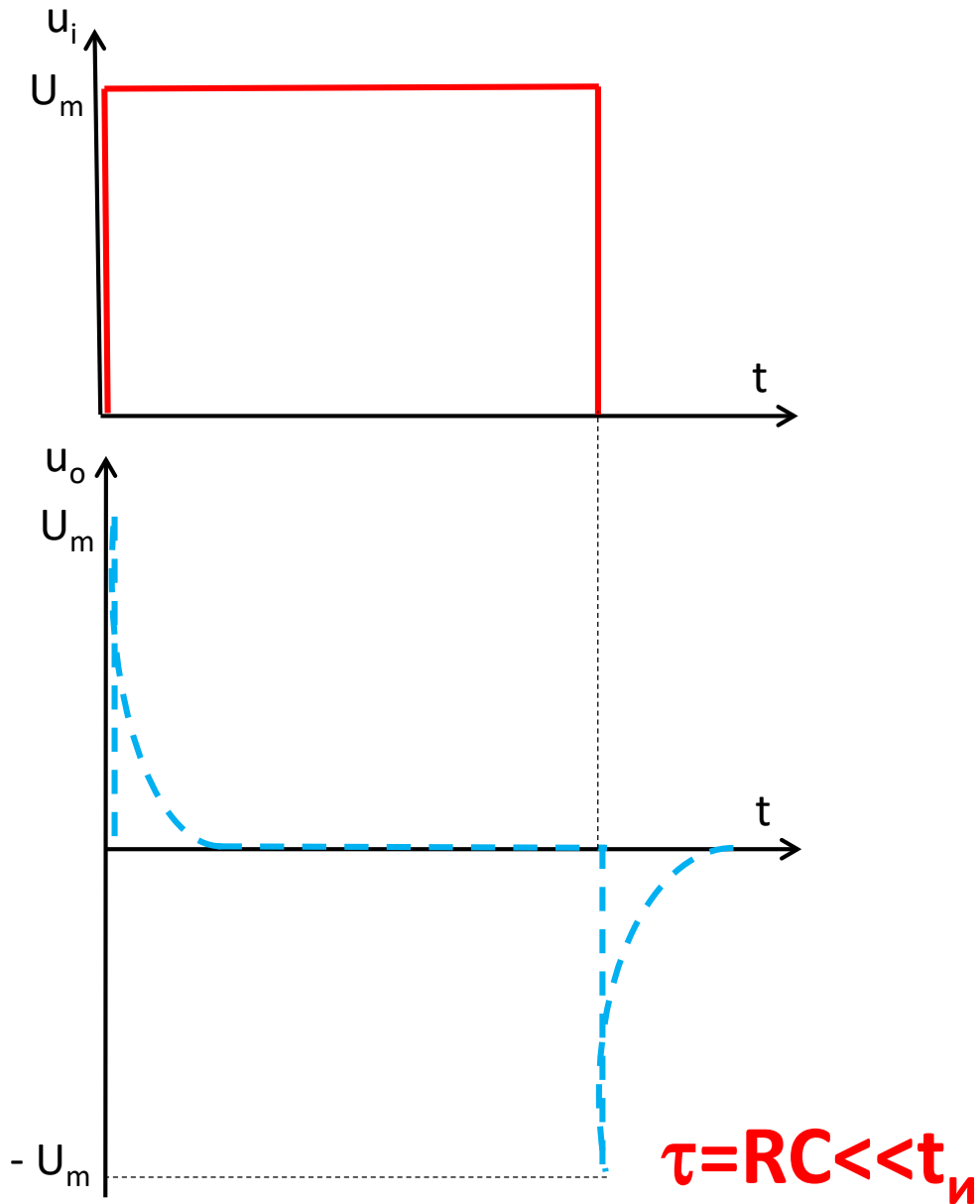
## Диференциращи вериги

Диференцираща верига се нарича линейна схема, предназначена за получаване на производната спрямо времето на функцията, постъпваща на нейния вход. Изходният сигнал на диференциращата верига характеризира скоростта на изменение на входната функция и представлява нейната производна, умножена по някаква константа  $k$ , наречена коефициент на пропорционалност.

$$f_2(t) = kf_1'(t)$$

В общия случай диференциращата верига скъсява продължителността на импулсите.

# Диференцираци вериги

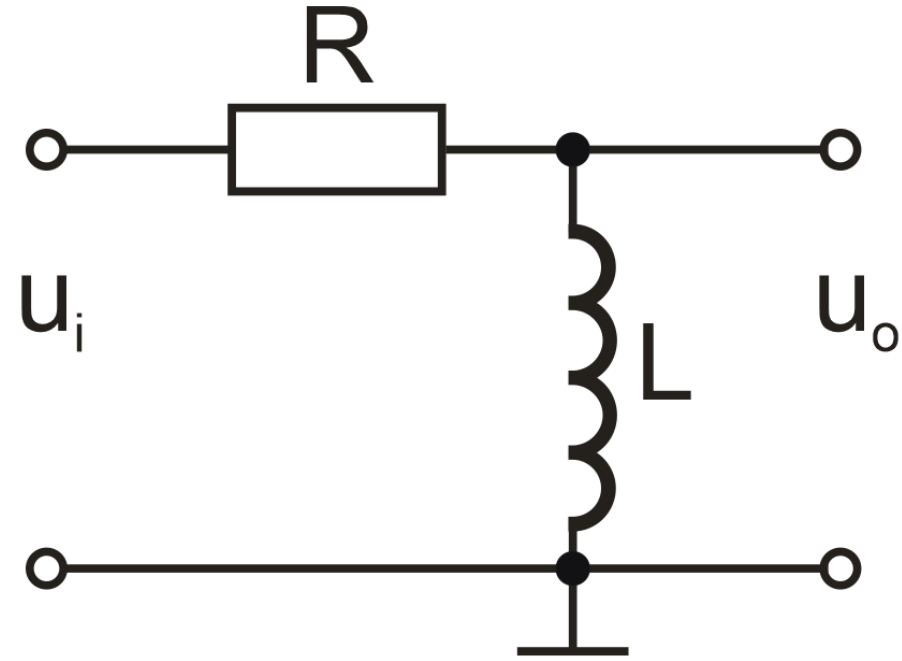
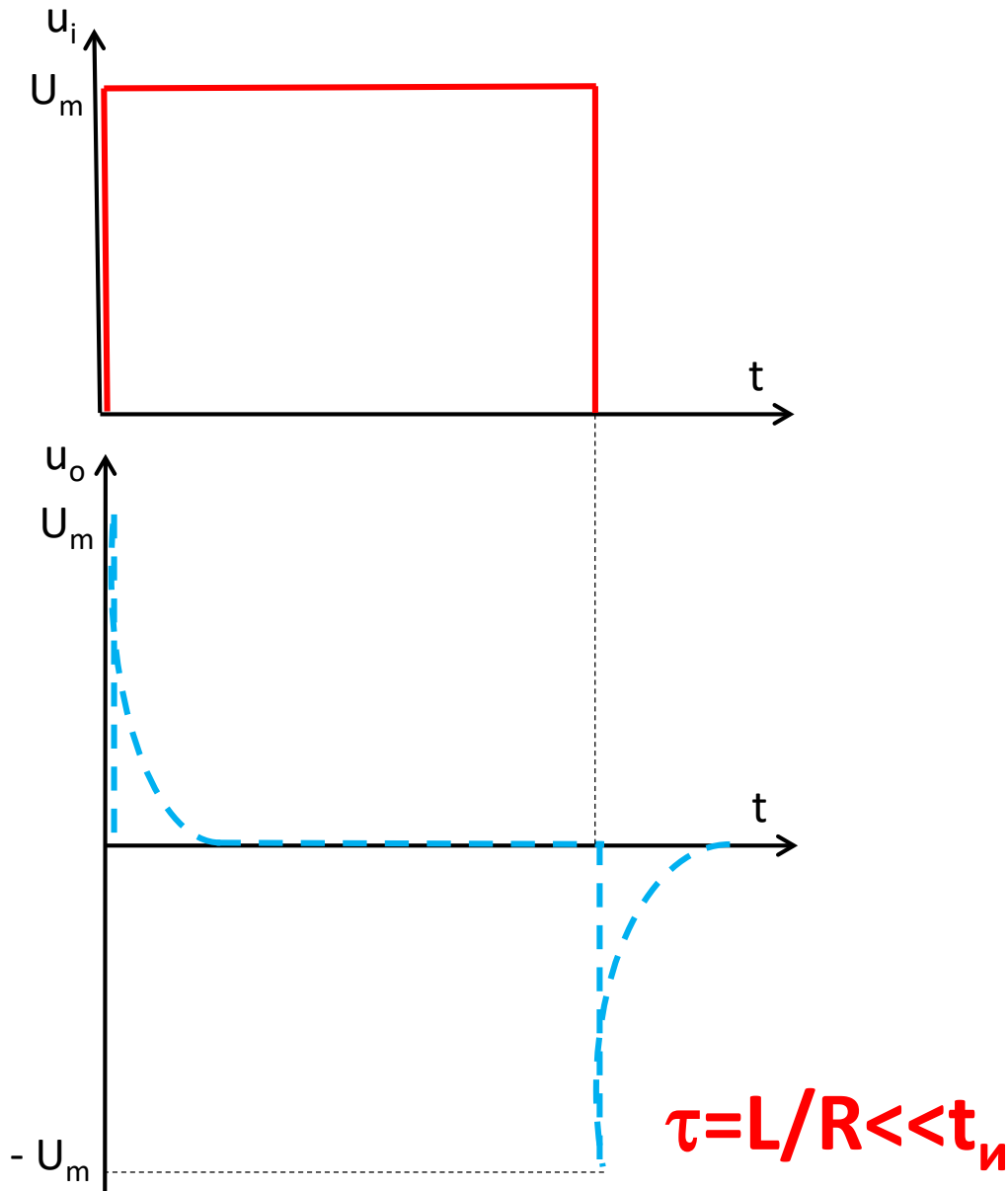


$$i_C = C \frac{du_C}{dt}; u_C \approx u_i$$

$$i_C \approx C \frac{du_i}{dt}; u_o = Ri_C$$

$$u_o \approx RC \frac{du_i}{dt}; u_o \approx \tau \frac{du_i}{dt}$$

# Диференцираци вериги



$$u_L = L \frac{di_L}{dt}; u_o = u_L$$

$$i_L = \frac{u_i}{R}; u_L = L \frac{du_i}{Rdt}$$

$$u_o = \frac{L}{R} \frac{du_i}{dt}; u_o = \tau \frac{du_i}{dt}$$

## Интегриращи вериги

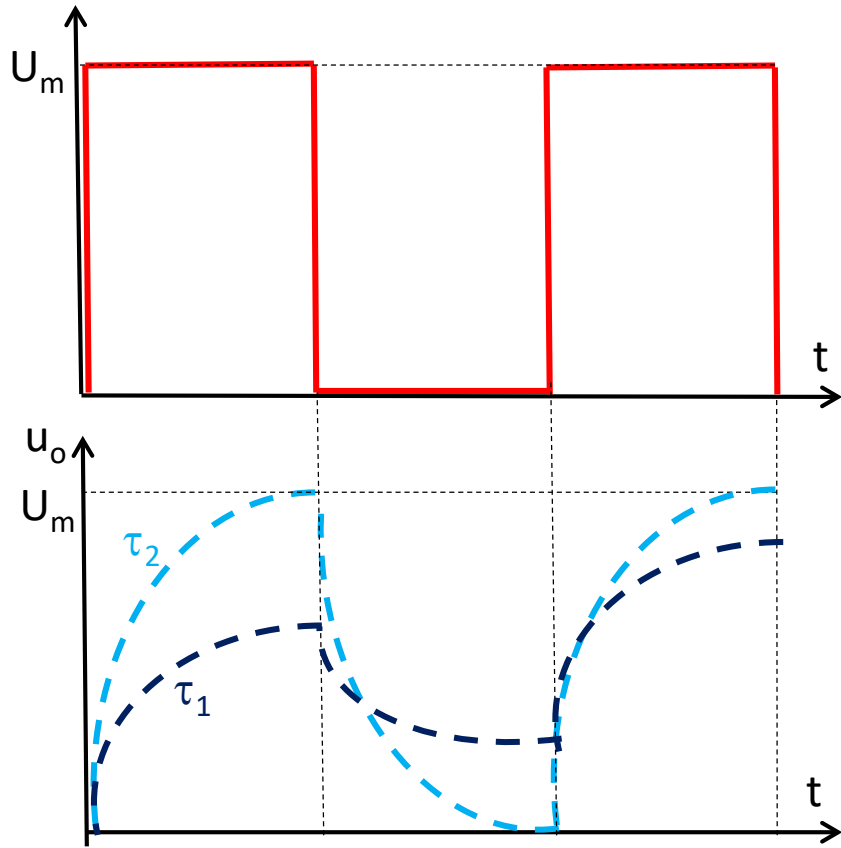
Интегрираща верига се нарича линейна схема, предназначена за получаване на интеграла от функцията, постъпваща на нейния вход.

$$f_2(t) = k \int_0^t f_1(t) dt$$

Константата  $k$  се нарича коефициент на пропорционалност.

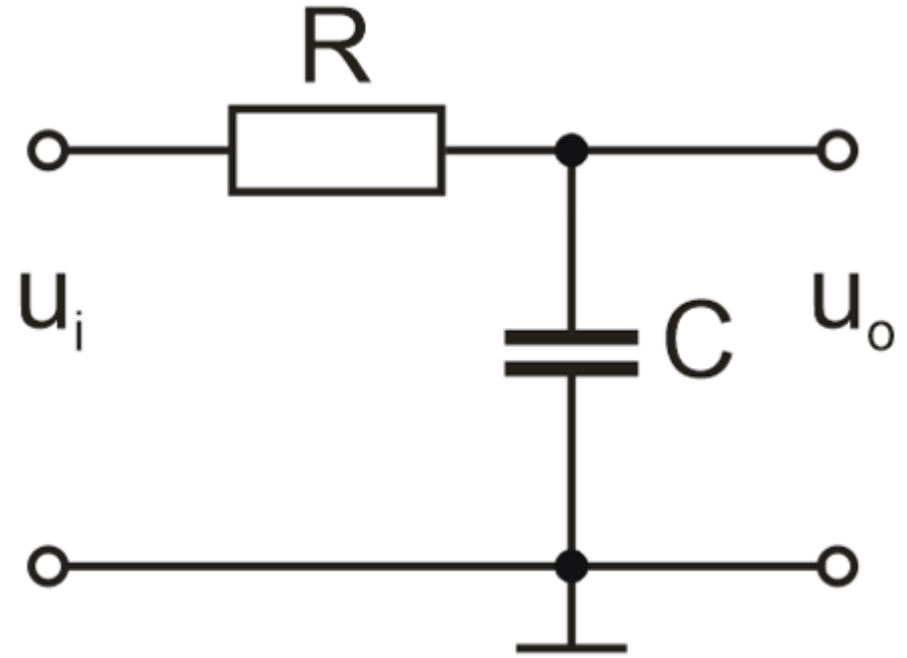
Интегриращите вериги се използват в схемите за формиране на линейно-изменящо се напрежение, в устройствата за автоматично управление, за разширяване на импулси и т.н.

## Интегриращи вериги



$$\tau_1 > \tau_2$$

$$\tau = RC \gg t_n$$

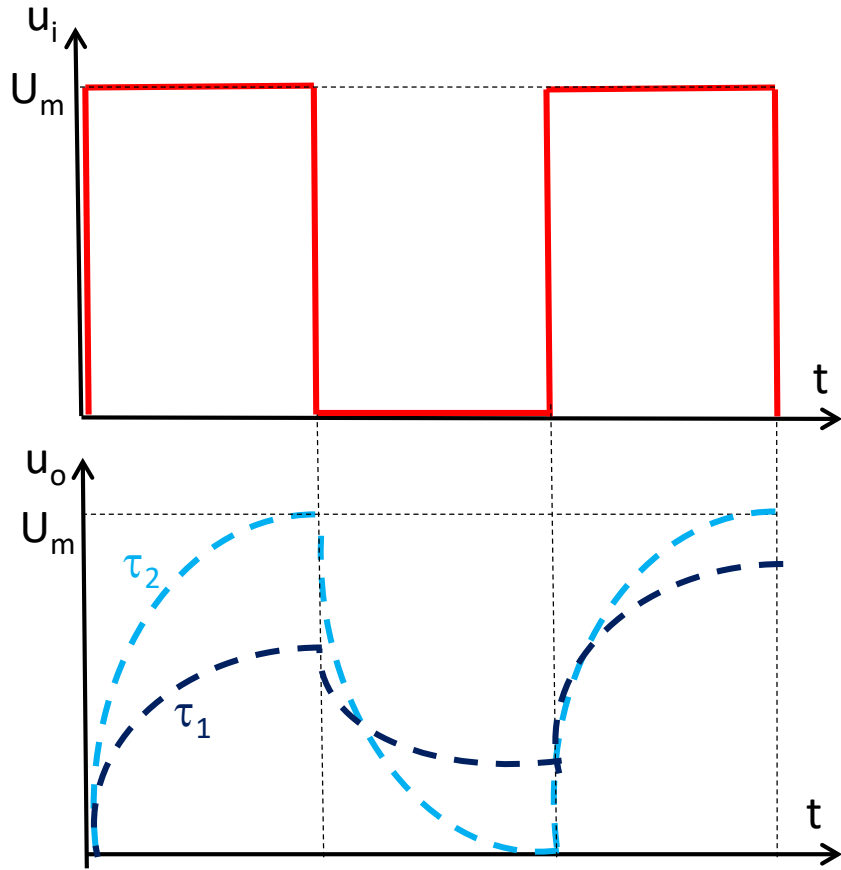


$$u_C = \frac{1}{C} \int i_C dt; u_o = u_C$$

$$i_C = \frac{u_i}{R}; u_o = \frac{1}{C} \int \frac{u_i}{R} dt$$

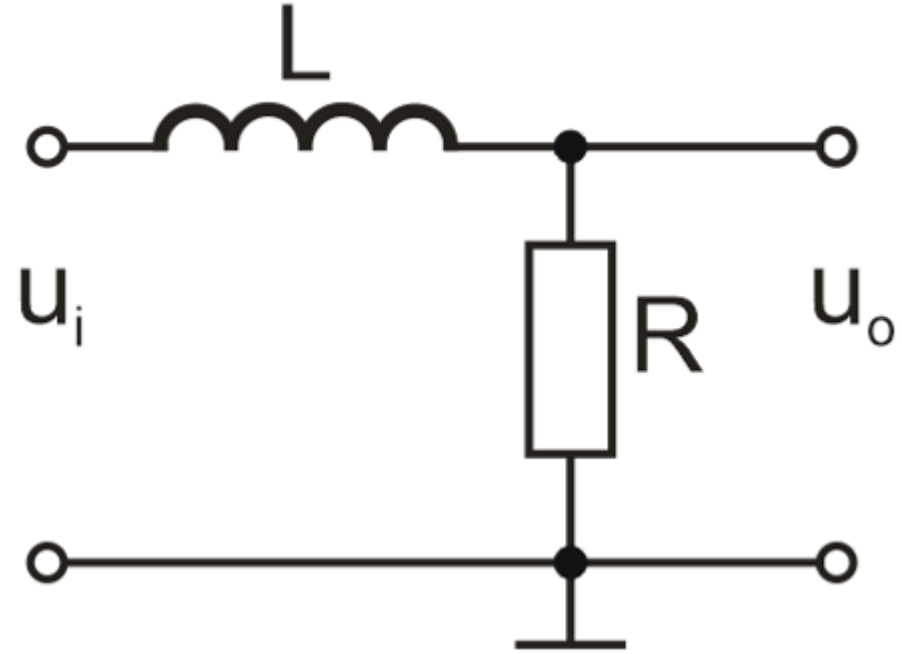
$$u_o = \frac{1}{RC} \int u_i dt; u_o = \frac{1}{\tau} \int u_i dt$$

## Интегриращи вериги



$$\tau_1 > \tau_2$$

$$\tau = L/R \gg t_n$$

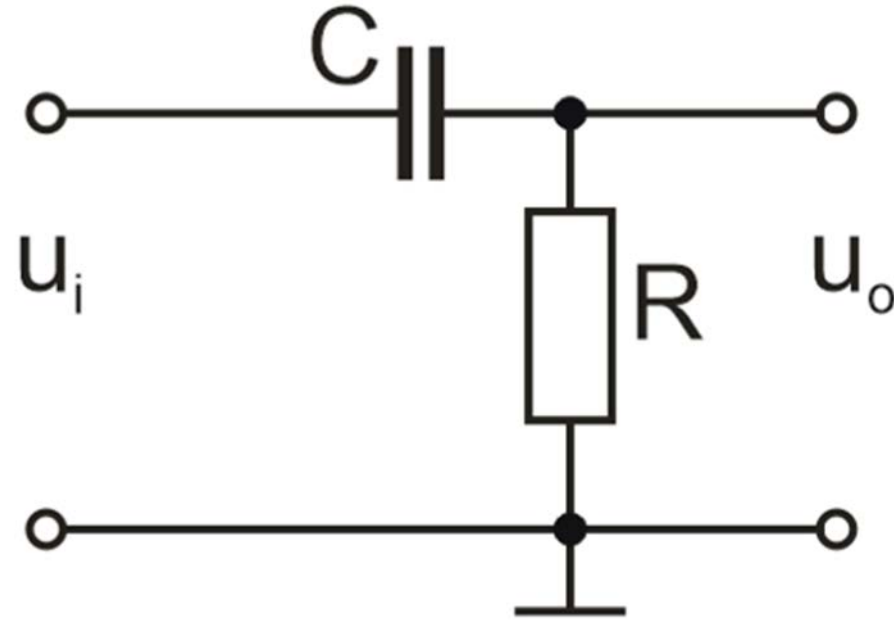
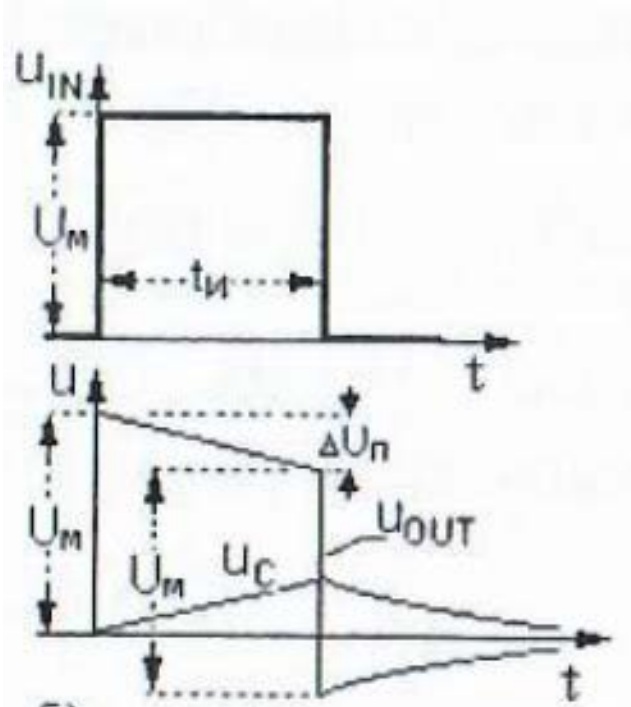


$$i_L = \frac{1}{L} \int u_L dt; u_o = R i_L$$

$$u_L = u_i; i_L = \frac{1}{L} \int u_i dt$$

$$u_o = \frac{R}{L} \int u_i dt; u_o = \frac{1}{\tau} \int u_i dt$$

## Разделителна RC- верига



Предназначението на тази верига е да раздели по постоянен ток две стъпала. След преминаване през разделителната RC- верига полезният променлив сигнал трябва да остане неизменен.

## Разделителна RC- верига

Следователно трябва да се определят изискванията към времеконстантата на разделителната верига. В момента  $t=0$  изходното напрежение със скок става равно на входното. По време на импулса напрежението на кондензатора нараства, а изходното напрежение намалява според изразите:

$$u_C(t) = U_m \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right); u_o(t) = U_m e^{-\frac{t}{\tau}}$$

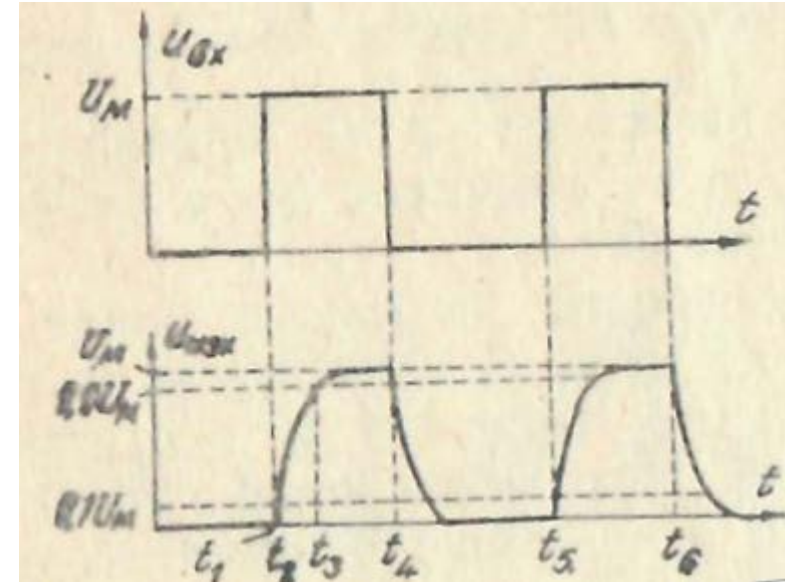
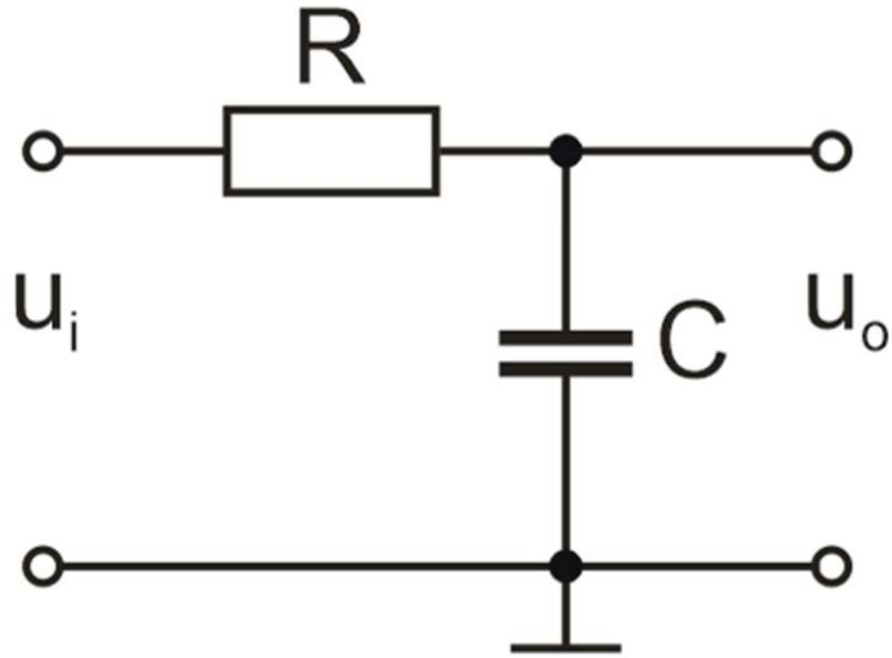
В края на импулса стойността на платото ще се понижи с  $\Delta U_{\Pi}$ :

$$\Delta U_{\Pi} = u_o(0) - u_o(t_{\text{и}}) = U_m \left(1 - e^{-\frac{t_{\text{и}}}{\tau}}\right)$$

Ако е изпълнено условието  $\tau = RC \gg t_{\text{и}}$ , то  $\Delta U_{\Pi} \approx U_m \cdot t_{\text{и}} / \tau$ . Следователно когато времеконстантата на разделителната RC- верига е много по-голяма от продължителността на импулса, изкривяването на сигнала ще клони към 0, т.е.  $\Delta U_{\Pi} \rightarrow 0$ .



## Въздействие на правоъгълни импулси върху RC- верига

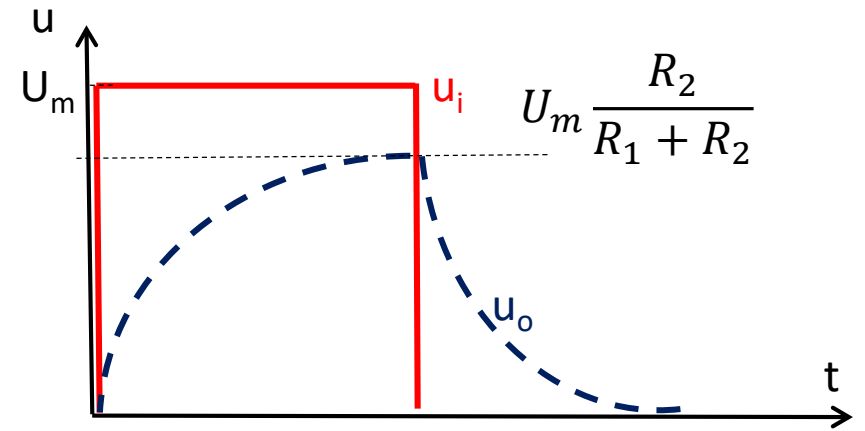
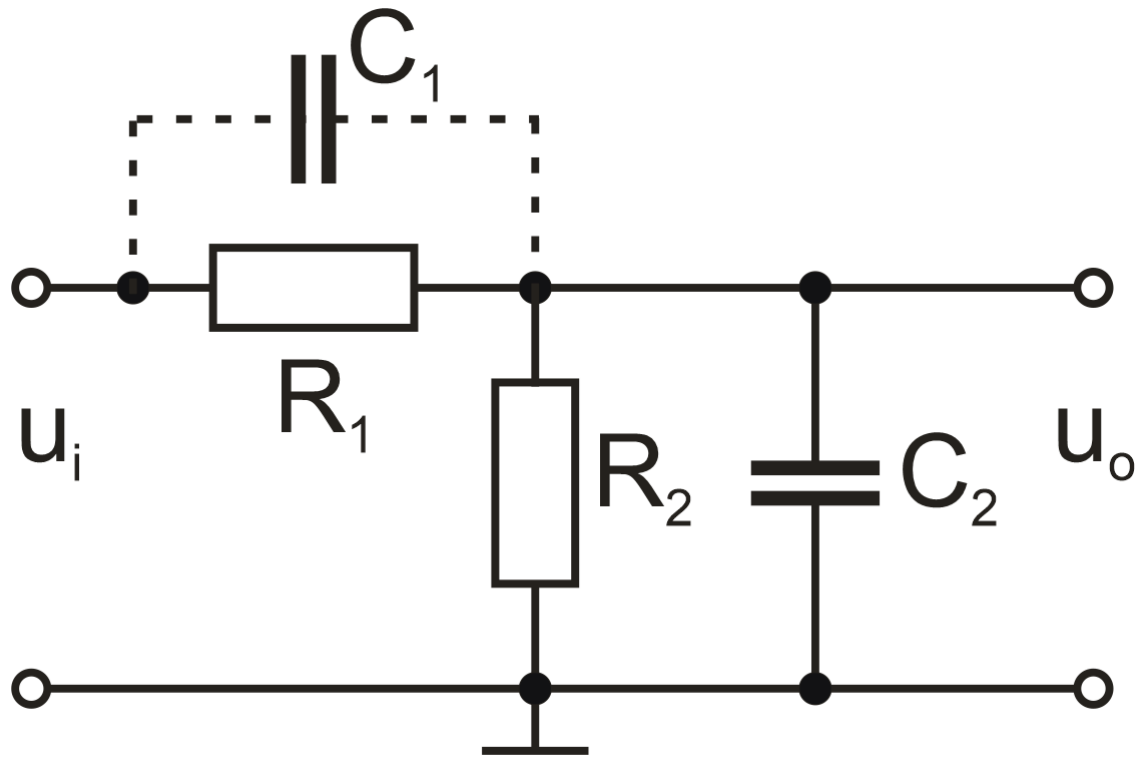


Импулсите ще се предават правилно когато фронтите на изходния сигнал са по-къси от продължителността на импулсите. Това се постига ако  $\tau \ll t_{и}$ .

## Честотно-независим напрежителен делител

За намаляване амплитудата на импулсите се използват резисторни делители (атенюатори, затихватели). Поради интегриращия ефект на изходния капацитет  $C_2$  импулсът в изхода е с влошена форма. Този капацитет е сума от паразитния капацитет на шината и входния капацитет на следващото стъпало. Фронтовете на изходните импулси са равни на  $3C_2 \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$ . Недостатъкът може да се избегне с добавянето на кондензатора  $C_1$ . За определянето на неговия капацитет се извършват необходимите приемания и изчисления.

# Честотно-независим напрежителен делител



## Честотно-независим напрежителен делител

Приема се, че в началния момент на комутацията за безкрайно кратко време протича безкрайно голям ток и през двата кондензатора. Тогава върху всеки един от тях ще се получи еднакъв заряд  $Q = C_1 u_1 = C_2 u_2$ . Във всеки момент от времето, включително при  $t=0$ , сумата от двете напрежения е равна на  $U_m$ . Тогава може да се състави следната система уравнения:

$$u_1(0) + u_2(0) = U_m$$

$$C_1 u_1(0) - C_2 u_2(0) = 0$$

След решението се получава  $u_1(0) = U_m \frac{C_2}{C_1 + C_2}$  и  $u_2(0) = U_m \frac{C_1}{C_1 + C_2}$ .

## Честотно-независим напрежителен делител

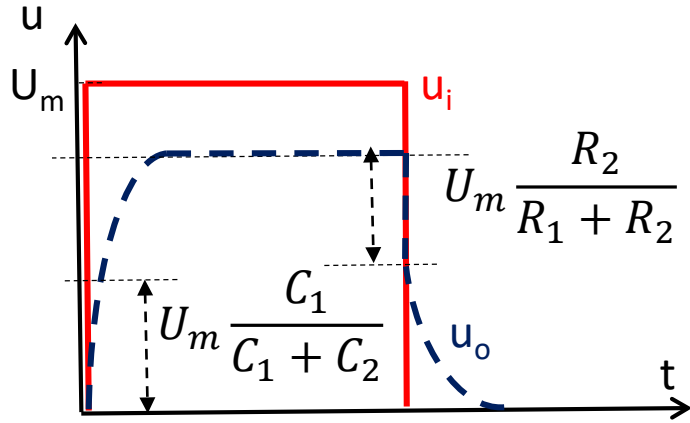
Следователно в началния момент  $t=0$  изходното напрежение се променя със скок от нула до  $U_m \frac{C_1}{C_1+C_2}$ , след което с времеконстанта

$$(C_1+C_2)(R_1 || R_2) = (C_1+C_2) \frac{R_1 R_2}{R_1+R_2} \text{ се стреми към } u_2(\infty) = U_m \frac{R_2}{R_1+R_2}.$$

От равенството  $U_m \frac{C_1}{C_1+C_2} = U_m \frac{R_2}{R_1+R_2}$  се определя

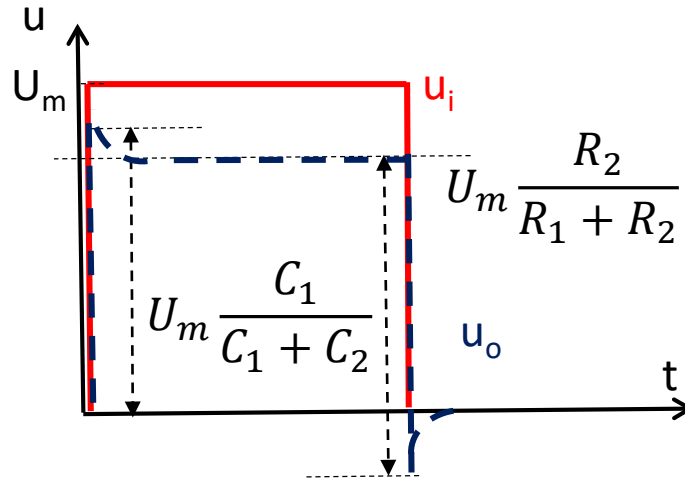
$$C_1 R_1 = C_2 R_2.$$

# Честотно-независим напрежителен делител



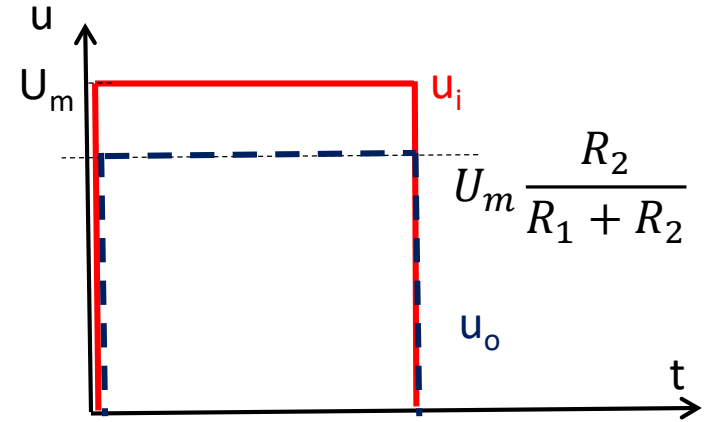
некомпенсиран

$$U_m \frac{C_1}{C_1 + C_2} < U_m \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$



прекомпенсиран

$$U_m \frac{C_1}{C_1 + C_2} > U_m \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$



компенсиран

$$U_m \frac{C_1}{C_1 + C_2} = U_m \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

## Активни линейни схеми

Основата на повечето приложения на операционните усилватели е възможността за реализиране на точно математическо съотношение между входния и изходния сигнал. Към най-често реализираните математически операции принадлежат *интегрирането* и *диференцирането*. Тези операции се извършват в линейните операционни схеми, които осигуряват точност от порядъка на 0,1%. Освен за реализиране на математически функции интеграторите се използват за измерване на електрически заряд, за генериране на линейни триъголни и триъгълни сигнали, както и за много други приложения.

## Схеми за интегриране

Зависимостта между напрежението на кондензатора и електрическият заряд се представя с израза:

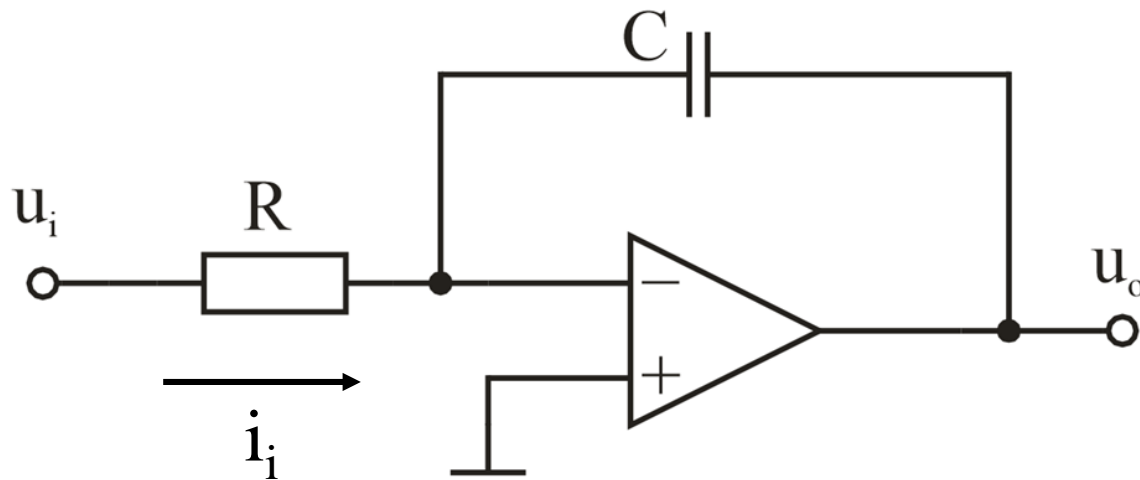
$$u_C = \frac{Q}{C} = \frac{i \cdot t}{C}.$$

Когато кондензаторът е включен във веригата на отрицателната обратна връзка на операционния усилвател, целият ток от източника на входно напрежение трябва да премине през него и изходното напрежение на усилвателя приема точно такава стойност, която е необходима за да се поддържа на инвертиращия вход същия потенциал, както и на неинвертиращия.



## Схеми за интегриране

В схемата на идеален интегратор входният ток достига до инвертиращия вход и изходното напрежение го принуждава да премине през кондензатора като заряден ток. В същото време напрежението на инвертиращия вход трябва да бъде равно на нула.

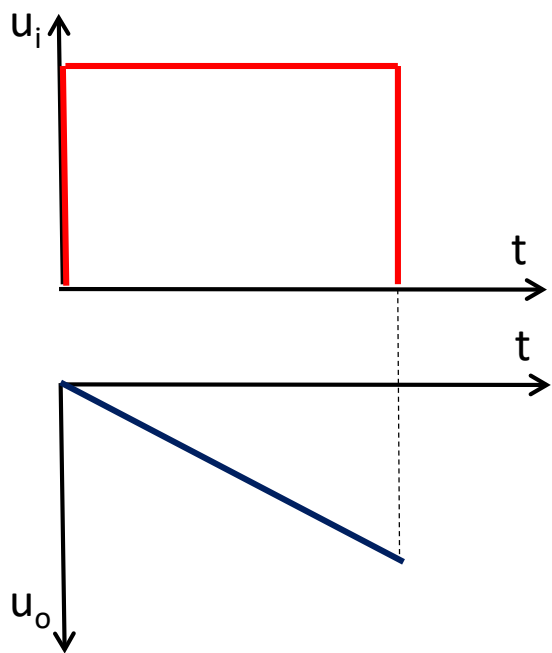


## Схеми за интегриране

За схемата на идеален интегратор са в сила формулите:

$$i_i = \frac{u_i}{R};$$

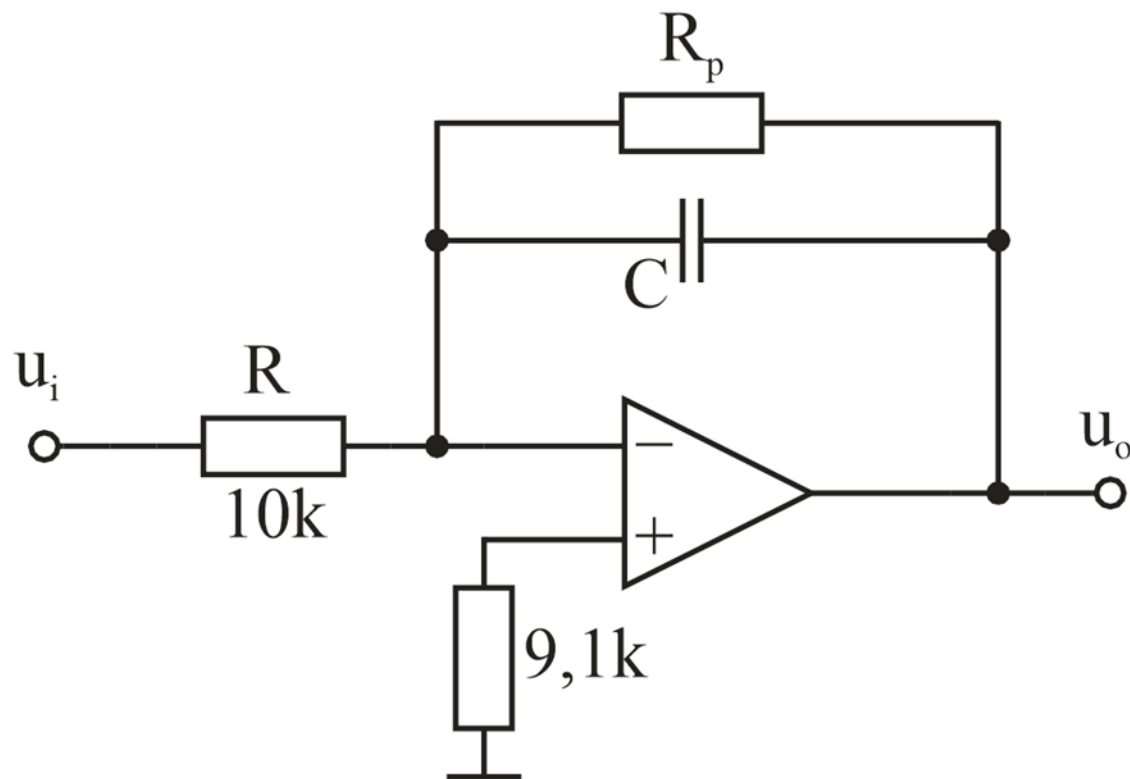
$$u_o = -u_c = -\frac{1}{C} \int i_i dt = -\frac{1}{RC} \int u_i dt$$



При подаване на напрежителен скок на входа реакцията на изхода е практически идеално линейно във времето напрежение.

## Схеми за интегриране

Отклонения от линейната тригонообразна форма се получават вследствие на грешка от крайната стойност на коефициента на усилване без обратна връзка  $A$ . За определяне на грешката се разглежда схемата с допълнителния резистор  $R_p$ , който отразява крайната стойност на  $A$ .



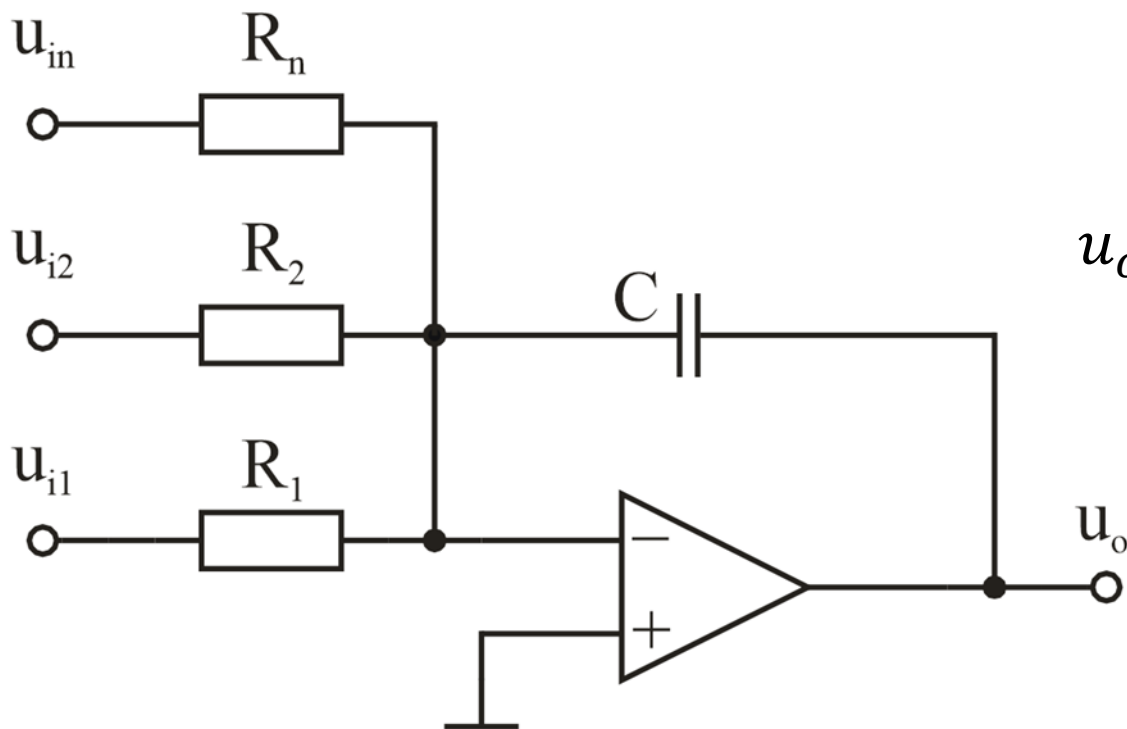
За точно формиране на тригонообразно напрежение е необходимо периодът  $T$  да удовлетворява неравенството:

$$T \ll 2AR_pC.$$

## Схеми за интегриране

Използването на операционен усилвател позволява едновременното изпълнение на функциите сумиране и интегриране.

$$u_o = -\left(\frac{1}{R_1 C} \int u_{i1} dt + \frac{1}{R_2 C} \int u_{i2} dt + \dots + \frac{1}{R_n C} \int u_{in} dt\right)$$



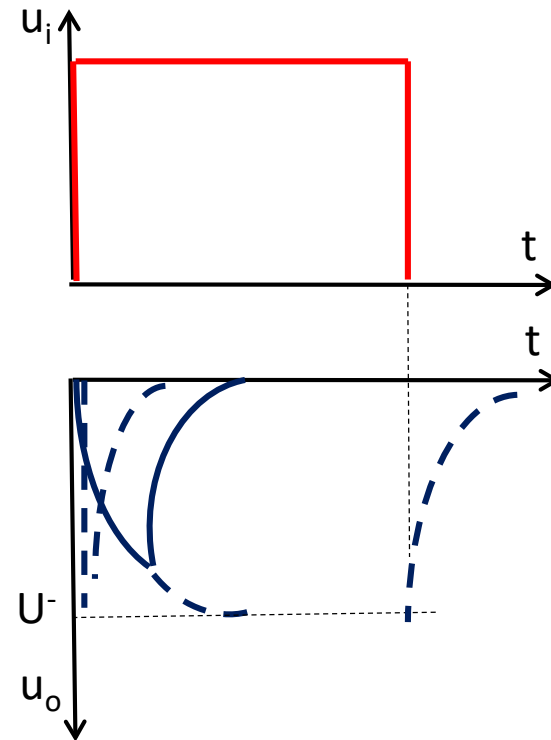
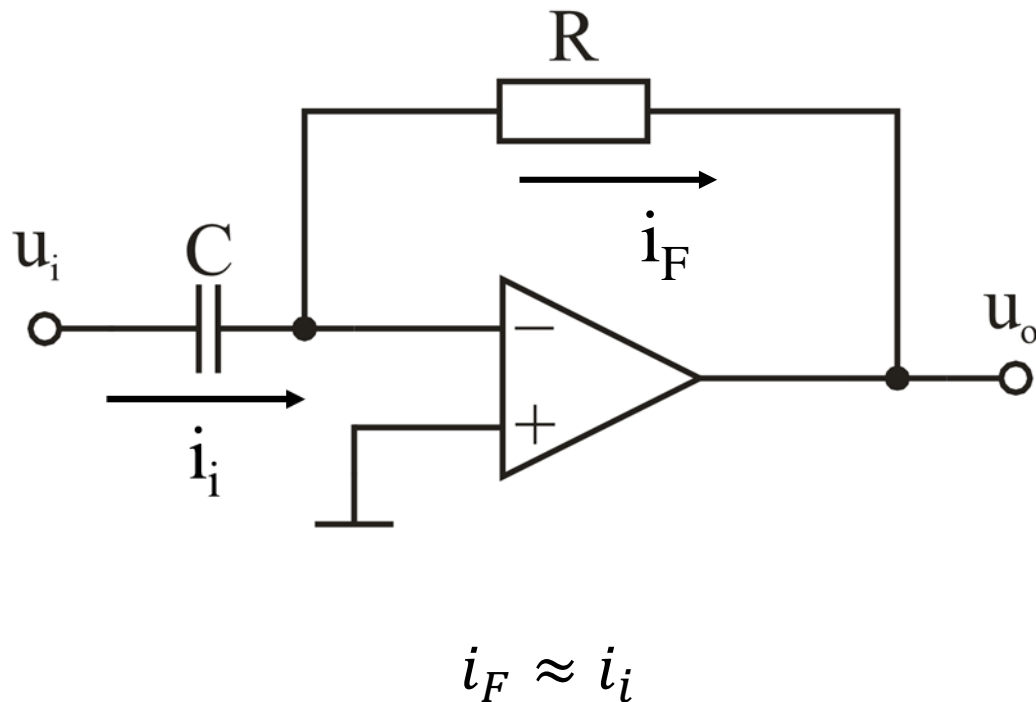
Когато  $R_1 = R_2 = \dots = R_n = R$

$$u_o = -\frac{1}{RC} \int (u_{i1} + u_{i2} + \dots + u_{in}) dt$$

## Схеми за диференциране

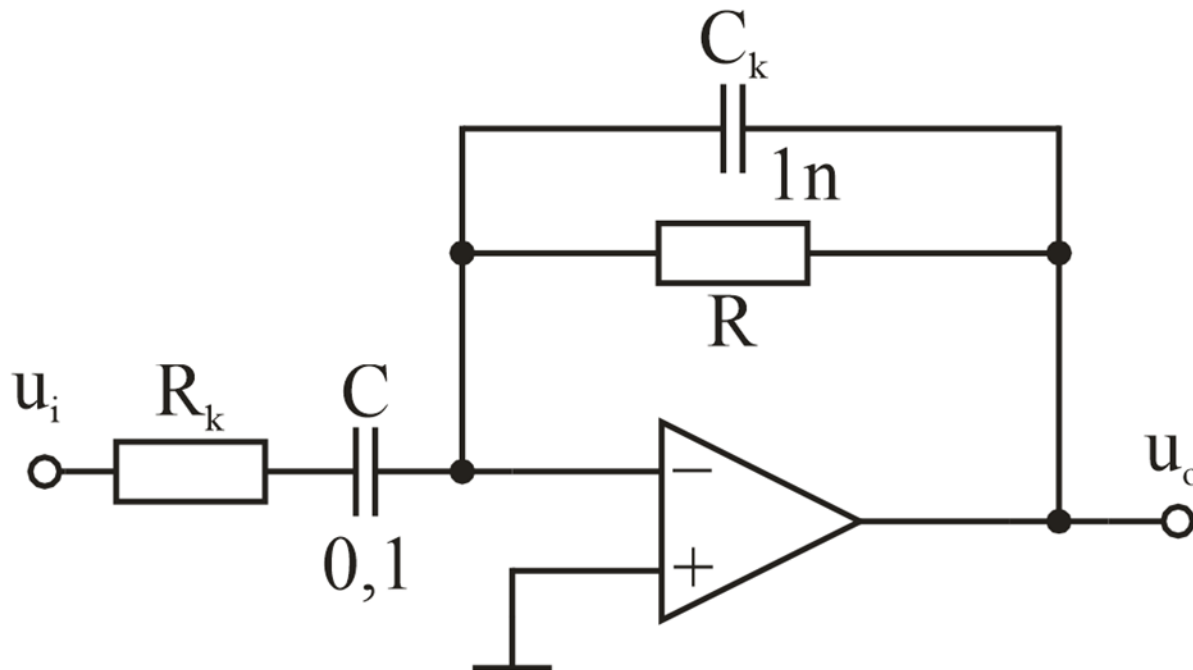
Операцията диференциране не е толкова често използвана колкото интегриране. Тя е полезна при определяне наклона на тригонообразни напрежения.

$$i_i = C \frac{du_i}{dt}; \quad u_o = -Ri_F = -RC \frac{du_i}{dt}$$



## Схеми за диференциране

В практическите схеми на диференциатори много често се налага да се ограничи честотната лента, за да се постигне устойчивост на схемата. Единият начин за това е включването на резистора  $R_k$  последователно на входния кондензатор. Така се увеличава входното съпротивление и се намалява коефициента на усилване за високи честоти.



За да се получи допълнително затихване на шумовете при високи честоти се включва  $C_k$ .

## Схеми за диференциране

Диференцирането на няколко входни сигнала може да бъде комбинирано в един сумиращ диференциатор.

$$i_F \approx i_{i1} + i_{i2} = i_{C1} + i_{C2}$$

$$u_o = -Ri_F = -(i_{C1} + i_{C2}) = -R\left(C_1 \frac{du_{i1}}{dt} + C_2 \frac{du_{i2}}{dt}\right)$$

