

# PODSTAWY ELEKTRONIKI

**Katedra Robotyki i Mechatroniki**

**Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki**

**Akademia Górniczo-Hutnicza  
im. Stanisława Staszica w Krakowie**



**Prostowniki  
Powielacze  
Układy RC**

**LAB 7  
LAB 8**

## SPIS TREŚCI

1.	PROSTOWNIKI.....	2
1.1	Prostownik jednopółkowy bez kondensatora filtrującego.....	4
1.2	Prostownik jednopółkowy z kondensatorem filtrującym.....	5
1.3	Prostownik dwópołkowy (mostkowy) bez kondensatora filtrującego.....	6
1.4	Prostownik dwópołkowy (mostkowy) z kondensatorem filtrującym.....	7
2.	POWIELACZE.....	8
3.	UKŁADY RC.....	9
3.1	Układ całkujący.....	9
3.2	Układ różniczkujący.....	10
3.3	Filtr dolnoprzepustowy RC.....	11
3.4	Filtr górnoprzepustowy RC.....	12
4.	LITERATURA.....	14

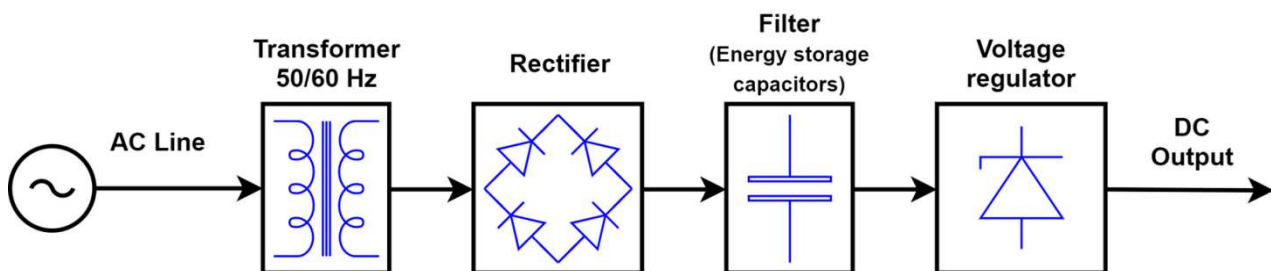
# PODSTAWY ELEKTRONIKI

## 1. PROSTOWNIKI

Układy elektroniczne wymagają zasilania napięciem stałym. Wyróżniamy dwa podstawowe rodzaje zasilaczy: liniowe (transformatorowe) oraz impulsowe.

Głównymi elementami zasilacza liniowego (transformatorowego), którego schemat jest widoczny na rys. 1 są:

- **transformator** – jego zadaniem jest obniżenie napięcia z 230 V do napięcia (najczęściej) z przedziału 5 V – 24 V;
- **prostownik** – jego zadaniem jest „wyprostowanie” napięcia, czyli transformacja z napięcia przemiennego do napięcia (w przybliżeniu) stałego;
- **filtr** – w postaci kondensatorów dużej pojemności, których zadaniem jest zmniejszenie poziomu tętnień;
- **stabilizator liniowy** – jego zadaniem jest uzyskanie stałego napięcia na wyjściu (o zadanej wartości oraz o małym poziomie tętnień).



Rys. 1: Schemat blokowy zasilacza transformatorowego

Zalety:

- ⊕ prosta budowa;
- ⊕ niski poziom tętnień i szumów;
- ⊕ tanie dla małych mocy.

Wady:

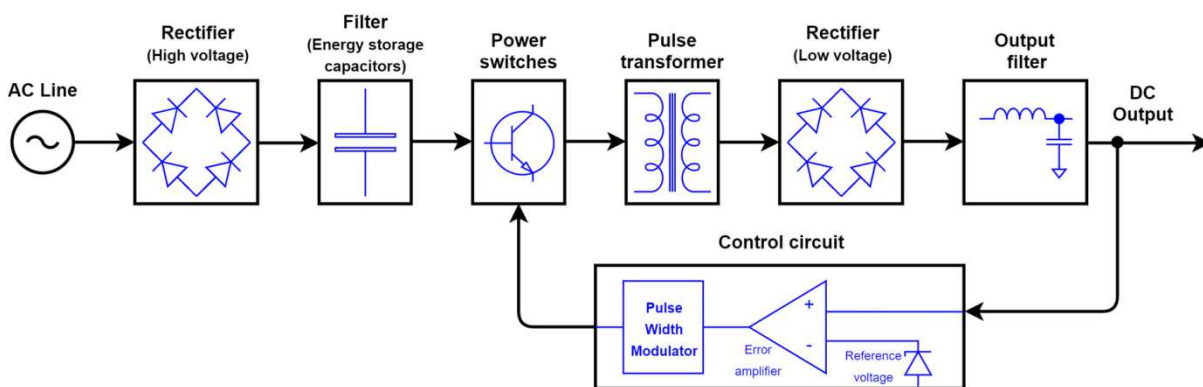
- ⊖ niska sprawność;
- ⊖ duża masa oraz wymiary w stosunku do mocy (niski stosunek mocy do masy oraz mocy do objętości);
- ⊖ drogie rozwiązanie dla dużych mocy.

Odpowiednim zastosowaniem dla zasilaczy transformatorowych są aplikacje gdzie wymagany jest niski poziom szumów i niewielka moc, a takie ograniczenia jak niska sprawność, czy duże gabaryty nie są istotną wadą.

Drugim podstawowym rodzajem zasilaczy są zasilacze impulsowe. Największą zaletą zasilaczy impulsowych jest ich wysoka sprawność przy małych gabarytach. Głównymi elementami takiego zasilacza, którego schemat jest widoczny na rys.2 są:

- **prostownik wejściowy** – jego zadaniem jest uzyskanie napięcia stałego o wartości ok. 320 V;

- **filtr** – w postaci kondensatorów dużej pojemności, których zadaniem jest zmniejszenie poziomu tętnień;
- **przełączniki półprzewodnikowe (tranzystory)** – ich zadaniem jest generowanie impulsów w uzwojeniu pierwotnym transformatora, na podstawie wypełnienia zadanego z obwodu starowania;
- **transformator impulsowy** – jego zadaniem jest obniżenie napięcia do wartości oczekiwanej, dzięki przełączaniu na dużej częstotliwości (najczęściej 10 – 100 kHz) transformator może mieć małe gabaryty;
- **prostownik niskonapięciowy** – jego zadaniem jest uzyskanie napięcia stałego z napięcia przemiennego pochodzącego z uzwojenia wtórnego transformatora impulsowego;
- **filtr dolnoprzepustowy** – filtracja zakłóceń wysokoczęstotliwościowych pochodzących od modulacji PWM;
- **obwód sterowania** – pracuje ujemnej w pętli sprzężenia zwrotnego, jego zadaniem jest wyznaczenie współczynnika wypełnienia dla sygnału PWM, który steruje przełączaniem elementów półprzewodnikowych.



Rys. 2: Schemat blokowy zasilacza impulsowego

Zalety:

- ⊕ wysoka sprawność;
- ⊕ mała masa oraz wymiary w stosunku do mocy (dobry stosunek mocy do masy oraz mocy do objętości);
- ⊕ tani dla dużych mocy.

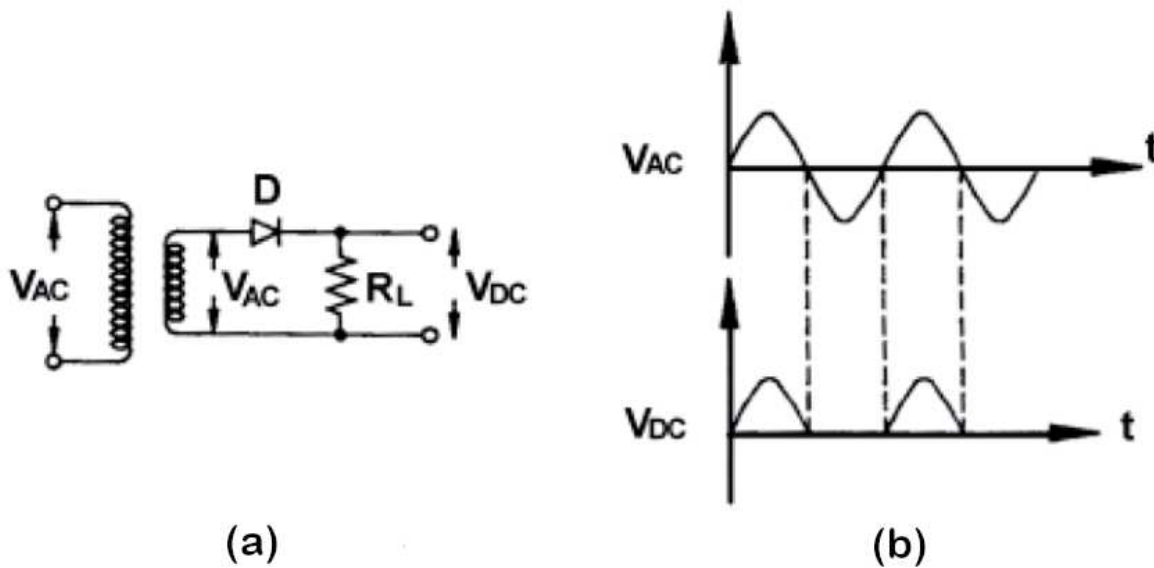
Wady:

- ⊖ bardziej złożona konstrukcja;
- ⊖ większe tętnienia i szumy (w stosunku do zasilacza liniowego).

**Oba rodzaje zasilaczy wymagają zastosowania prostowników na pewnym etapie przetwarzania energii.**

### 1.1 Prostownik jednopółówkowy bez kondensatora filtrującego

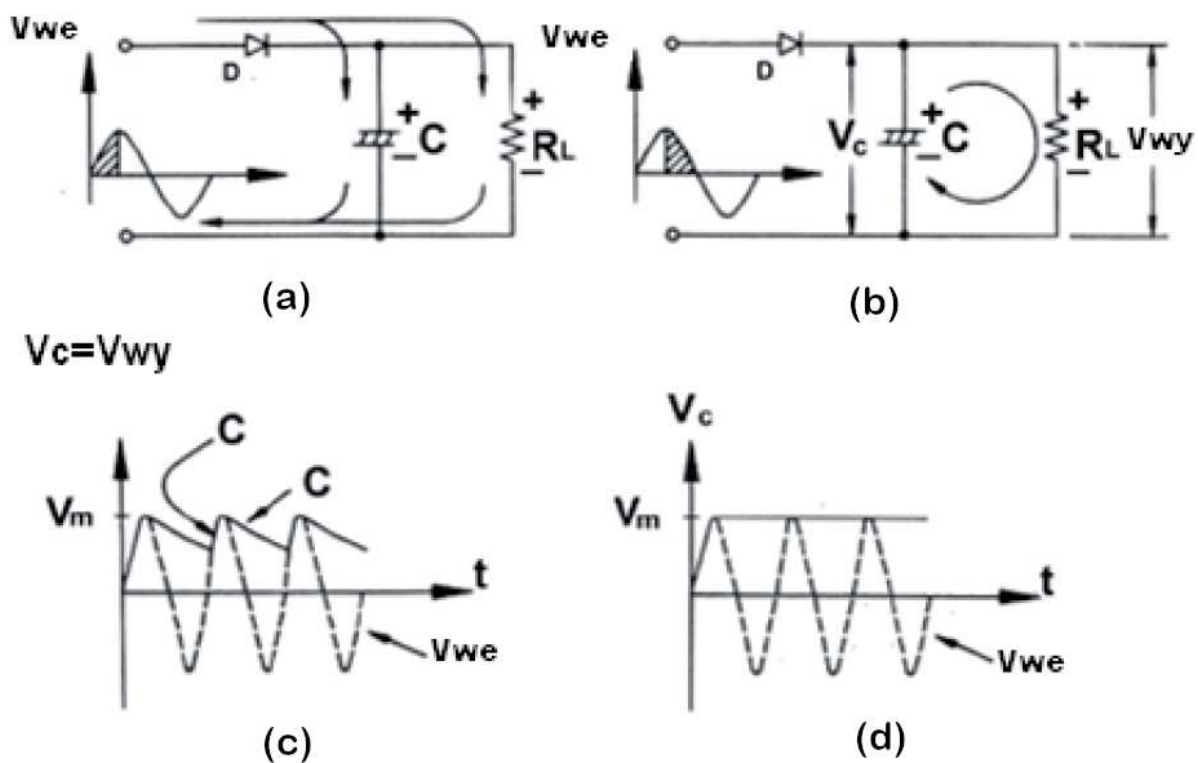
Prostownik jednopółówkowy przedstawiony jest na rys. 3. W trakcie dodatniego półokresu napięcia przemiennego dioda D jest spolaryzowana w kierunku przewodzenia (dioda przewodzi - napięcie za diodą jest zbliżone do napięcia na wejściu). W trakcie ujemnego półokresu dioda jest spolaryzowana w kierunku zaporowym (dioda nie przewodzi – napięcie za diodą jest bliskie zeru). Zatem napięcie wyjściowe pojawia się tylko w dodatnich półokresach napięcia przemiennego  $V_{AC}$ . Napięcie wejściowe ( $V_{AC}$ ) oraz napięcie za diodą ( $V_{DC}$ ) jest pokazane na rys. 3.



Rys. 3: Prostownik jednopółówkowy:  
 a) schemat elektryczny;  
 b) przebieg napięcia wejściowego i wyjściowego [1]

## 1.2 Prostownik jednopółwkowy z kondensatorem filtrującym

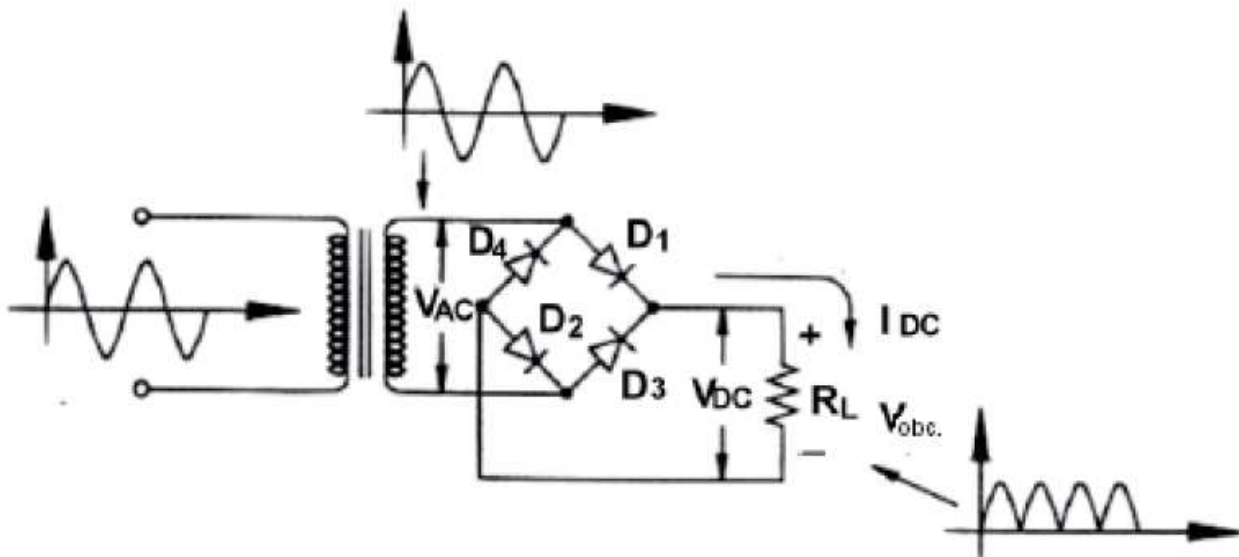
Na rys. 4 a i b przedstawiono prostownik jednopółwkowy z kondensatorem filtrującym w trakcie ładowania i rozładowywania. Na rys. 4 c i d przedstawiono przebiegi napięć wyjściowych dla przypadków gdy rezystancja obciążenia  $R_L = 1k\Omega$  (przypadek c) oraz bez obciążenia, tzn.  $R_L = \infty$  (przypadek d). Im większa wartość rezystancji obciążenia tym dłuższy czas rozładowywania, czego konsekwencją są mniejsze fluktuacje napięcia wyjściowego.



Rys. 4: Prostownik jednopółwkowy z kondensatorem filtrującym:  
 a) w trakcie ładowania (przewodzenia diody)  
 b) w trakcie rozładowywania (zatkania diody)  
 c) przebieg napięcia wyjściowego dla przypadku  $R_L = 1k\Omega$   
 d) przebieg napięcia wyjściowego dla przypadku  $R_L = \infty$  [1]

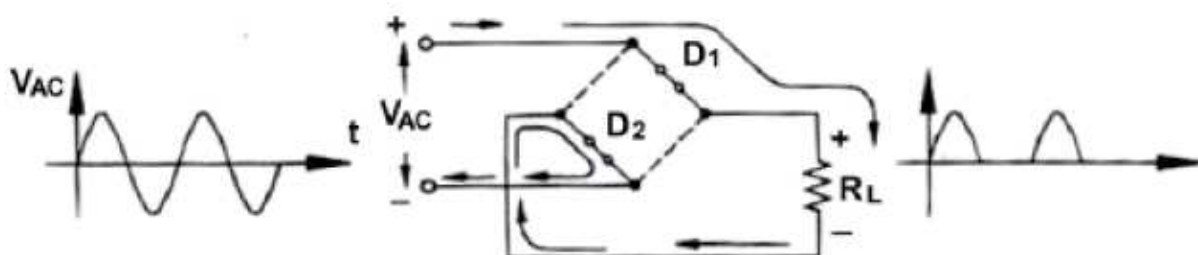
### 1.3 Prostownik dwupołkowy (mostkowy) bez kondensatora filtrującego

Prostownik dwupołkowy (w układzie mostka Graetza) bez kondensatora filtrującego przedstawiono na rys. 5. Zbudowany jest z czterech diod prostowniczych.



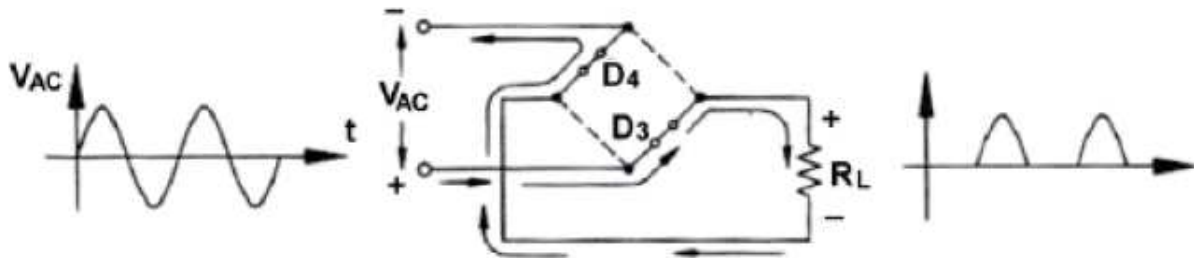
Rys. 5: Układ prostownika mostkowego [1]

W trakcie dodatniego półokresu przemiennego napięcia wejściowego ( $V_{AC}$ ) diody  $D_1$  i  $D_2$  są spolaryzowane w kierunku przewodzenia, a diody  $D_3$  i  $D_4$  są spolaryzowane w kierunku zaporowym. Schemat zastępczy dla takiej sytuacji przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6: Schemat zastępczy prostownika mostkowego w dodatnim półokresie napięcia wejściowego [1]

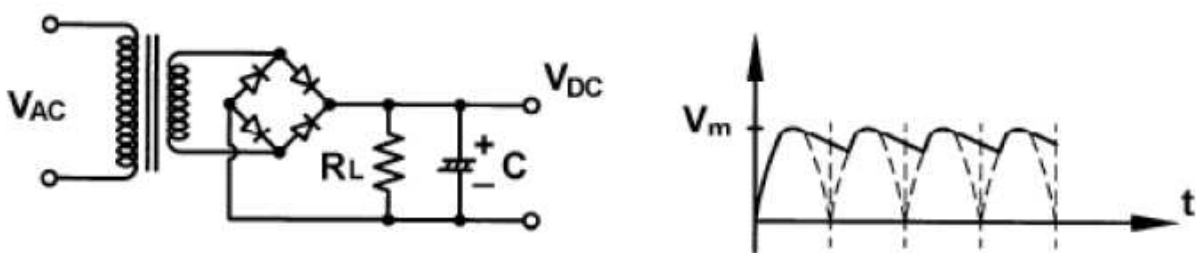
W trakcie ujemnego półokresu przemiennego napięcia wejściowego ( $V_{AC}$ ) diody  $D_3$  i  $D_4$  są spolaryzowane w kierunku przewodzenia, a diody  $D_1$  i  $D_2$  są spolaryzowane w kierunku zaporowym. Schemat zastępczy dla takiej sytuacji przedstawiono na rys. 7.



Rys. 7: Schemat zastępczy prostownika mostkowego w ujemnym półokresie napięcia wejściowego [1]

### 1.4 Prostownik dwupołkowy (mostkowy) z kondensatorem filtrującym

Na rys. 8 przedstawiono układ prostownika mostkowego (Graetza) z filtrem pojemnościowym w postaci kondensatora o dużej pojemności. Dzięki temu tętnienia napięcia wyjściowego uległy znacznemu zmniejszeniu.



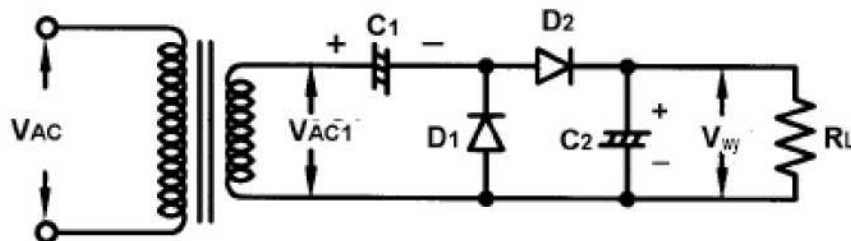
Rys. 8: Układ prostownika mostkowego z kondensatorem filtrującym [1]

## 2. POWIELACZE

Powielacz napięcia to obwód elektryczny transformujący prąd zmienny na prąd stały o wyższym, względem wejściowego, napięciu. Powielacz napięcia składa się z układu odpowiednio połączonych kondensatorów oraz diod prostowniczych. Powielacze napięcia stosowane są np. w zasilaczach lamp błyskowych, generowania wysokich napięć służących do testowania instalacji odgromowych, dawniej były używane w technice telewizyjnej do uzyskania wysokich napięć koniecznych do pracy kineskopów.

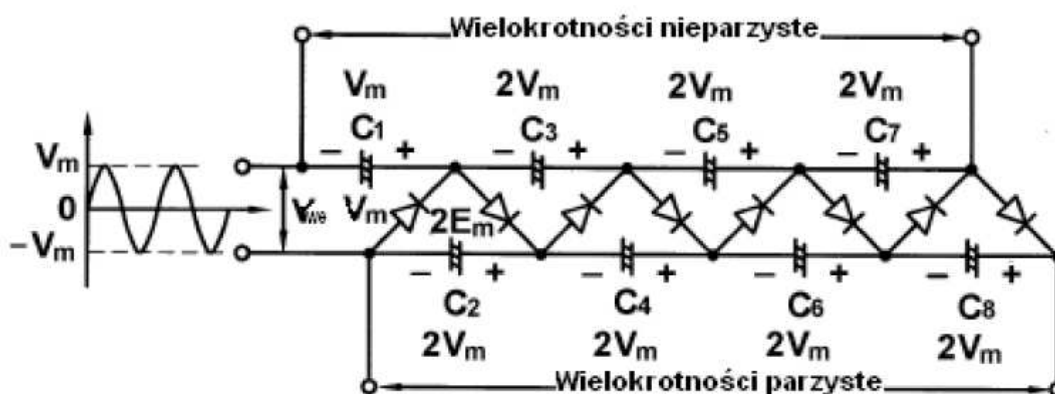
Na rys. 9 przedstawiono schemat prostownika jednopółkowego z podwajaniem napięcia. W trakcie ujemnego półokresu dioda  $D_1$  spolaryzowana jest w kierunku przewodzenia, w dioda  $D_2$  spolaryzowana jest w kierunku zaporowym. Kondensator  $C_1$  ładuje się do wartości szczytowej (amplitudy) napięcia przemiennego  $V_{AC1}$ , przy czym jego polaryzację zaznaczono na rysunku.

Następnie w trakcie dodatniego półokresu dioda  $D_2$  spolaryzowana jest w kierunku przewodzenia, a dioda  $D_1$  w kierunku zaporowym. Napięcie w punkcie połączenia diod  $D_1$ ,  $D_2$  i kondensatora  $C_1$  stanowi sumę napięcia na kondensatorze (wartość amplitudy napięcia  $V_{AC1}$ ) oraz chwilowego napięcia  $V_{AC1}$  (maksymalnie również wartość amplitudy napięcia  $V_{AC1}$ ). Dzięki temu kondensator  $C_2$  ładuje się do wartości równej podwojonej wartości szczytowej (amplitudy) napięcia  $V_{AC1}$ .



Rys. 9: Schemat prostownika jednopółkowego z podwajaniem napięcia [1]

Na rys. 10 przedstawiono powielacz napięcia. Układ ten jest rozszerzeniem prostownika jednopółkowego z podwajaniem napięcia i pracuje na tej samej zasadzie. Dzięki takiej topologii można uzyskać na wyjściu napięcie stałe o wartości wielokrotnie wyższej od amplitudy napięcia wejściowego.



Rys. 10: Powielacz napięcia [1]

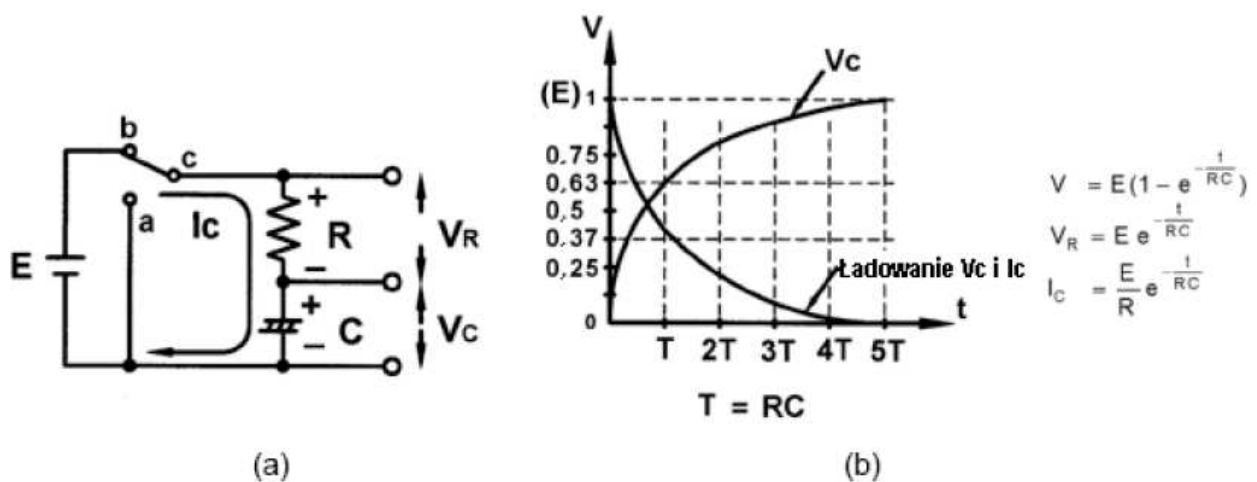


### 3. UKŁADY RC

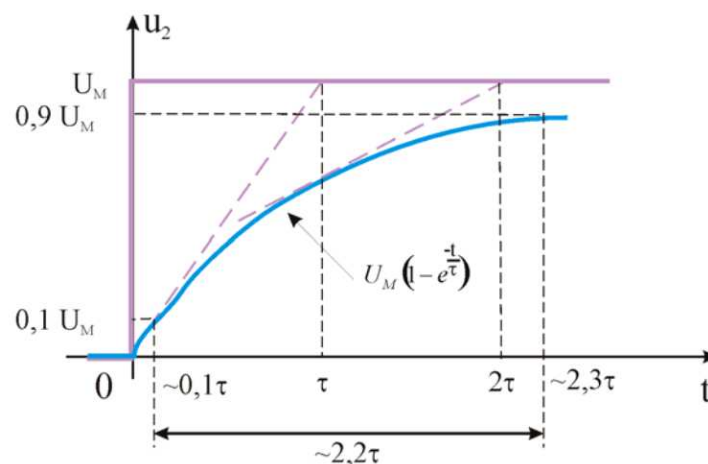
#### 3.1 Układ całkujący

Przebiegi czasowe napięcia i prądu ładowania kondensatora poprzez szeregowo wpięty rezystor przedstawiono na rys 11 oraz rys. 12. Układ taki nazywamy układem całkującym RC. Na rys. 13 przedstawiono przebiegi napięcia i prądu w funkcji czasu podczas rozładowywania układu całkującego RC.

Wartość  $\tau = RC$  określająca szybkość ładowania/rozładowywania nazywana jest stałą czasową.

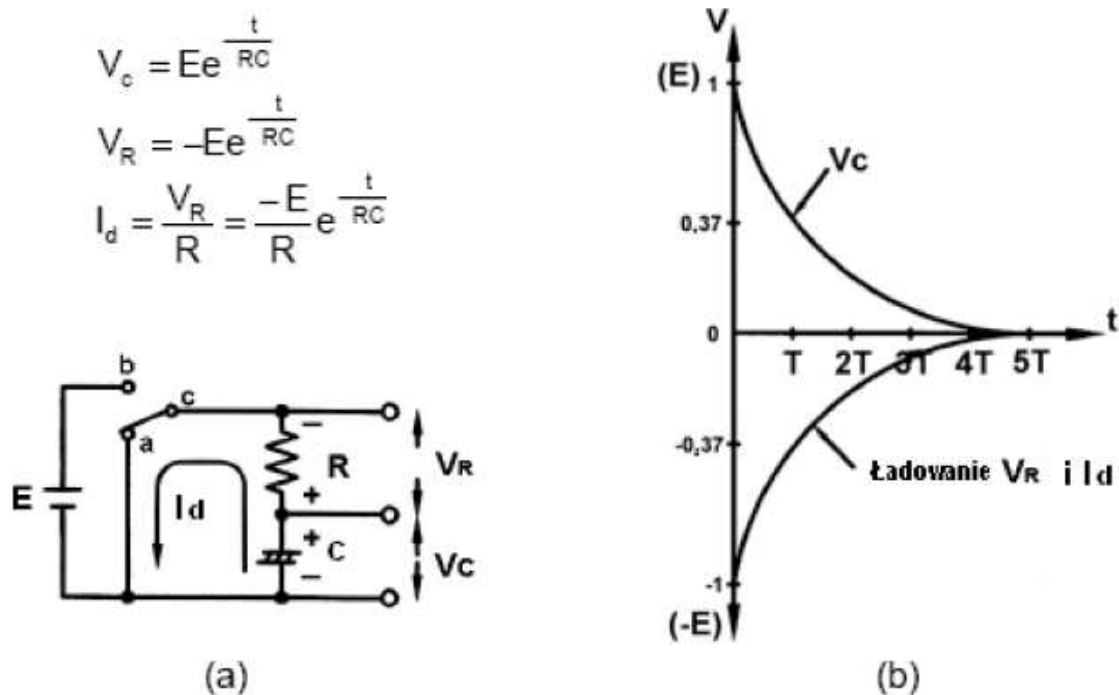


Rys. 11: Ładowanie układu RC [1]



Rys. 12: Odpowiedź układu całkującego na skok napięcia wejściowego o amplitudzie  $U_M$  [2]

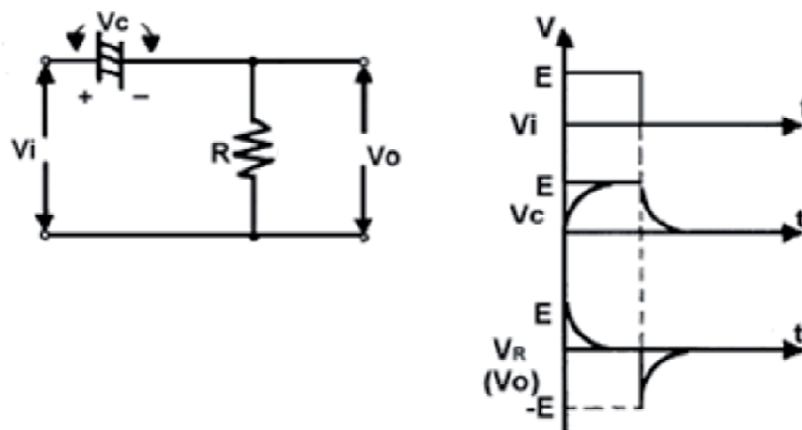
Jak widać na rysunkach 11 i 12, po upływie jednej stałej czasowej napięcia na kondensatorze ( $V_C$ ) wzrośnie do wartości ok. 63.2% wartości amplitudy napięcia wymuszenia ( $E$ ). Po upływie 5 stałych czasowych można przyjąć, że napięcie na kondensatorze jest w przybliżeniu równe napięciu wymuszenia  $V_C \approx E$  ( $V_C = 99.3\% E$ ). Czas pomiędzy 10% a 90% wartości wymuszenia nazywany jest często czasem narastania i jest równy w przybliżeniu 2.2 stałej czasowej ( $t_{10\%-90\%} = 2.2 \tau$ ).



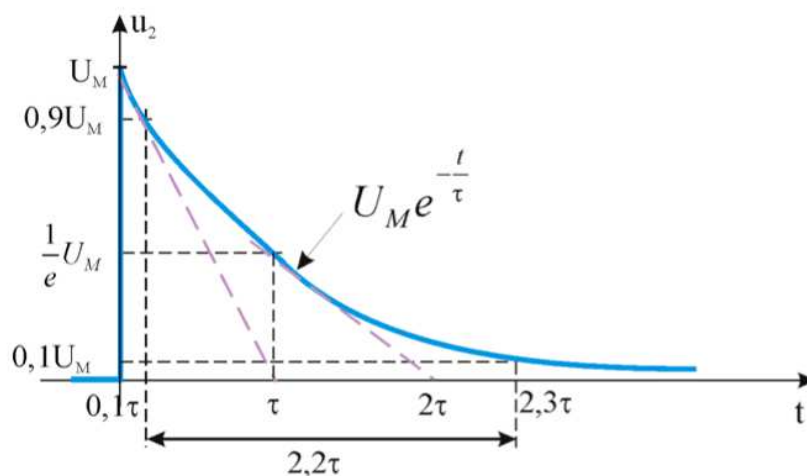
Rys. 13: Rozładowywanie układu RC [1]

### 3.2 Układ różniczkujący

Układ różniczkujący RC przedstawiony jest na rys. 14. Nazwa układu różniczkującego wywodzi się stąd, że w pewnych warunkach, a mianowicie przy odpowiednio dobranej, niewielkiej wartości  $\tau$ , oraz dla tych przedziałów czasu, w których szybkość zmian napięcia jest niewielka napięcie wyjściowe jest w przybliżeniu proporcjonalne do pochodnej napięcia wejściowego  $du/dt$ . Przebiegi napięcia i prądu wyjściowego zmieniają się zgodnie ze stałą czasową  $\tau = RC$  (rys. 15). Czas pomiędzy 90% a 10% wartości wymuszenia nazywany jest często czasem opadania i jest równy w przybliżeniu 2.2 stałej czasowej ( $t_{90\%-10\%} = 2.2 \tau$ ).



Rys. 14: Układ różniczkujący z wymuszeniem w postaci impulsu [1]



Rys. 15: Odpowiedź układu różniczkującego RC na wymuszenie skokiem jednostkowym o amplitudzie  $U_M$  [2]

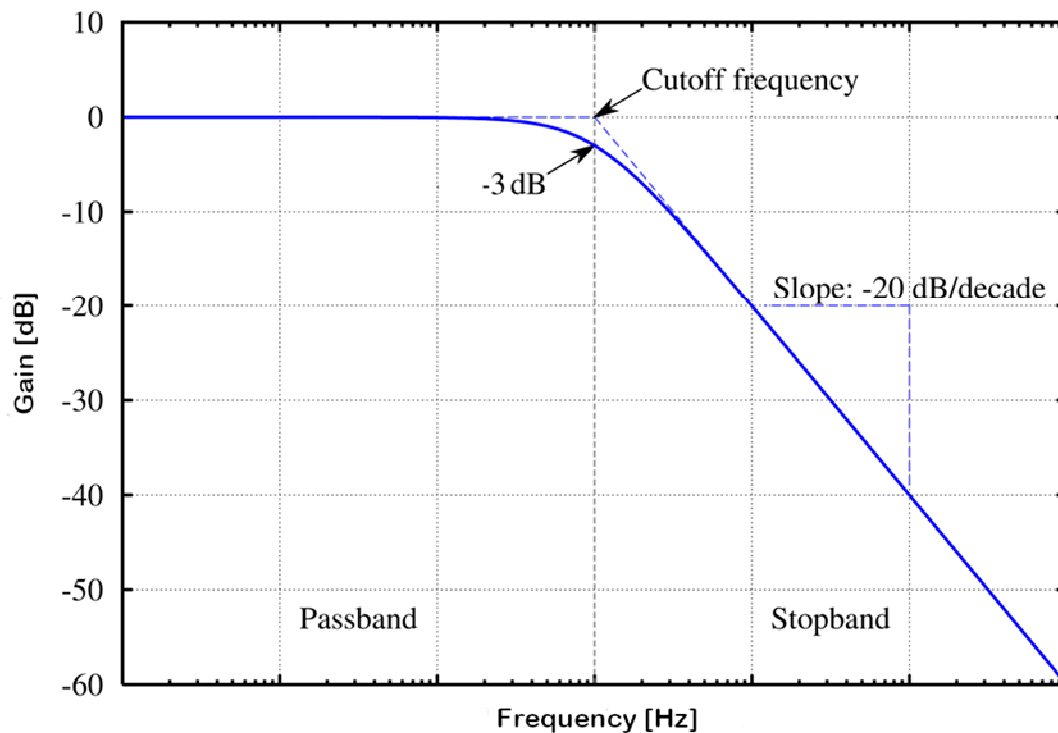
### 3.3 Filtr dolnoprzepustowy RC

Charakterystykę amplitudowo-częstotliwościową układu całkującego RC przedstawiono na rys.16. Jak widać można ją podzielić na dwie części: część o wzmacnieniu ok. 0 dB ( $k = 1$  V/V) oraz część, w której sygnał jest tłumiony o wzmacnieniu mniejszym od jedności ( $k < 1$  V/V). Dzięki takiej charakterystyce częstotliwościowej układ całkujący RC wykorzystywany jest jako pasywny filtr dolnoprzepustowy (pierwszego rzędu). Punkt przegięcia charakterystyki nazywany jest częstotliwością graniczną lub częstotliwością odcięcia. Wyznacza się go dla punktu w którym tłumienie wynosi -3 dB ( $\sqrt{2} \approx 0.71$ ). Związek stałej czasowej RC z częstotliwością graniczną jest następujący:

$$\omega_{-3dB} = \frac{1}{\tau}$$

$$2\pi f_{-3dB} = \frac{1}{\tau}$$

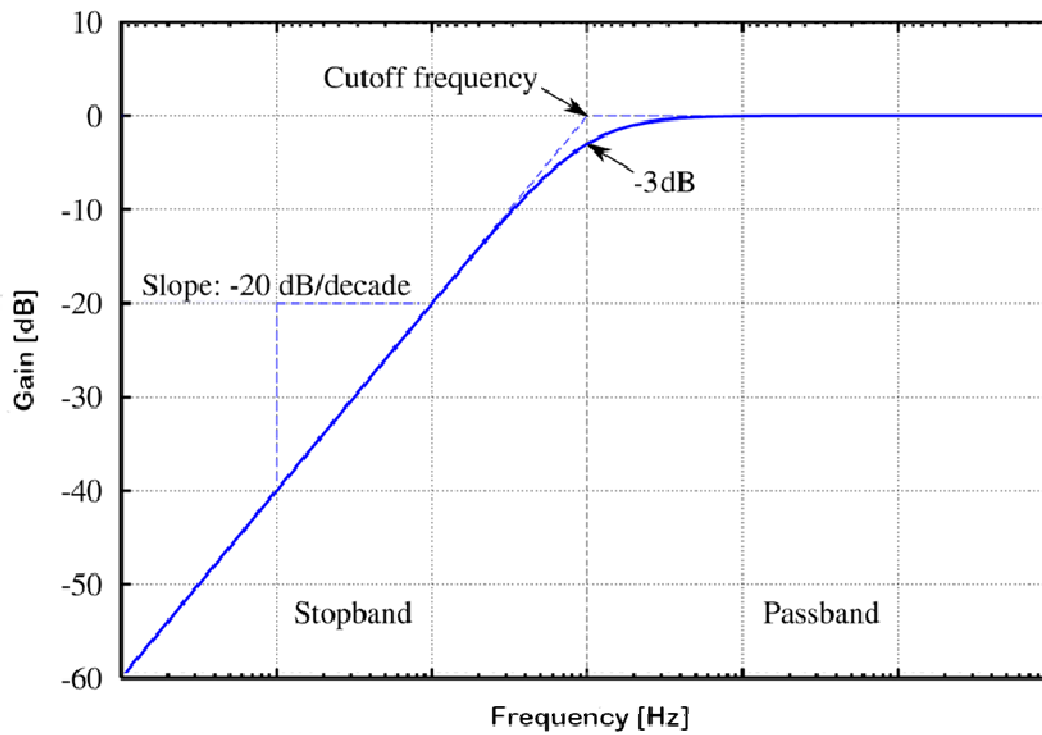
$$f_{-3dB} = \frac{1}{2\pi\tau}$$



Rys. 16: Charakterystyka amplitudowo-częstotliwościowa filtra dolnoprzepustowego RC

### 3.4 Filtr górnoprzepustowy RC

Charakterystykę amplitudowo-częstotliwościową układu różniczkującego RC przedstawiono na rys. 17. Podobnie jak w przypadku filtra dolnoprzepustowego, można ją podzielić na dwie części: część o wzmacnieniu ok. 0 dB ( $k = 1$  V/V) oraz część w której sygnał jest tłumiony o wzmacnieniu mniejszym od jedności ( $k < 1$  V/V). Dzięki takiej charakterystyce częstotliwościowej układ różniczkujący RC wykorzystywany jest jako pasywny filtr górnoprzepustowy (pierwszego rzędu). Punkt przegięcia charakterystyki nazywany jest częstotliwością graniczną lub częstotliwością odcięcia. Wyznacza się go dla punktu w którym tłumienie wynosi -3 dB ( $\sqrt{2} \approx 0.71$ ). Związek stałej czasowej RC z częstotliwością graniczną jest identyczny jak dla filtra dolnoprzepustowego RC.



Rys. 17: Charakterystyka amplitudowo- częstotliwościowa filtra górnoprzepustowego RC

---

## **4. LITERATURA**

[1] Laboratorium z podstawowych układów elektronicznych KL-210: Rozdział 2 – Prostowniki i filtry, Rozdział 4 – Układy różniczkujące i całkujące, Rozdział 5 – Właściwości tranzystora.

[2] Układy RLC oraz układ czasowy '555 - Konspekt do ćwiczeń laboratoryjnych z przedmiotu TECHNIKA CYFROWA; <http://layer.uci.agh.edu.pl/maglay/wrona>