

METODY MODULACJI W ENERGOELEKTRONICE

Program wykładów:

- 1 Wprowadzenie, typy modulacji w układach energoelektronicznych, parametry modulacji
- 2 Falownik 1-f w otwartym układzie regulacji z modulatorem analogowym realizującym modulację bipolarną
- 3 Falownik 1-f w otwartym układzie regulacji z modulatorem analogowym realizującym modulację unipolarną
- 4 Falownik 1-f w zamkniętym układzie regulacji z regulatorem i modulatorem
- 5 Falownika 1-f w zamkniętym układzie regulacji - metoda bezpośredniego kształtowania przebiegu prądu w układzie nadążnym
- 6 Falownik 3-f w otwartym układzie regulacji z obwodami modulatorów
- 7 Widmo sygnału
- 8 Zaliczenie

Zaliczenia przedmiotu:

- ① kolokwium realizowane na ostatnim wykładzie
- ② test w systemie eLearning Moodle lub eKursy

Konsultacje:

- ① zdalnie - wtorek, godz. 13.00-13.30 - <https://emeeting.put.poznan.pl/eMeeting/ada-fxn-ej4>
- ② na uczelni - piątek, godz. 9.00 - 10.00, sala 530 lub 622

METODY MODULACJI W ENERGOELEKTRONICE

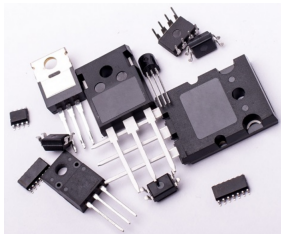
Energoelektronika

Energoelektronika

Wysokosprawne przetwarzanie parametrów energii elektrycznej

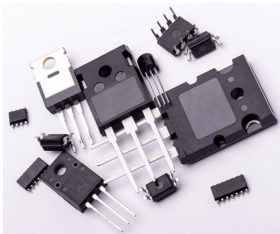
Energoelektronika

Wysokosprawne przetwarzanie parametrów energii elektrycznej



Energoelektronika

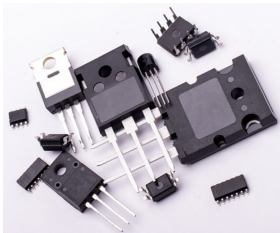
Wysokosprawne przetwarzanie parametrów energii elektrycznej



W układach energoelektronicznych elementy półprzewodnikowe mocy pracują dwustanowo (załącz, wyłącz).

Energoelektronika

Wysokosprawne przetwarzanie parametrów energii elektrycznej

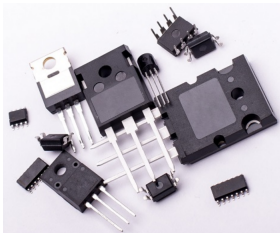


W układach energoelektronicznych elementy półprzewodnikowe mocy pracują dwustanowo (załącz, wyłącz).

W stanie załączenia i wyłączenia elementy półprzewodnikowe charakteryzują się stosunkowo małymi stratami.

Energoelektronika

Wysokosprawne przetwarzanie parametrów energii elektrycznej



W układach energoelektronicznych elementy półprzewodnikowe mocy pracują dwustanowo (załącz, wyłącz).

W stanie załączenia i wyłączenia elementy półprzewodnikowe charakteryzują się stosunkowo małymi stratami.

Modulacja

Modulacja

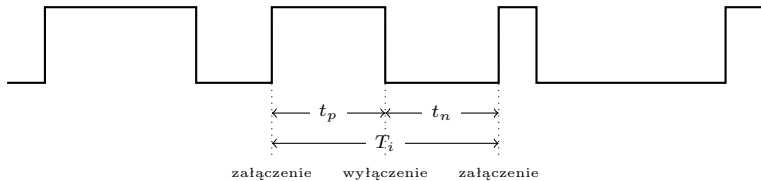
Samorzutna lub celowa zmiana parametrów sygnału

Modulacja

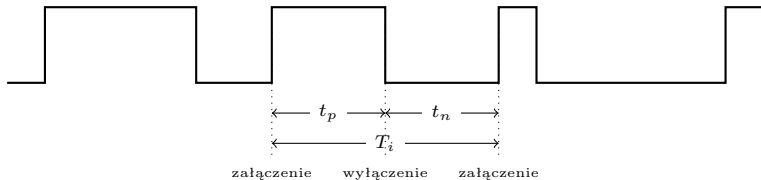
Samorzutna lub celowa zmiana parametrów sygnału

Ze względu na dwustanowy charakter pracy elementów półprzewodnikowych, odpowiednim typem modulacji wykorzystywanej do sterowania zaworami jest modulacja impulsowa szerokości impulsów (MSI- modulacja szerokości impulsów, ang. PWM – pulse width modulation)

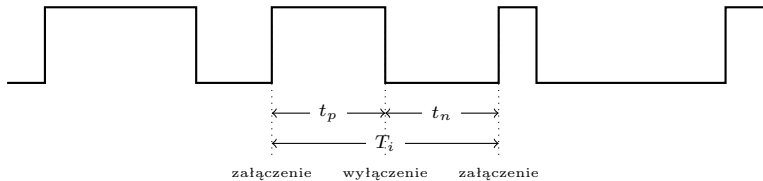
Przykładowy przebieg MSI

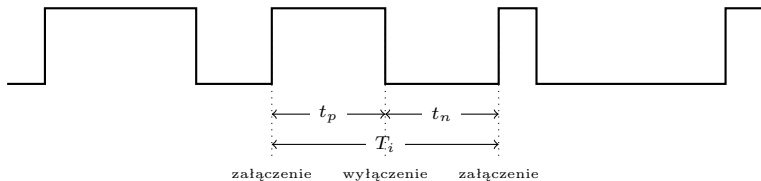


Przykładowy przebieg MSI

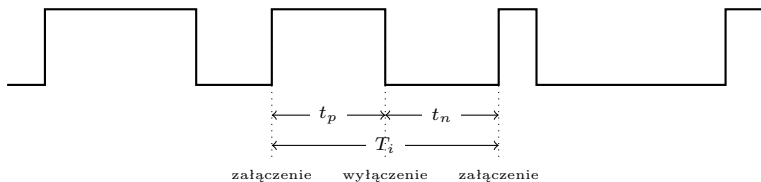


Przebieg MSI jest przebiegiem prostokątnym o stałej amplitudzie i modulowanej szerokości



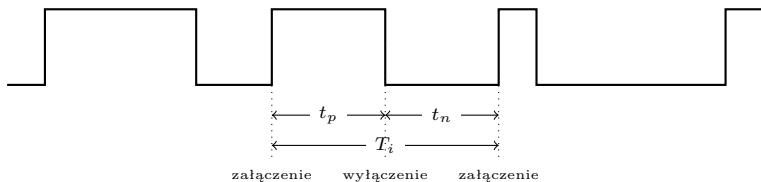


Przebieg MSI odzwierciedla dwustanowy charakter pracy zaworów:



Przebieg MSI odzwierciedla dwustanowy charakter pracy zaworów:

- aktywny stan wysoki - załączenie
- stan niski - wyłączenie

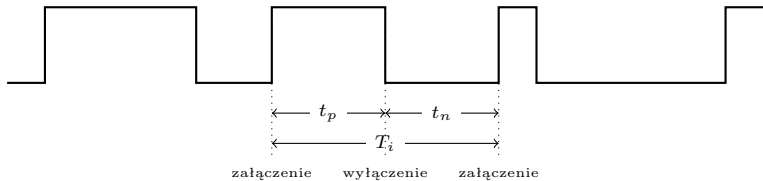


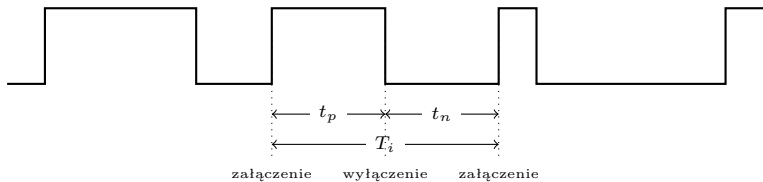
Przebieg MSI odzwierciedla dwustanowy charakter pracy zaworów:

- aktywny stan wysoki - załączenie
- stan niski - wyłączenie

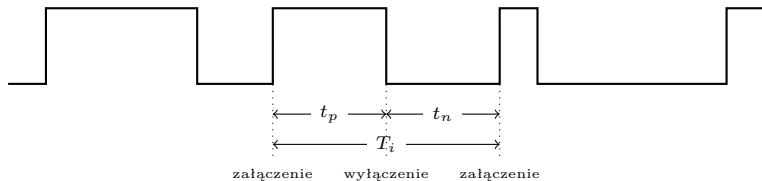
lub odwrotnie:

- stan wysoki - wyłączenie
- aktywny stan niski - załączenie



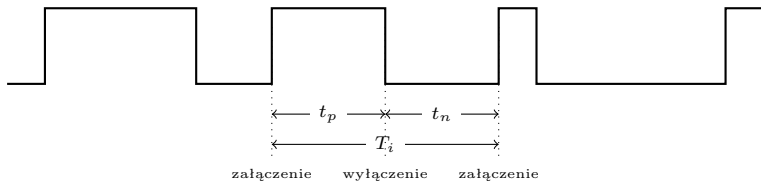


Parametry:



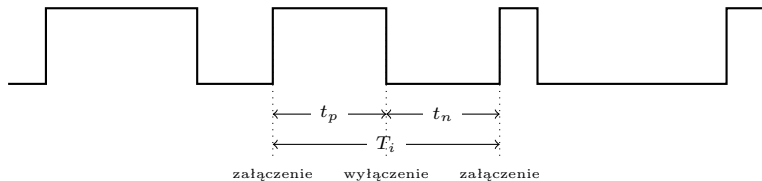
Parametry:

- t_p - czas przewodzenia



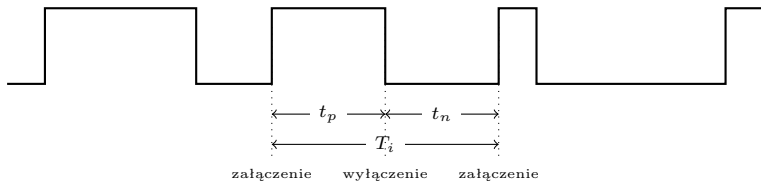
Parametry:

- t_p - czas przewodzenia
- t_n - czas nieprzewodzenia



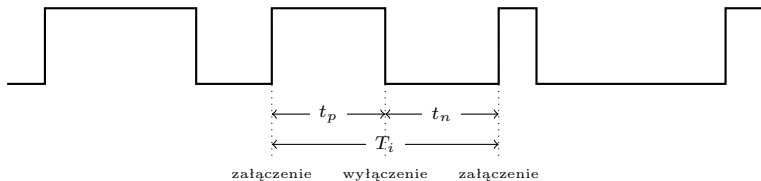
Parametry:

- t_p - czas przewodzenia
- t_n - czas nieprzewodzenia
- T_i - okres impulsowania



Parametry:

- t_p - czas przewodzenia
- t_n - czas nieprzewodzenia
- T_i - okres impulsowania
- $f_i = \frac{1}{T_i}$ - częstotliwość impulsowania



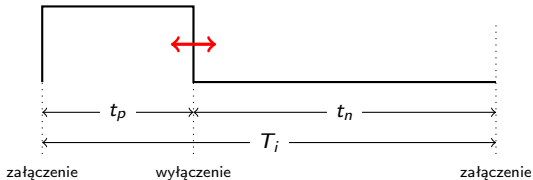
Parametry:

- t_p - czas przewodzenia
- t_n - czas nieprzewodzenia
- T_i - okres impulsowania
- $f_i = \frac{1}{T_i}$ - częstotliwość impulsowania
- $\delta_i = \frac{t_p}{T_i}$ - współczynnik wypełnienia, $\delta_i \in \langle 0, 1 \rangle$

Podział modulacji ze względu na zmienność wybranych parametrów:

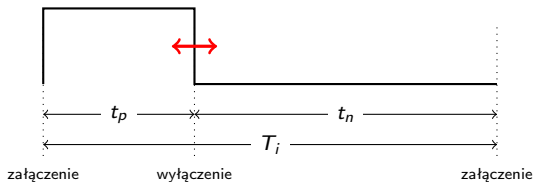
Podział modulacji ze względu na zmienność wybranych parametrów:

- **modulacja szerokości impulsów:** $t_p = var$, $T_i = const$

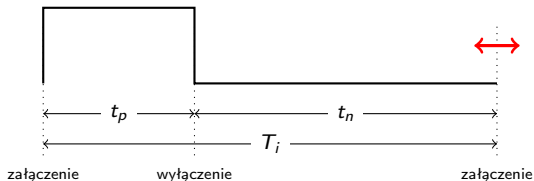


Podział modulacji ze względu na zmienność wybranych parametrów:

- **modulacja szerokości impulsów:** $t_p = \text{var}$, $T_i = \text{const}$



- **modulacja częstotliwości:** $t_p = \text{const}$, $T_i = \text{var}$



Podział modulacji ze względu na sposób generowania sygnału prostokątnego:

Podział modulacji ze względu na sposób generowania sygnału prostokątnego:

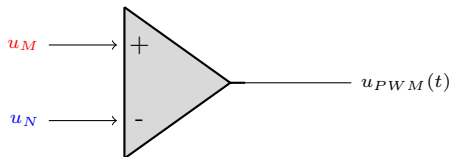
- **modulacja naturalna (analogowa)** - przebieg prostokątny uzyskany za pomocą analogowego układu elektronicznego

Podział modulacji ze względu na sposób generowania sygnału prostokątnego:

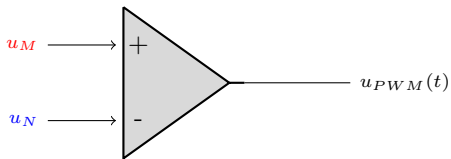
- **modulacja naturalna (analogowa)** - przebieg prostokątny uzyskany za pomocą analogowego układu elektronicznego
- **modulacja regularna (cyfrowa, dyskretna)** - przebieg prostokątny uzyskany na wyjściu cyfrowego układu elektronicznego, parametry przebiegu prostokątnego wyznaczone za pomocą formuł zapisanych w postaci algorytmu

Modulacja naturalna - realizacja modulatora

Komparator

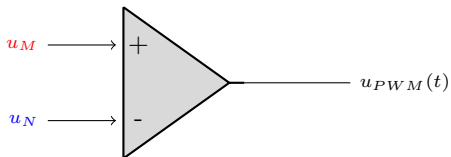


Komparator



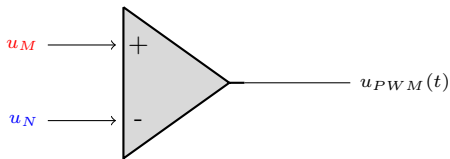
- $u_M(t)$ - przebieg modulujący

Komparator



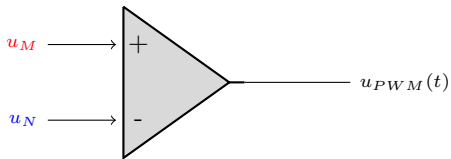
- $u_M(t)$ - przebieg modulujący
- $u_N(t)$ - przebieg nośny

Komparator

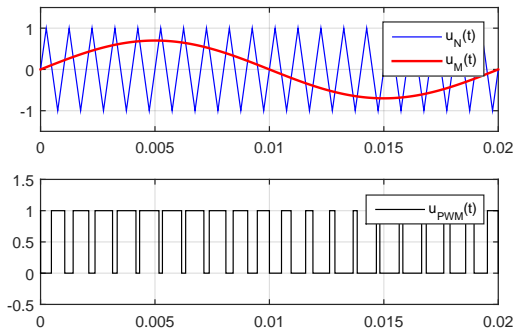
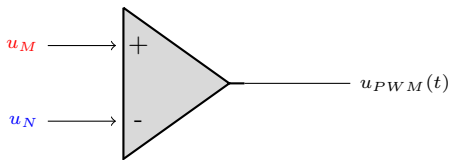


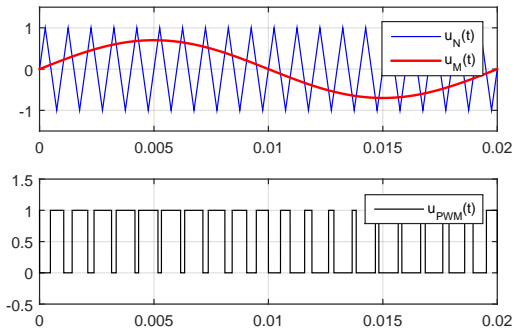
- $u_M(t)$ - przebieg modulujący
- $u_N(t)$ - przebieg nośny
- $u_{PWM}(t)$ - przebieg zmodulowany

Modulacja naturalna - przykładowe przebiegi

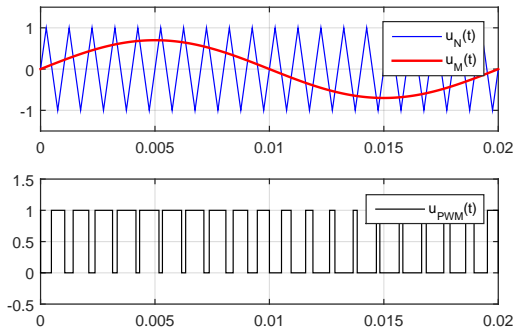


Modulacja naturalna - przykładowe przebiegi





Modulacja naturalna polega na porównaniu dwóch przebiegów, przebiegu **modulującego** i **nośnego**. Chwile zównań dwóch przebiegów wyznaczają chwile przełączeń tranzystorów - **przebieg zmodulowany**.



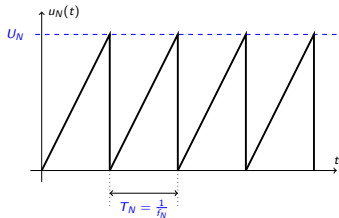
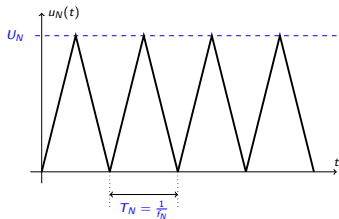
Modulacja naturalna polega na porównaniu dwóch przebiegów, przebiegu **modulującego** i **nośnego**. Chwile zównań dwóch przebiegów wyznaczają chwile przełączeń tranzystorów - **przebieg zmodulowany**.

Napięcie po modulacji ma postać ciągu impulsów o stałej amplitudzie i modulowanej szerokości.

Parametry modulacji

Sygnał nośny:

- kształt - trójkąt, piła
- amplituda - U_N
- częstotliwość - f_N



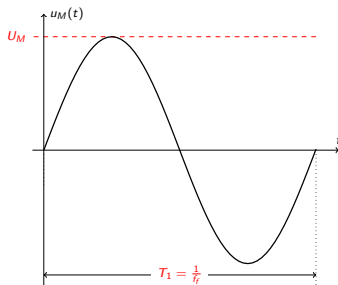
Parametry modulacji

Sygnał nośny:

- kształt - trójkąt, piła
- amplituda - U_N
- częstotliwość - f_N

Sygnał modulujący:

- kształt - sinus, trapez
- amplituda - U_M
- częstotliwość - f_1



Parametry modulacji

Sygnał nośny:

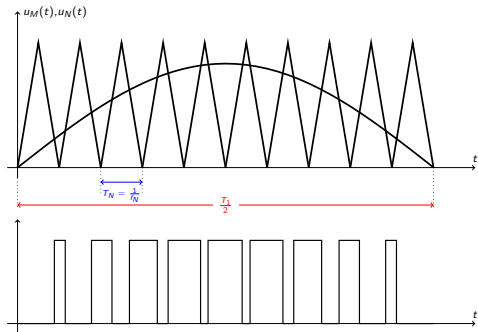
- kształt - trójkąt, piła
- amplituda - U_N
- częstotliwość - f_N

Sygnał modulujący:

- kształt - sinus, trapez
- amplituda - U_M
- częstotliwość - f_1

Współczynnik modulacji częstotliwości:

$$- m_f = \frac{f_N}{f_1} = \frac{T_1}{T_N} \gg 1$$



Parametry modulacji

Sygnał nośny:

- kształt - trójkąt, piła
- amplituda - U_N
- częstotliwość - f_N

Sygnał modulujący:

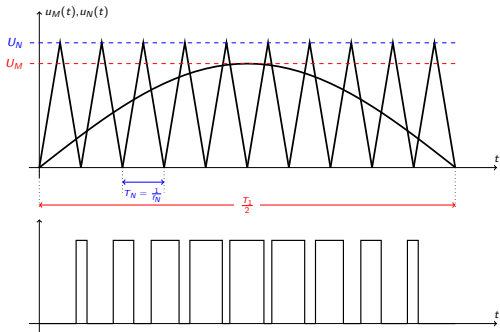
- kształt - sinus, trapez
- amplituda - U_M
- częstotliwość - f_1

Współczynnik modulacji częstotliwości:

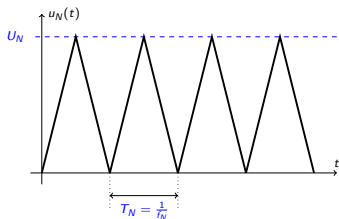
$$- m_f = \frac{f_N}{f_1} = \frac{T_1}{T_N} \gg 1$$

Współczynnik modulacji amplitudy:

- $m_a = \frac{U_M}{U_N}$
- gdy $m_a > 1$ - nadmodulacja

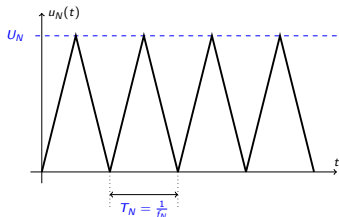


- Modułacja dwustronna - przebieg nośny trójkątny

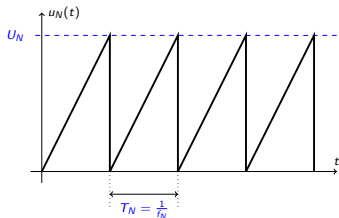


Rodzaje modulacji cd.

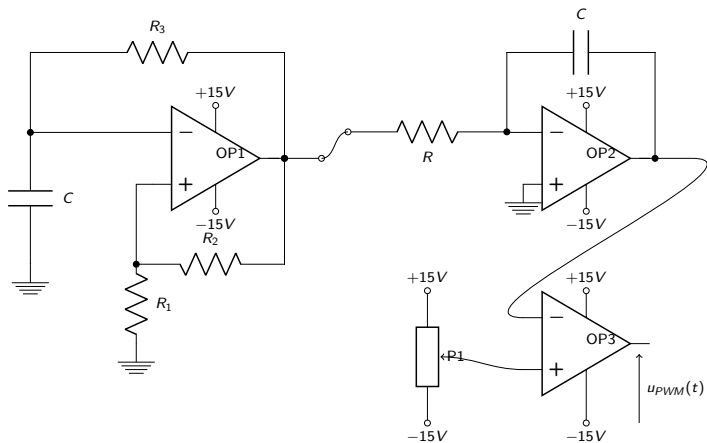
- Modulacja dwustronna - przebieg nośny trójkątny



- Modulacja jednostronna, prawostronna - przebieg nośny piłokształtny

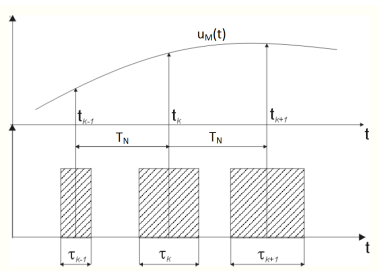


Przykład modulatora analogowego



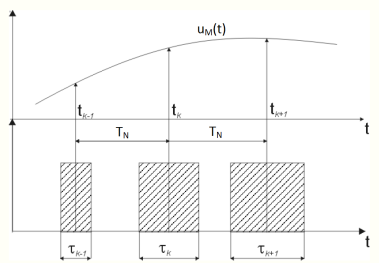
Modulacja regularna

W układach analogowych stosuje się modulację naturalną, natomiast tam gdzie wykonywane jest sterowanie cyfrowe, używa się modulacji regularnej.

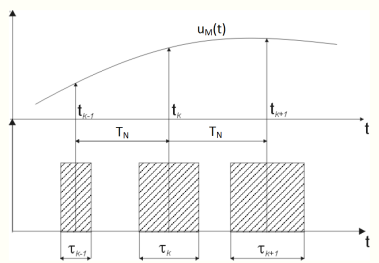


Istotą modulacji regularnej jest proces przetwarzania próbek sygnału modulującego $u_M(t)$ pobieranych w regularnych odstępach czasu $t_k = kT_N$ w impulsy o stałej amplitudzie i szerokości proporcjonalnej do wartości danej próbki sygnału.

Modulacija regularna

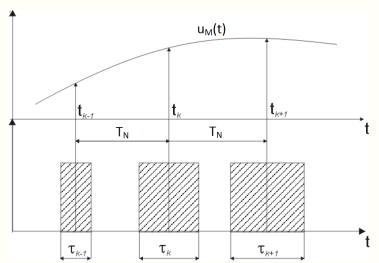


Modulacja regularna



Rezultatem procesu regularnego próbkowania sygnału modulującego są impulsy o środkach podstawy umieszczonych w równych odstępach czasu i precyzyjnie określonych szerokościach.

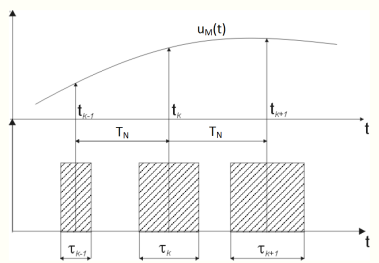
Modulacja regularna



Rezultatem procesu regularnego próbkowania sygnału modulującego są impulsy o środkach podstawy umieszczonych w równych odstępach czasu i precyzyjnie określonych szerokościach.

$$\tau_k = m_a T_N u_M(t_k)$$

Modulacja regularna

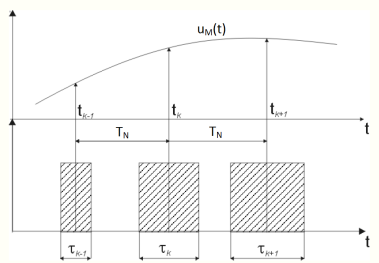


Rezultatem procesu regularnego próbkowania sygnału modulującego są impulsy o środkach podstawy umieszczonych w równych odstępach czasu i precyzyjnie określonych szerokościach.

$$\tau_k = m_a T_N u_M(t_k)$$

gdzie:

Modulacja regularna

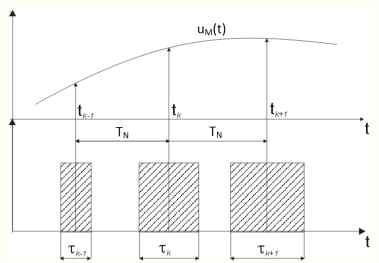


Rezultatem procesu regularnego próbkowania sygnału modulującego są impulsy o środkach podstawy umieszczonych w równych odstępach czasu i precyzyjnie określonych szerokościach.

$$\tau_k = m_a T_N u_M(t_k)$$

gdzie: m_a - współczynnik głębokości modulacji amplitudy,

Modulacja regularna

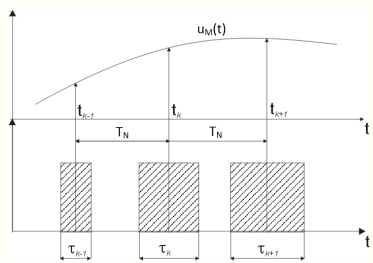


Rezultatem procesu regularnego próbkowania sygnału modulującego są impulsy o środkach podstawy umieszczonych w równych odstępach czasu i precyzyjnie określonych szerokościach.

$$\tau_k = m_a T_N u_M(t_k)$$

gdzie: m_a - współczynnik głębokości modulacji amplitudy, T_N - okres wyznaczania szerokości przebiegów prostokątnych,

Modulacja regularna

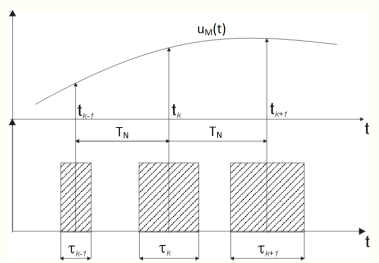


Rezultatem procesu regularnego próbkowania sygnału modulującego są impulsy o środkach podstawy umieszczonych w równych odstępach czasu i precyzyjnie określonych szerokościach.

$$\tau_k = m_a T_N u_M(t_k)$$

gdzie: m_a - współczynnik głębokości modulacji amplitudy, T_N - okres wyznaczania szerokości przebiegów prostokątnych, $u_M(t_k)$ - wartość przebiegu modulującego w chwili t_k ,

Modulacja regularna

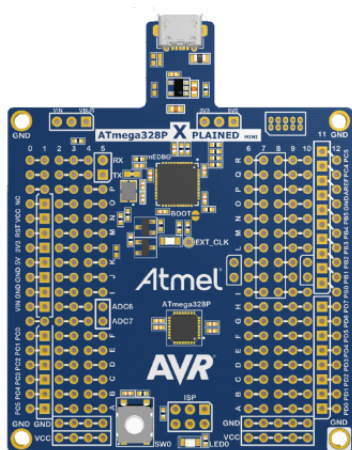


Rezultatem procesu regularnego próbkowania sygnału modulującego są impulsy o środkach podstawy umieszczonych w równych odstępach czasu i precyzyjnie określonych szerokościach.

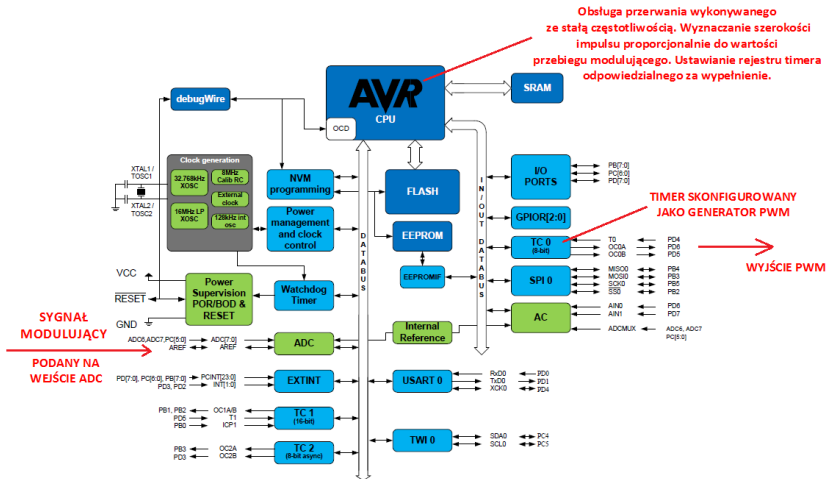
$$\tau_k = m_a T_N u_M(t_k)$$

gdzie: m_a - współczynnik głębokości modulacji amplitudy, T_N - okres wyznaczania szerokości przebiegów prostokątnych, $u_M(t_k)$ - wartość przebiegu modulującego w chwili t_k , zakładając że dla każdego $u_M(t_k) \in \langle 0, 1 \rangle$

Przykład realizacji modulacji regularnej (cyfrowej)

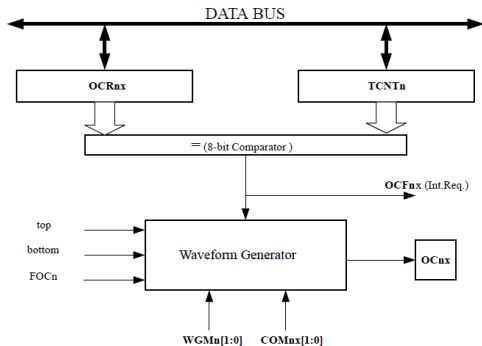


Przykład realizacji modulacji regularnej (cyfrowej)



Przykład realizacji modulacji regularnej (cyfrowej)

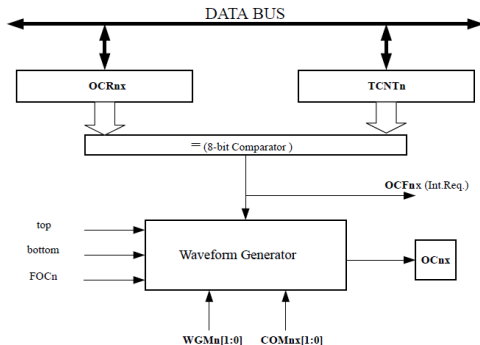
Figure 19-3. Output Compare Unit, Block Diagram



Generator PWM:

Przykład realizacji modulacji regularnej (cyfrowej)

Figure 19-3. Output Compare Unit, Block Diagram

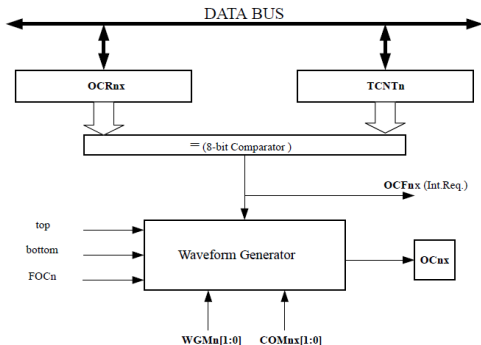


Generator PWM:

- 8-bitowy rejestr TCNTn porówny z 8-bitowym rejestrem OCRnx przez 8-bitowy komparator cyfrowy

Przykład realizacji modulacji regularnej (cyfrowej)

Figure 19-3. Output Compare Unit, Block Diagram

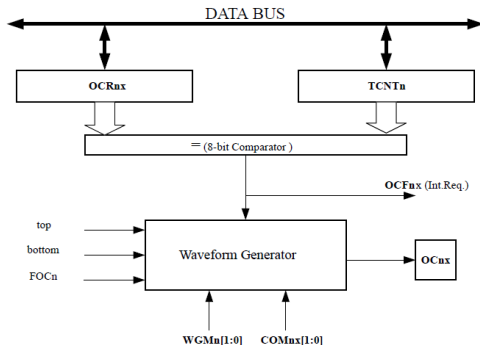


Generator PWM:

- 8-bitowy rejestr TCNTn porówny z 8-bitowym rejestrem OCRnx przez 8-bitowy komparator cyfrowy
- Automatycznie zmieniający się rejestr TCNTn jest odpowiednikiem **przebiegu nośnego**

Przykład realizacji modulacji regularnej (cyfrowej)

Figure 19-3. Output Compare Unit, Block Diagram



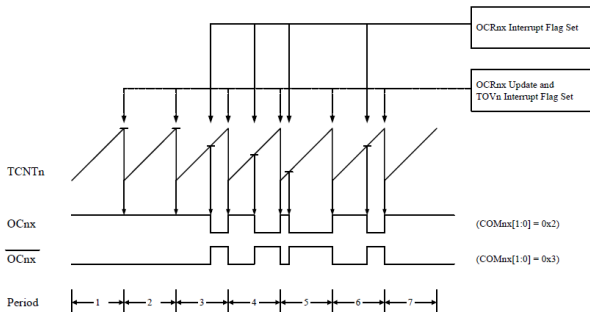
Generator PWM:

- 8-bitowy rejestr TCNTn porówny z 8-bitowym rejestrem OCRnx przez 8-bitowy komparator cyfrowy
- Automatycznie zmieniający się rejestr TCNTn jest odpowiednikiem **przebiegu nośnego**
- Ustawiany przez program rejestr OCRnx jest odpowiednikiem **przebiegu modulującego**

Modulacja regularna (cyfrowa) - przebiegi

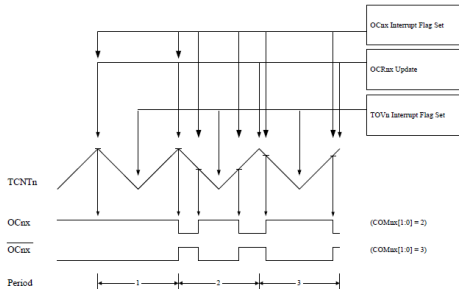
- left aligned pwm:

Figure 19-6. Fast PWM Mode, Timing Diagram



- center aligned pwm (phase correct pwm):

Figure 19-7. Phase Correct PWM Mode, Timing Diagram



Modulacja regularna (cyfrowa)

- **Single update PWM method** - wartość rejestru OCR_nx odpowiedzialnego za wypełnienia aktualizowana jest raz na okres p_{wm}

- **Single update PWM method** - wartość rejestru OCRnx odpowiedzialnego za wypełnienia aktualizowana jest raz na okres pwm
- **Double update PWM method** - wartość rejestru OCRnx odpowiedzialnego za wypełnienia aktualizowana jest dwa razy na okres pwm

- Energoelektronika
- Modulacja

- Energoelektronika
- Modulacja
- Modulacja impulsowa MIS (PWM)

- Energoelektronika
- Modulacja
- Modulacja impulsowa MIS (PWM)
- Modulacja szerokości impulsów i modulacja częstotliwości

- Energoelektronika
- Modulacja
- Modulacja impulsowa MIS (PWM)
- Modulacja szerokości impulsów i modulacja częstotliwości
- Modulacja naturalna (analogowa) i modulacja regularna (cyfrowa, dyskretna)

- Energoelektronika
- Modulacja
- Modulacja impulsowa MIS (PWM)
- Modulacja szerokości impulsów i modulacja częstotliwości
- Modulacja naturalna (analogowa) i modulacja regularna (cyfrowa, dyskretna)
- Modulacja jednostronna i dwustronna

- Energoelektronika
- Modulacja
- Modulacja impulsowa MIS (PWM)
- Modulacja szerokości impulsów i modulacja częstotliwości
- Modulacja naturalna (analogowa) i modulacja regularna (cyfrowa, dyskretna)
- Modulacja jednostronna i dwustronna
- left aligned pwm, center aligned pwm

- Energoelektronika
- Modulacja
- Modulacja impulsowa MIS (PWM)
- Modulacja szerokości impulsów i modulacja częstotliwości
- Modulacja naturalna (analogowa) i modulacja regularna (cyfrowa, dyskretna)
- Modulacja jednostronna i dwustronna
- left aligned pwm, center aligned pwm
- Single update PWM method, double update PWM method

Dziękuję za uwagę.