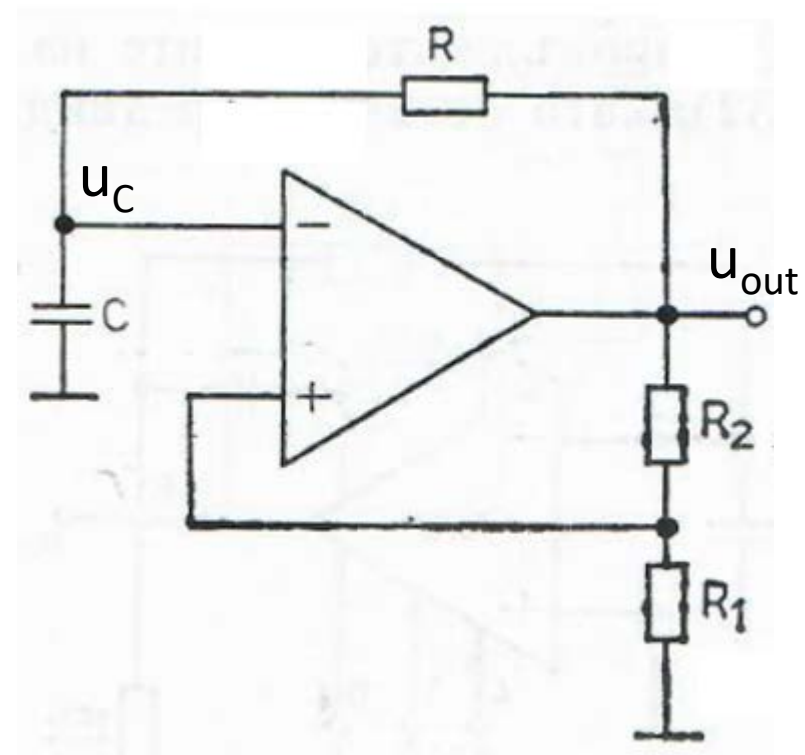


## Генератори на импулси

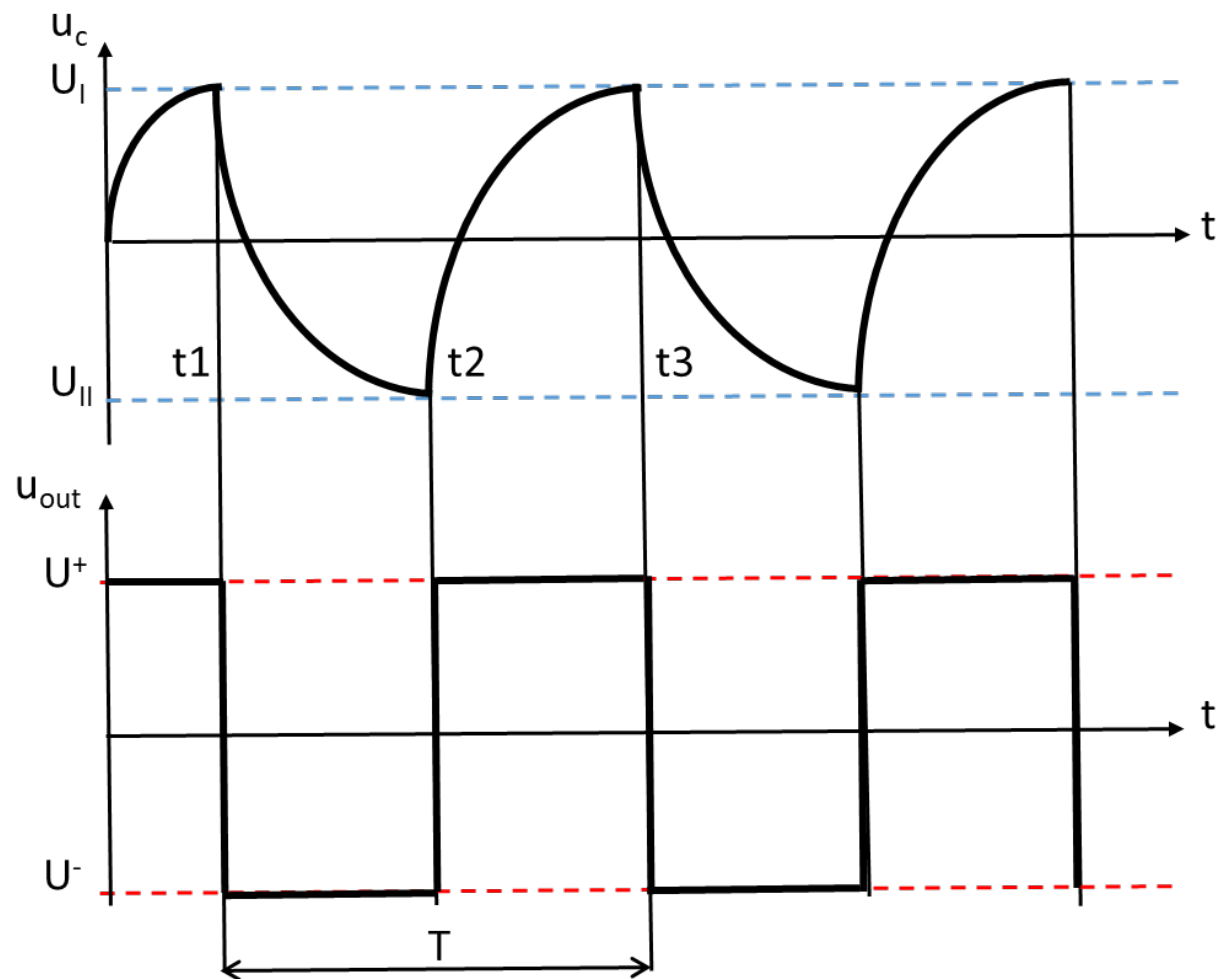
### Мултивибратори с операционни усилватели

Автогенератор с използване на тригер на Шмит се получава когато към неговия вход се включи интегрираща RC верига, управлявана от изхода на ОУ. Напрежението върху заземения кондензатор С постъпва към входа на тригера на Шмит и го превключва при достигане на праговете  $U_I$  или  $U_{II}$ .



## Генератори на импулси

### Мултивибратори с операционни усилватели



Първият импулс след включване на захранващото напрежение е с по-малка продължителност.

## Генератори на импулси

### Мултивибратори с операционни усилватели

Напрежението на неинвертиращия вход е равно на  $U_I = U^+ \frac{R_1}{R_1+R_2}$  или

$U_{II} = U^- \frac{R_1}{R_1+R_2}$ , където  $U^+$  и  $U^-$  са напреженията на насищане на ОУ. При

положително изходно напрежение кондензаторът се зарежда като напрежението върху него започва да нараства от  $U_{II}$  и се стреми към  $U^+$ , но достига  $U_I$  когато изходът превключва и започва обратния процес на разряд. Тогава напрежението върху него започва да намалява от  $U_I$  и се стреми към  $U^-$ , но достига  $U_{II}$  когато изходът се връща във високо ниво.

## Генератори на импулси

### Мултивибратори с операционни усилватели

Периодът на импулсите се намира като сума на времената за разряд и заряд на кондензатора след първия импулс. Следователно  $t_2 = \tau \ln \frac{U^- - U_I}{U^- - U_{II}}$ ,

а  $t_3 = \tau \ln \frac{U^+ - U_{II}}{U^+ - U_I}$ . Тогава при равенство на  $U^+$  и  $U^-$  се получава:

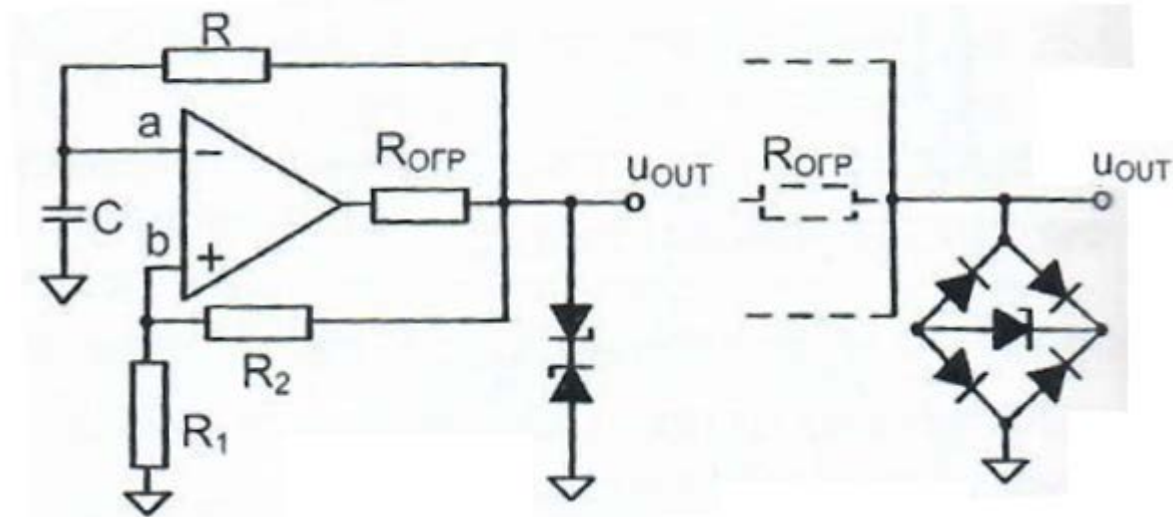
$$t_2 = t_3 = \tau \ln \left( 1 + \frac{2R_1}{R_2} \right) \text{ и}$$

$$T = t_2 + t_3 = 2\tau \ln \left( 1 + \frac{2R_1}{R_2} \right) = 2RC \ln \left( 1 + \frac{2R_1}{R_2} \right).$$

## Генератори на импулси

### Мултивибратори с операционни усилватели

Тъй като трудно се постига пълна симетрия и равенство на  $U^+$  и  $U^-$ , за получаване на точна стойност на периода се използват ценерови диоди с напрежение, по-малко от стойностите на насищане на ОУ.



## Генератори на импулси

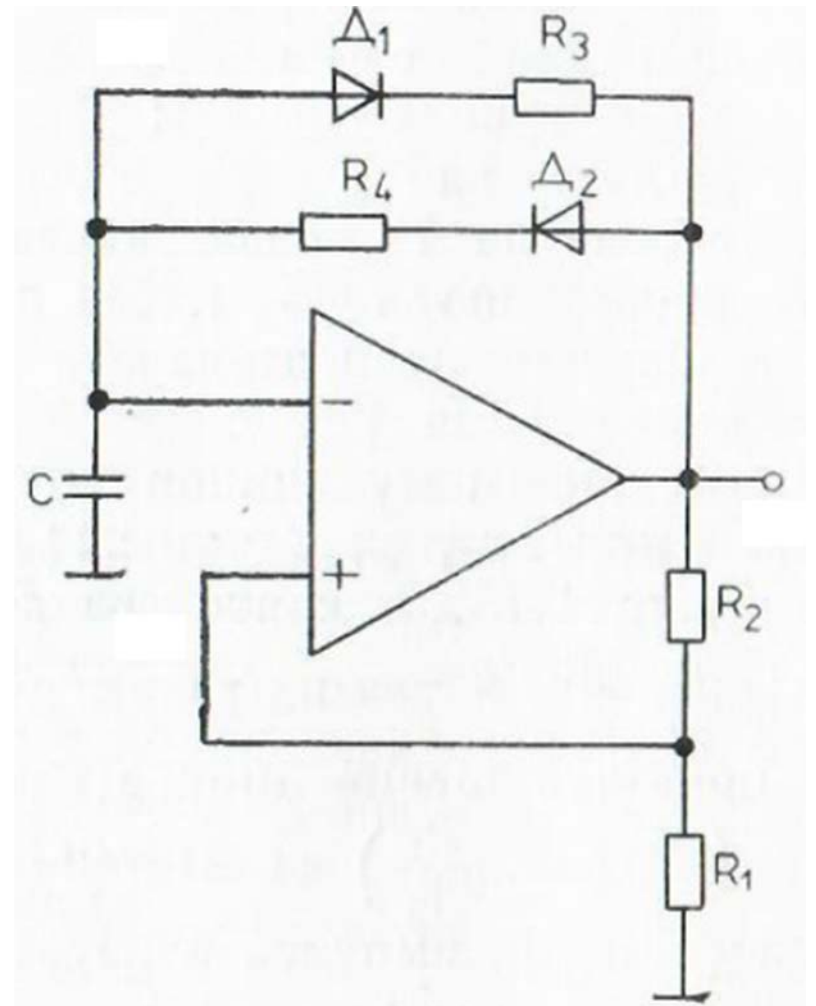
### Мултивибратори с операционни усилватели

В този случай  $U^+ = U_z + E_0$  и  $U^- = -(U_z + E_0)$ . За получаване на точна стойност на периода е необходимо ценеровите диоди да бъдат с равно напрежение. Друго решение е да се използва един ценеров диод, който е включен в диагонала на диодна мостова схема. В този случай и четирите диода от мостовата схема трябва да бъдат избрани с еднакво напрежение в права посока  $E_0$ . Предимство на тези схеми е много малкото влияние на нестабилността на захранващите напрежения върху точността на периода на генерираните импулси.

## Генератори на импулси

### Мултивибратори с операционни усилватели

Основната схема на мултивибратора с ОУ има коефициент на запълване на изходните импулси 0,5. За получаване на различна стойност на коефициента е необходимо веригите на заряд и разряд на кондензатора да бъдат с различни времеконстанти. Това може да се реализира с използването на диодни ключове. Кондензаторът се зарежда през  $R_4$  и  $D_2$ , а се разрежда през  $R_3$  и  $D_1$ .



## Генератори на импулси

### Интегрален таймер 555

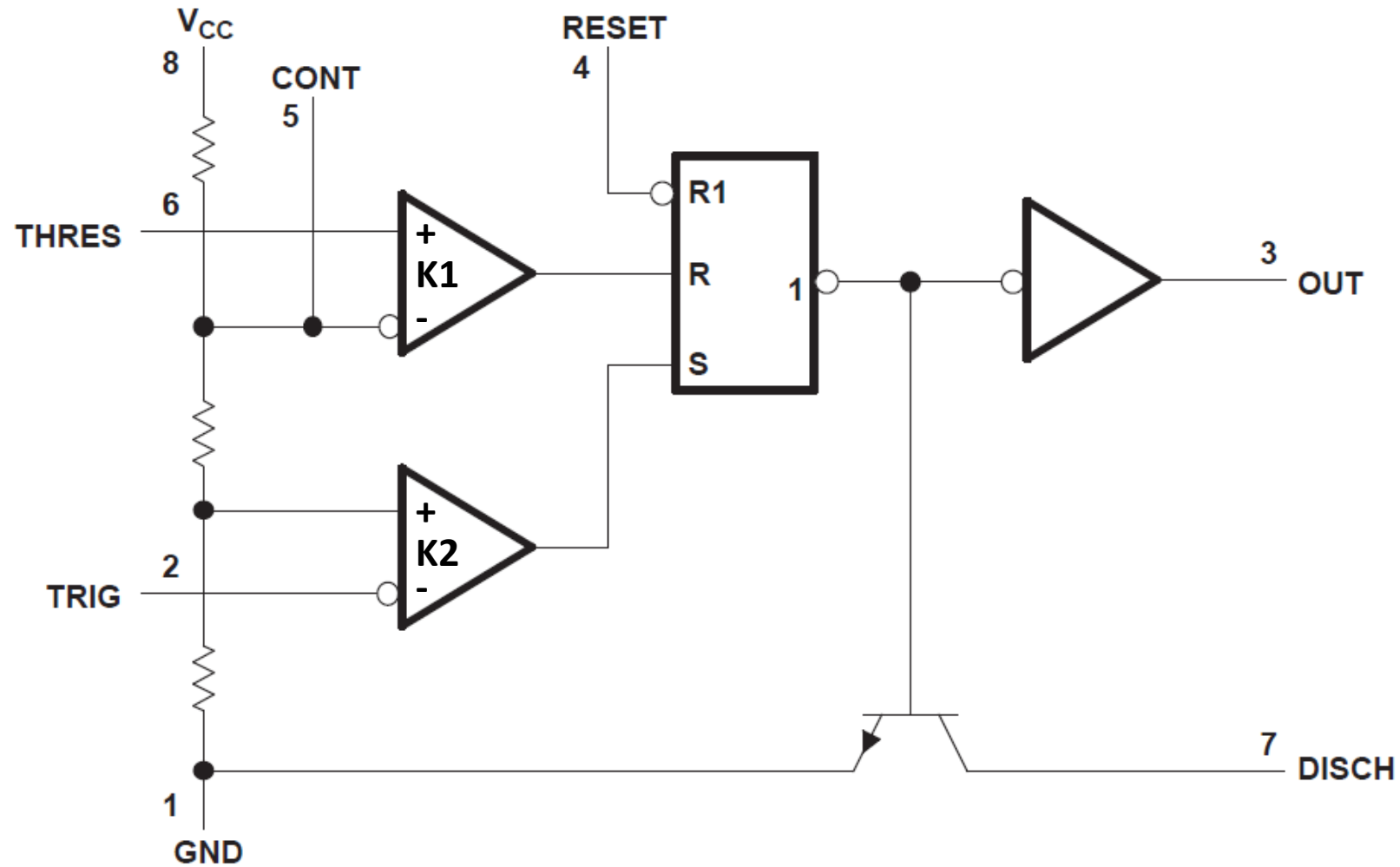
Таймер 555 се отличава с надеждност, простота на използването и ниска цена. Освен това може да работи със захранващо напрежение от 5V до 18V, което го прави съвместим както с микроконтролери и цифрови интегрални схеми, така и с операционни усилватели.

Таймерът 555 може да се разглежда като функционален блок, съдържащ два компаратора, три резистора с еднаква стойност, транзистор, тригер и изходно стъпало.



# Генератори на импулси

## Интегрален таймер 555



## Генератори на импулси

### Интегрален таймер 555

Стойността на трите последователно свързани резистора не е критична, важно е те да са еднакви. С това решение се постига висока точност при производството и стабилност на праговите напрежения  $U_I=2/3U_{CC}$  и  $U_{II}=1/3U_{CC}$ . В резултат максималната грешка при генериране на времеви интервали е по-малка от 0,5%. SR-тригерът, управляван от двата компаратора осигурява стръмни фронтове на изходните импулси независимо от бавните процеси във времезадаващата RC верига. Изходното стъпало е мощен буфер. Подаването на по-ниска стойност от 0,4V на извод 4 позволява да се блокира работата на таймера.

## Генератори на импулси

### Интегрален таймер 555

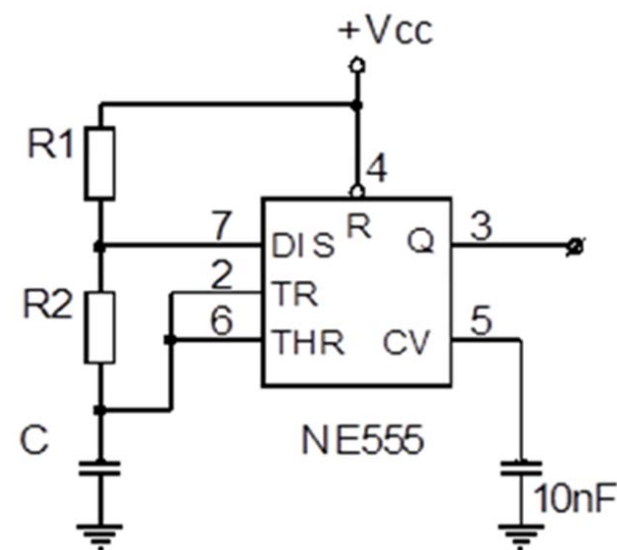
Обикновено между извод 5 на таймера и маса се включва филтриращ кондензатор със стойност 10 nF, за да се намали влиянието на пулсациите на захранващото напрежение върху праговото напрежение на таймера. Този извод може също да се използва за едновременното изменение на нивата на праговото напрежение и напрежението на пускане на таймера. Така например, ако свържем резистор със стойност 5k между изводи 5 и 8, то праговото напрежение се изменя до  $0,8V_{cc}$ , а напрежението на пускане до  $0,2V_{cc}$ .

## Генератори на импулси

### Интегрален таймер 555

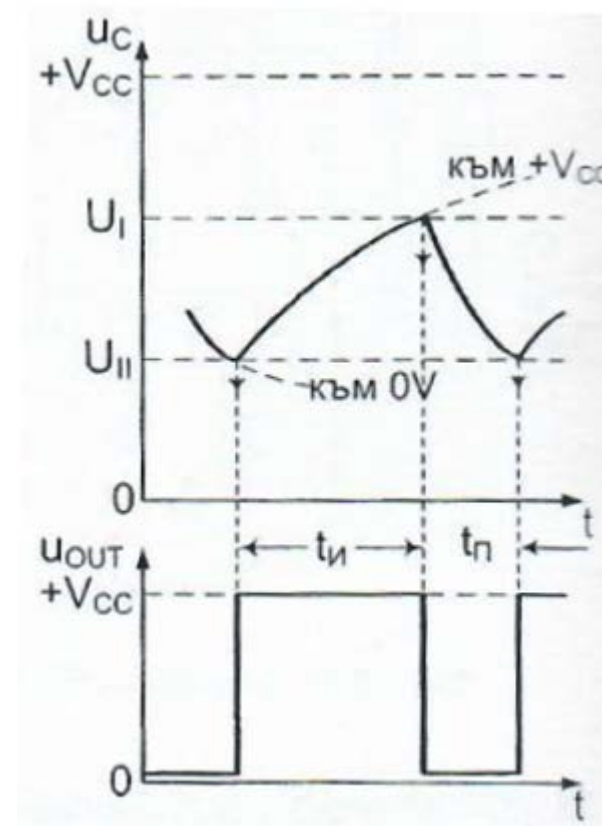
Таймерът 555 може да работи в различни режими.

В схема на мултивибратор кондензаторът  $C$  се зарежда през резисторите  $R1$  и  $R2$  от източника на напрежение  $V_{cc}$ , при което нивото на изходното напрежение е високо - приблизително равно на  $V_{cc}$ . Когато напрежението върху кондензатора достигне  $2/3$  от  $V_{cc}$ , компаратор 1 превключва изходното стъпало на таймера в ниско ниво.



## Генератори на импулси Интегрален таймер 555

Следва разреждане на кондензатора през резистора R2 и извод 7 на таймера. В момента когато кондензаторът се разрежи до напрежение равно на  $1/3$  от  $V_{cc}$ , сработва компаратор 2, изходното стъпало на таймера се превключва във високо ниво и цикълът се повтаря. Продължителността на импулса се определя от времето за което кондензаторът С се зарежда от напрежение  $1/3 V_{cc}$  до напрежение  $2/3 V_{cc}$ .



## Генератори на импулси

### Интегрален таймер 555

Това време се определя от израза:

$$t_{и} = 0,7(R1 + R2)C .$$

Изходът е в ниско ниво, докато кондензаторът С се разрежда от напрежение  $2/3 V_{cc}$  до напрежение  $1/3 V_{cc}$ , т.е.:

$$t_{п} = 0,7R2C .$$

Следователно, периодът на генерираните импулси е:

$$T = t_{и} + t_{п} = 0,7(R1 + 2R2)C .$$

Кофициентът на запълване се определя:  $k_3 = t_{и}/T$ .

## Генератори на импулси

### Интегрален таймер 555

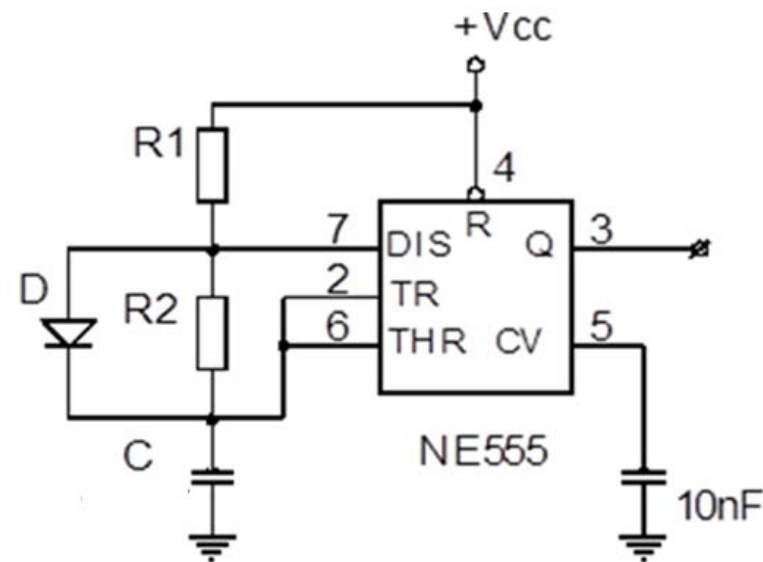
За да се получи схема на мултивибратор с коефициент на запълване на генерираните импулси 50% се добавя диод успоредно на R2. Тогава кондензаторът се зарежда през резистора R1 и диода, а се разрежда през резистора R2. От тук следва, че

$$t_{\text{и}} = 0,7R1C;$$

$$t_{\text{п}} = 0,7R2C;$$

$$T = 0,7(R1 + R2)C.$$

При  $R1=R2$ ,  $k_3=50\%$ .



## Генератори на импулси

### Интегрален таймер 555

В схемата на генератор на правоъгълни импулси с регулируем коефициент на запълване диодите D1 и D2 определят независими вериги на заряд и разряд на кондензатора C.

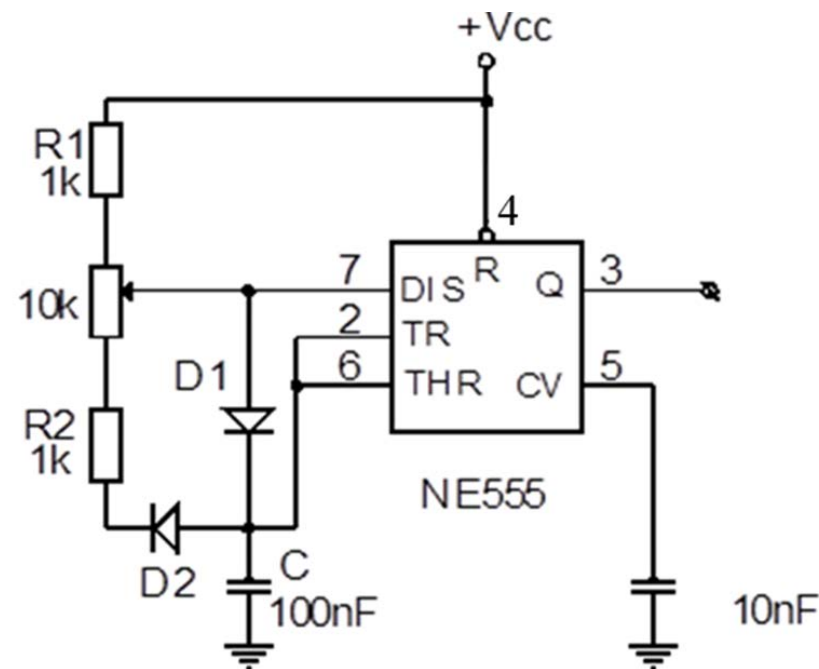
$$t_{\text{и}} = 0,7R1C;$$

$$t_{\text{п}} = 0,7R2C;$$

$$T = 0,7(R1 + R2)C.$$

Коефициентът на запълване е:

$k_3 = R2 / (R1 + R2)$  и може да се променя от 1% до 99%.

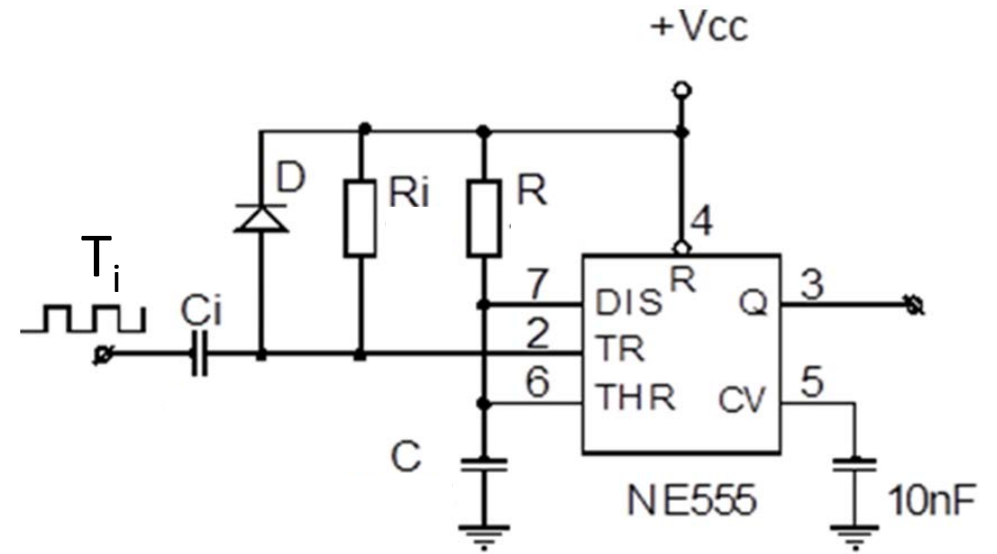
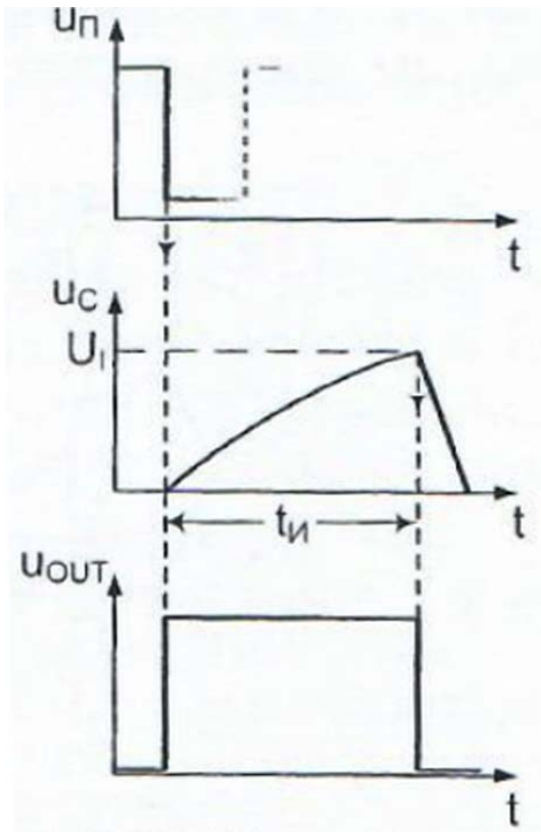




# Генератори на импулси

## Интегрален таймер 555

Таймерът 555 работи и в схема на чакащ мултивибратор.



## Генератори на импулси

### Интегрален таймер 555

При постъпване на задния фронт на стартовия импулс, изходът на таймера преминава във високо ниво и вътрешната за таймера верига от извод 7 към маса се прекъсва - транзисторът се запушва. Напрежението върху кондензатора  $C$  започва да нараства със скорост, определена от стойностите на  $R$  и  $C$ . Когато това напрежение достигне  $2/3 V_{CC}$ , компаратор 1 сработва и това води до превключване на изхода от високо в ниско ниво. Изходът е във високо ниво за време определено по формулата:  $t_{и} \approx 1,1RC$ .

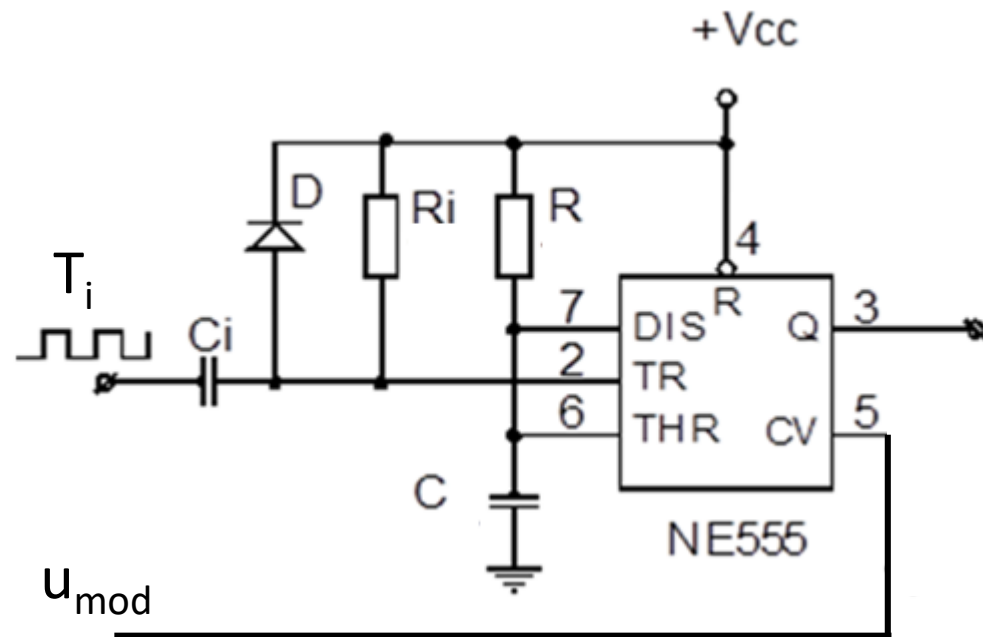
## Генератори на импулси

### Интегрален таймер 555

Елементите  $R_i$ ,  $C_i$  и диода  $D$  са необходими, за да може на един стартов импулс да отговаря един импулс на изхода на таймера. Свързването на резистора  $R_i$  между захранването  $V_{cc}$  и извод 2 на таймера преследва две цели - докато не е постъпил заден фронт на стартовия импулс,  $R_i$  осигурява първо: поддържане на ниско ниво на изхода и второ: зареждане на  $C_i$  до напрежение  $V_{cc}$ . Времеkonстантата  $R_i C_i$  трябва да бъде малка в сравнение с продължителността на изходния импулс  $t_{и}$ . Диодът  $D$  предотвратява стартиране на таймера от предния фронт на стартовия импулс.

## Генератори на импулси Интегрален таймер 555

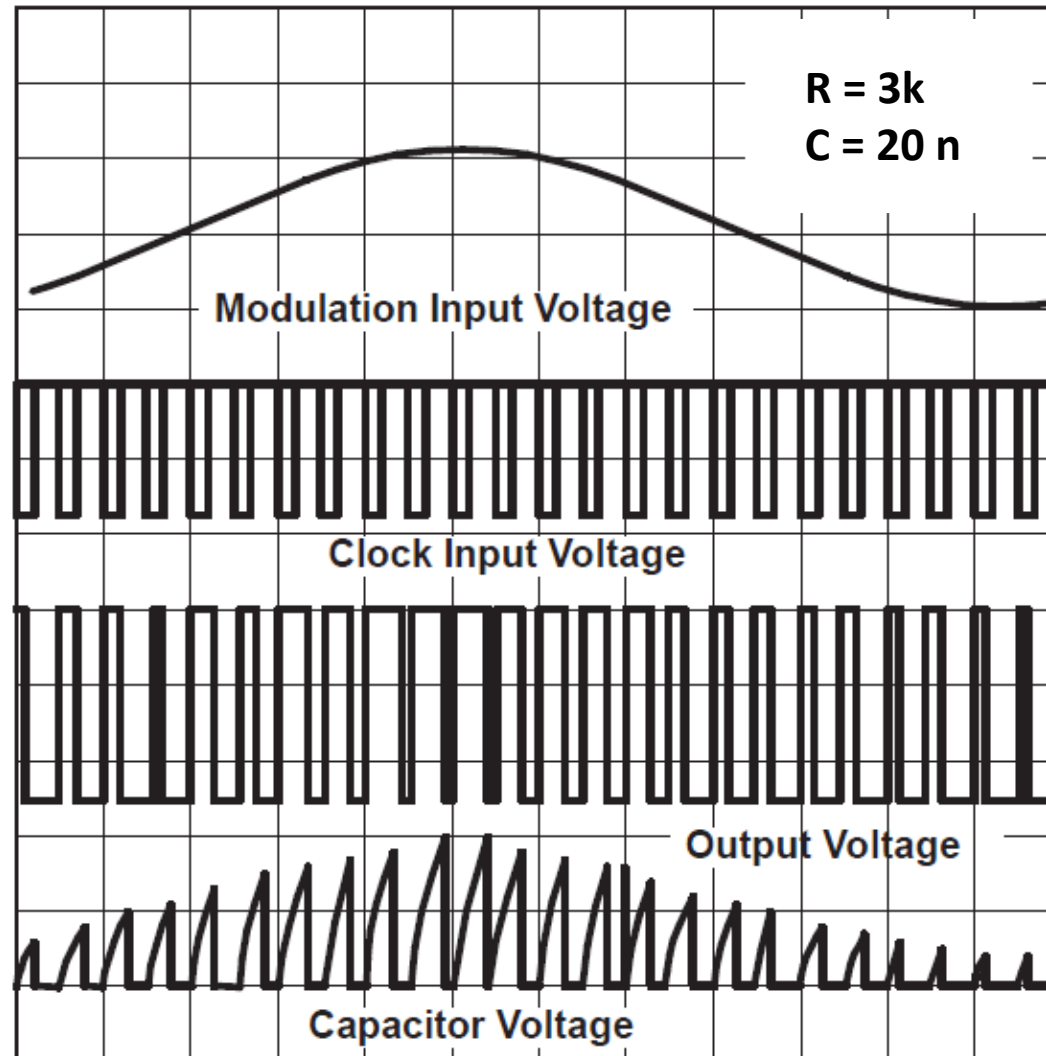
Подаването на напрежение на извод 5 на таймера позволява модулиране на изходния сигнал.



При работа в чакащ режим се получава широчинно-импулсна модулация (ШИМ). Необходимо е  $RC = T_i/4$ .

# Генератори на импулси

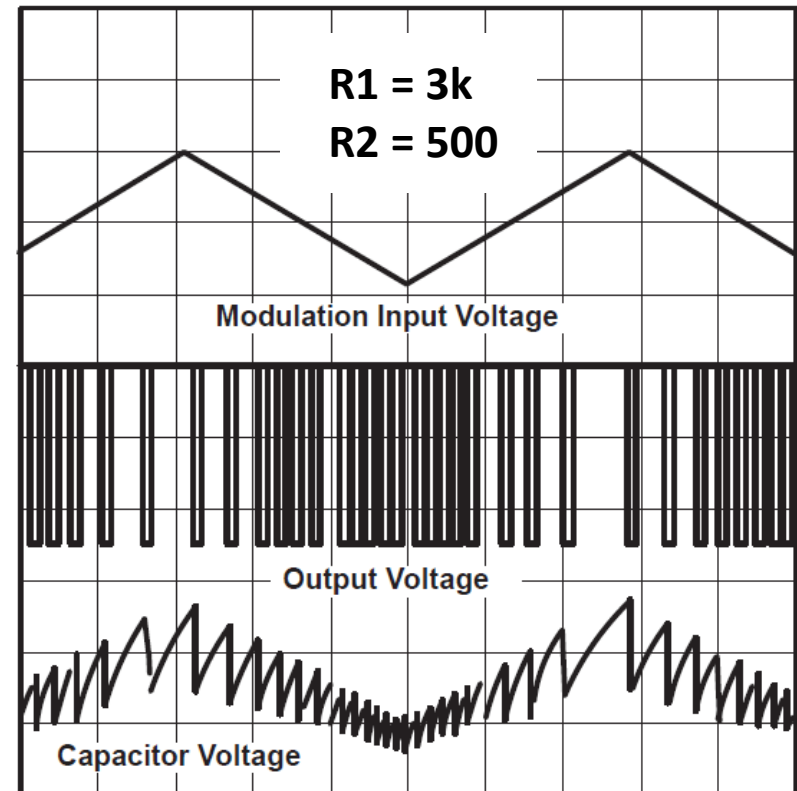
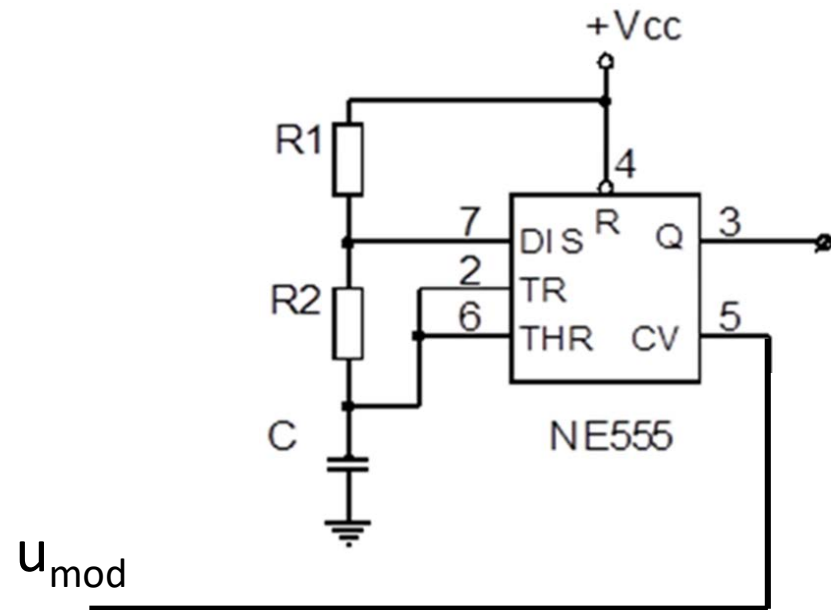
## Интегрален таймер 555



# Генератори на импулси

## Интегрален таймер 555

При работа в автогенераторен режим се получава фазово-импулсна модулация (ФИМ) – модулиране на положението на импулсите.



## Генератори на линейно-изменящи се (трионообразни) напрежения

Основните параметри на линейно-изменящото се във времето напрежение са:

- $T_{\text{пр}}$  – продължителност на правия ход;
- $T_{\text{обр}}$  – продължителност на обратния ход;
- $T = T_{\text{пр}} + T_{\text{обр}}$  – период (за периодични сигнали);
- $U_m$  – амплитуда (размах), получава се в края на  $T_{\text{пр}}$ ;
- $\xi = U_m / U_{\text{СС}}$  – коефициент на използване на захранващото напрежение;
- $\epsilon_H$  – коефициент на нелинейност -  $\epsilon_H = \frac{k(0) - k(T_{\text{обр}})}{k(0)} \cdot 100\%$ , където  $k =$

$\frac{du}{dt}$  е скоростта на изменение на напрежението.

## Генератори на линейно-изменящи се (трионообразни) напрежения

Методите за генериране на линейно-изменящи се напрежения се базират на зареждане и разреждане на кондензатор с постоянен ток  $i_C(t) = I_0 = \text{const}$ .

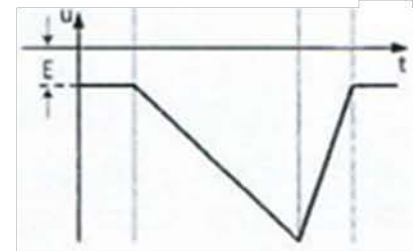
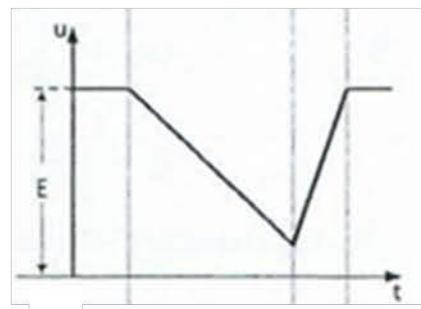
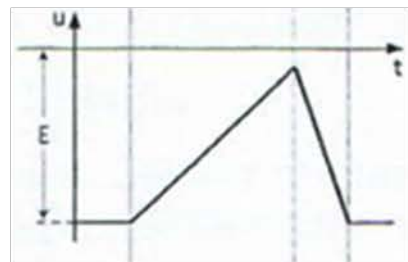
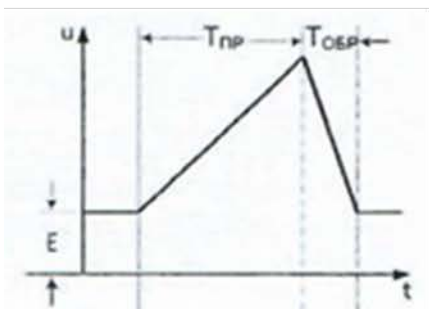
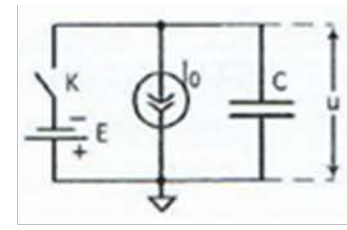
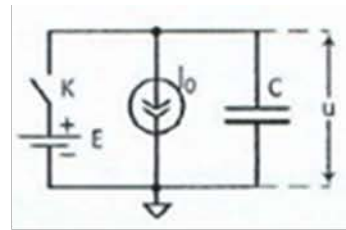
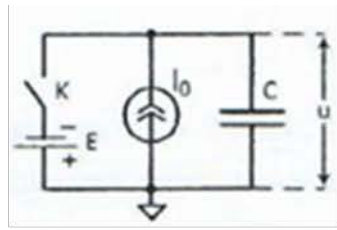
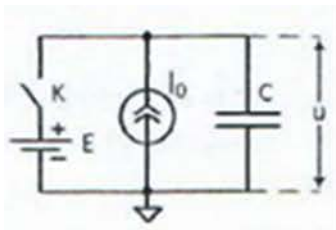
$$u(t) = \frac{1}{C} \int i_C(t) dt = \frac{I_0}{C} t = kt$$

$$U_m = u(T_{\text{ПР}}) = \frac{I_0}{C} T_{\text{ПР}}$$

Следователно основната структура на генератор на линейно-изменящо се напрежение включва генератор на постоянен ток, ключ и източник на постоянно напрежение.

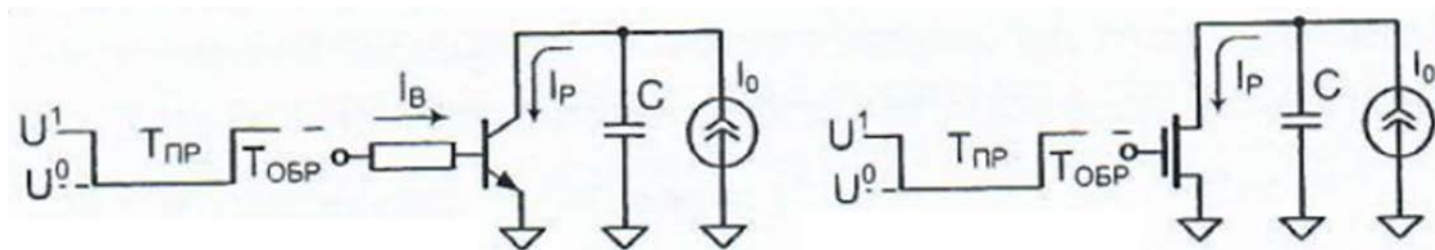


## Генератори на линейно-изменящи се (трионообразни) напрежения



Чрез промяна на полярността на източника на постоянно напрежение  $E$  и на тока  $I_0$  могат да се генерират напрежения с различна форма. При затваряне на ключа се извършва обратния ход, а при отваряне се формира линейния участък.

## Генератори на линейно-изменящи се (трионообразни) напрежения



Ключът се реализира с биполярен или MOS транзистор. По време на обратния ход транзисторът е отпушен и осигурява разрядния ток  $I_p$ . Токът, който разрежда кондензатора е равен на разликата между  $I_p$  и  $I_0$ . Натрупаният в кондензатора заряд по време на правия ход намалява по времето на обратния ход до първоначалната си стойност. Следователно  $T_{\text{ПР}}I_0 = T_{\text{ОБР}}(I_p - I_0)$  и в резултат се получава  $T_{\text{ОБР}} = T_{\text{ПР}}I_0 / (I_p - I_0)$ .

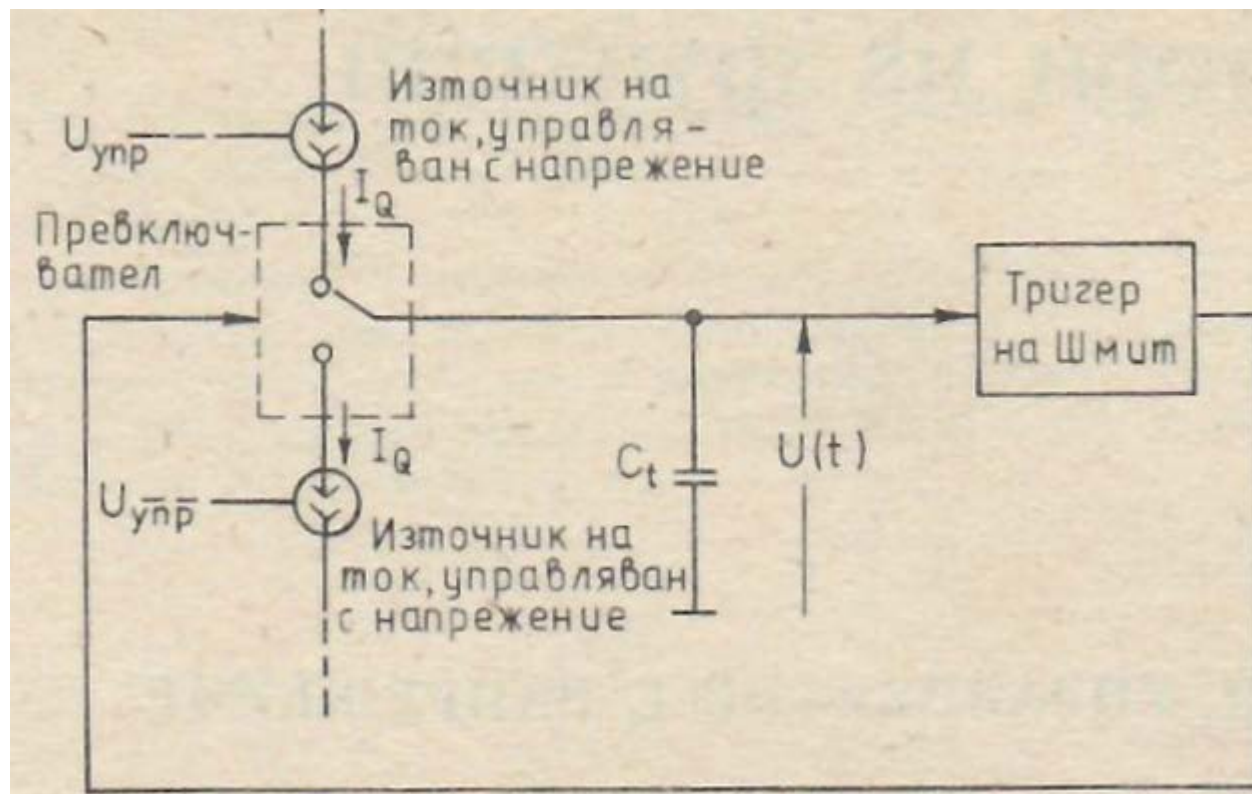
## Генератори на линейно-изменящи се (трионообразни) напрежения

Според начина на управление на ключа генераторите на линейно-изменящи се напрежения се делят на управляеми и релаксационни.

При **управляемите** продължителността на правия ход е равна на продължителността на външен управляващ импулс.

При **релаксационните** продължителността на правия и обратния ход се определя от параметрите на схемата. За линейно изменение на напрежението върху времезадаващия кондензатор е необходимо токът през него да се поддържа неизменен във времето чрез токостабилизиращ двуполюсник или интегриращ операционен усилвател.

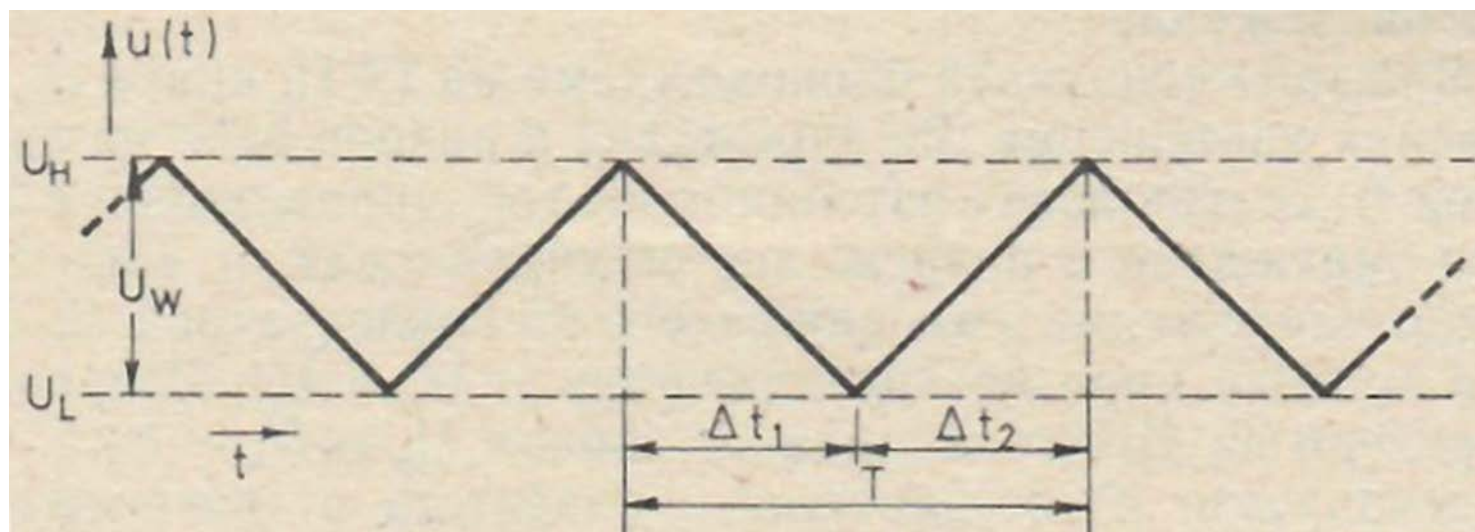
## Генератори на линейно-изменящи се (трионообразни) напряжения



За зареждане и разреждане на времезадаващия кондензатор се използват източници на ток, управлявани от напрежение.

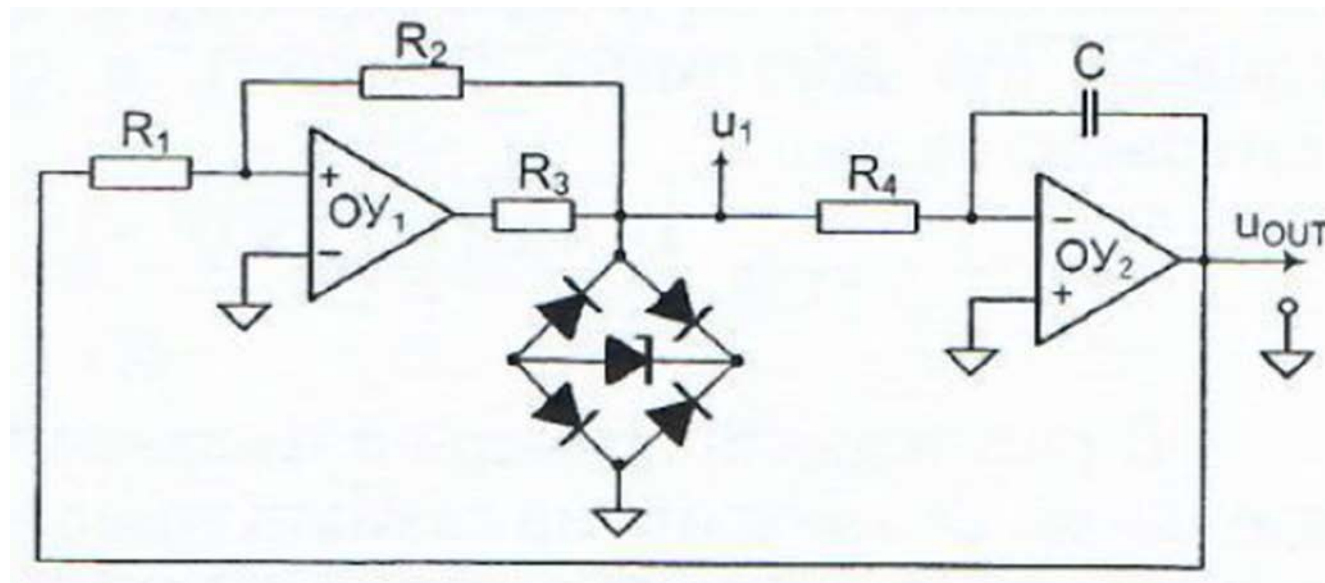
## Генератори на линейно-изменящи се (трионообразни) напрежения

Тъй като кондензаторът се зарежда и разрежда от генератори на постоянен ток, напрежението върху него ще се изменя линейно във времето. Ако токовете на зареждане и разреждане са равни по големина, напрежението ще има симетрична триъгълна форма.



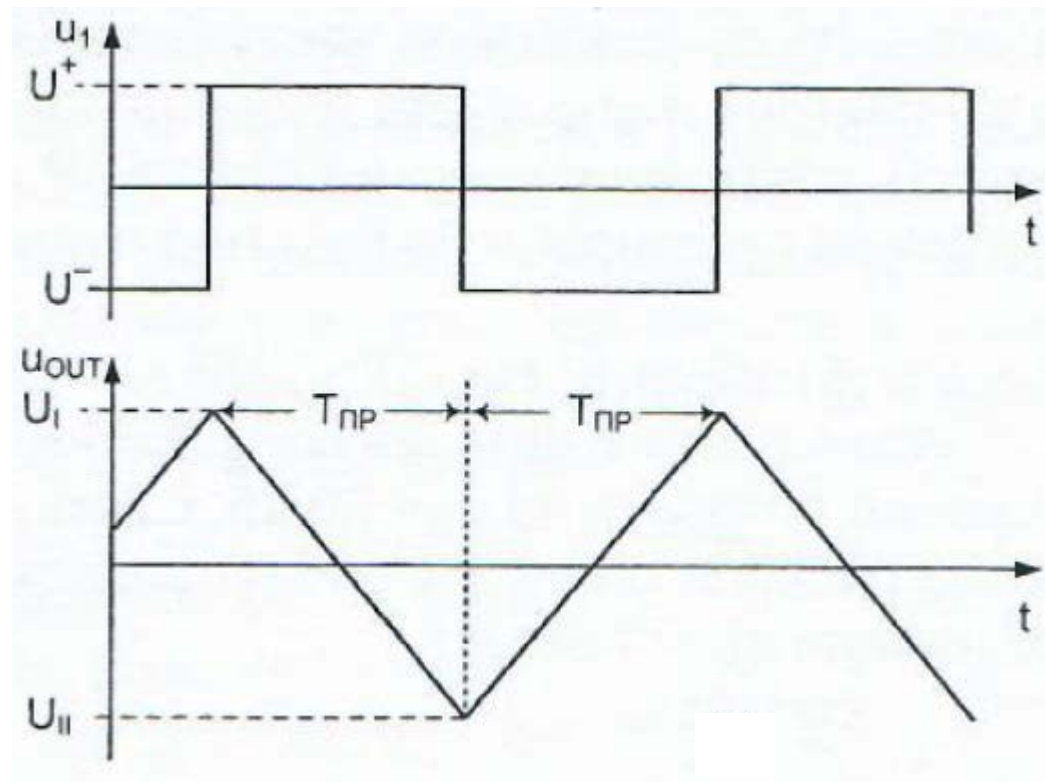
## Генератори на линейно-изменящи се (тригонообразни) напрежения

Линейно изменящо се напрежение може да се получи и с използването на интегриращ операционен усилвател. Той е включен в схема на релаксационен генератор, в който участва и тригер на Шмит. В случая и двата ОУ са с двуполярно захранване.



## Генератори на линейно-изменящи се (трионообразни) напрежения

За стабилизация на праговете е включен ограничител с ценеров диод и диоден мост. Когато диодите са напълно еднакви, двустранният ограничител е симетричен и праговете напрежения са равни по абсолютна стойност, но с противоположни знаци.



## Генератори на линейно-изменящи се (трионообразни) напрежения

Стойностите на изходното напрежение на тригера на Шмит са:

$$U^+ = E_z + 2E_0 \text{ и } U^- = -(E_z + 2E_0).$$

Праговете му са равни на:  $U_I = U^+(R_1/R_2)$  и  $U_{II} = (-U^+)(R_1/R_2)$ .

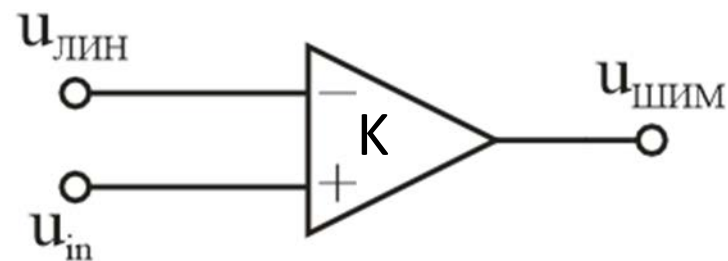
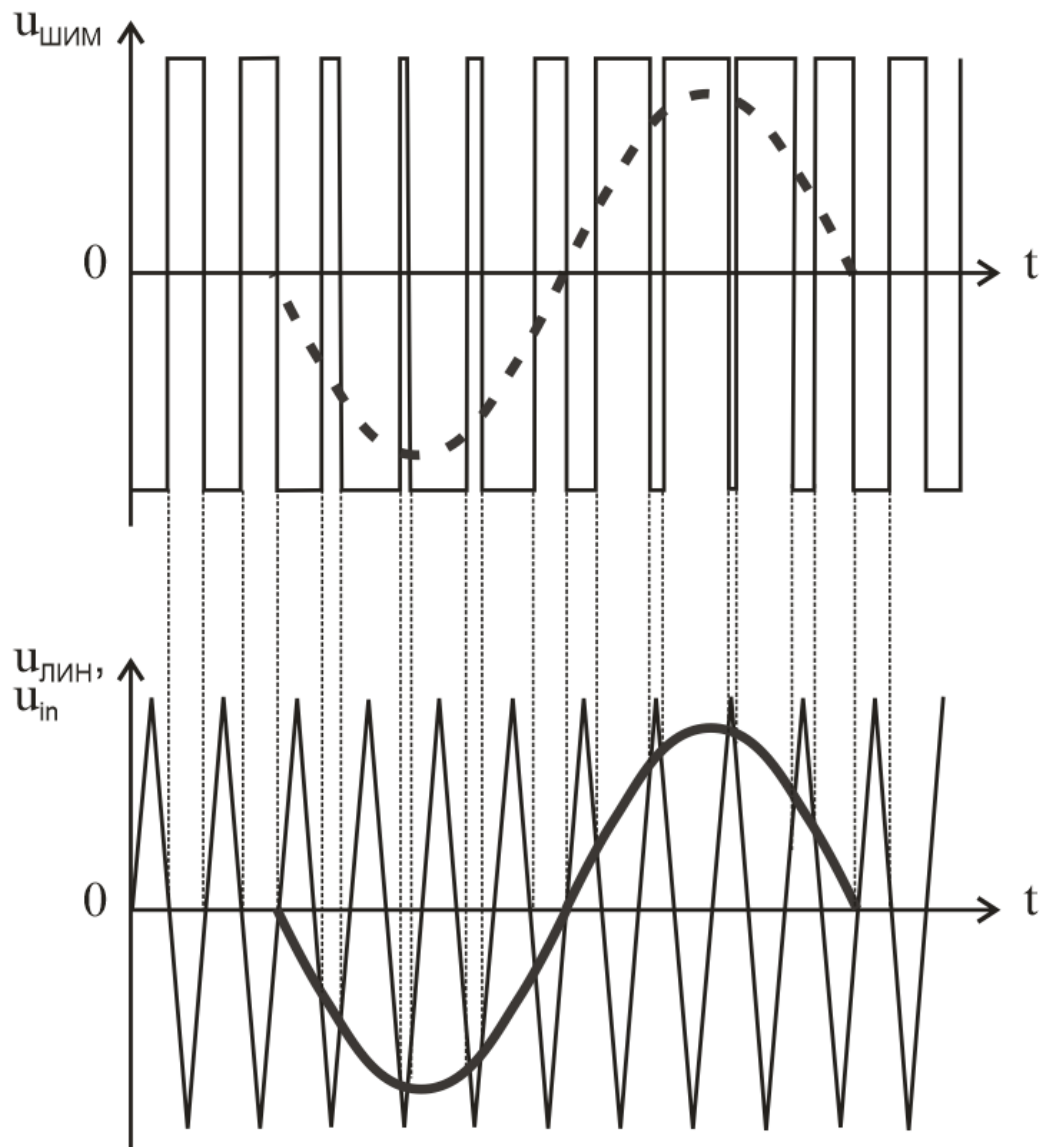
Когато изходното напрежение на тригера на Шмит е положително в изхода на ОУ2 се генерира линейно намаляващо напрежение. Когато то достигне долния праг на тригера, той превключва и в изхода му се установява отрицателно напрежение. Тогава изходното напрежение на ОУ2 започва линейно да нараства и при достигане на горния праг тригерът се връща в предишното състояние.



## Генератори на линейно-изменящи се (трионообразни) напрежения

С използване на генератори на линейно-изменящи се напрежения може да се формират широчинно-импулсно модулирани сигнали – ШИМ (pulse-width modulated – PWM). Те се използват в устройствата за импулсно захранване, управление на двигатели, усилватели на мощност клас D и т.н. Така например при усилвателите от клас D може да се получи КПД от порядъка на 95-97%, съществено да се повиши използването на активния прибор по мощност, а нелинейните изкривявания да останат достатъчно малки.

## Генератори на линейно-изменящи се (трионообразни) напрежения



Основните блокове са компаратор и генератор на линейно-изменящо се напрежение.