Laboratorium Energoelektroniki

mgr inż. Adam Gulczyński

adam.gulczynski@put.poznan.pl
p.530
Instytut Elektrotechniki i Elektroniki Przemysłowej
Zakład Energoelektroniki i Sterowania

Poznań, 14 października 2020

Laboratorium Energoelektroniki

Program ćwiczeń

Seminarium 1

1 Cylk ćwiczeń

1.1 Tyrystorowe układy prostownikowe jednofazowe

1.2 1 – fazowe regulatory tyrystorowe napięcia przemiennego

1.3 Prostownikowe układy tyrystorowe trójfazowe

Seminarium 2

2 Cylk ćwiczeń

2.1 Tyrystorowe regulatory impulsowe napięcia stałego

2.2 Przetwornica impulsowa DC-DC typu buck

2.3 Przetwornica impulsowa DC-DC typu boost

Seminarium 3

3 Cylk ćwiczeń

3.1 1-f falownik napięcia

3.2 3-f falownik tranzystorowy PWM

3.3 Zasilacz AC/DC o sinusoidalnym prądzie wejściowym

Zaliczenie

Zaliczenie poprawkowe

Sprawy organizacyjne - adresy

www.zeis.pl

- **Instrukcje, Filmy** - www.zeis.pl → Dla studentów → Laboratoria → Laboratorium Energoelektroniki
- **Prezentacje** - www.zeis.pl → Pracownicy → Adam Gulczyński → Materiały dla studentów

Sprawy organizacyjne

Ogólne:

- lista osób
- kontakt do starosty grupy

Sprawy organizacyjne

Ogólne:

- lista osób
- kontakt do starosty grupy

Sprawozdania:

- wykonywane indywidualnie
- w zwięzłej formie, z przemyślanymi rzeczowymi wnioskami
- ilość wykonanych sprawozdań przez jedną osobę ≥ 2,

Sprawy organizacyjne

Ogólne:

- lista osób
- kontakt do starosty grupy

Sprawozdania:

- wykonywane indywidualnie
- w zwięzłej formie, z przemyślanymi rzeczowymi wnioskami
- ilość wykonanych sprawozdań przez jedną osobę ≥ 2,

Zaliczenie przedmiotu:

- uzyskanie pozytywnych ocen ze sprawozdań
- uzyskanie pozytywnej oceny w czasie zaliczenia końcowego (test emudle)

Sprawy organizacyjne

Ogólne:

- lista osób
- kontakt do starosty grupy

Sprawozdania:

- wykonywane indywidualnie
- w zwięzłej formie, z przemyślanymi rzeczowymi wnioskami
- ilość wykonanych sprawozdań przez jedną osobę ≥ 2,

Zaliczenie przedmiotu:

- uzyskanie pozytywnych ocen ze sprawozdań
- uzyskanie pozytywnej oceny w czasie zaliczenia końcowego (test emudle)

Pomoce naukowe:

- Instrukcje, Filmy - www.zeis.pl $\rightarrow$ Dla studentów
- Prezentacje - www.zeis.pl $\rightarrow$ Pracownicy $\rightarrow$ Adam Gulczyński
- Literatura

Sprawy organizacyjne

Ogólne:

- lista osób
- kontakt do starosty grupy

Sprawozdania:

- wykonywane indywidualnie
- w zwięzłej formie, z przemyślanymi rzeczowymi wnioskami
- ilość wykonanych sprawozdań przez jedną osobę ≥ 2,

Zaliczenie przedmiotu:

- uzyskanie pozytywnych ocen ze sprawozdań
- uzyskanie pozytywnej oceny w czasie zaliczenia końcowego (test emudle)

Pomoce naukowe:

- Instrukcje, Filmy - www.zeis.pl $\rightarrow$ Dla studentów
- Prezentacje - www.zeis.pl $\rightarrow$ Pracownicy $\rightarrow$ Adam Gulczyński
- Literatura

Konsultacje:

- Online - środa 9.30 - 9.45 emeeting
- Online - środa 13.00 - 13.30 emeeting

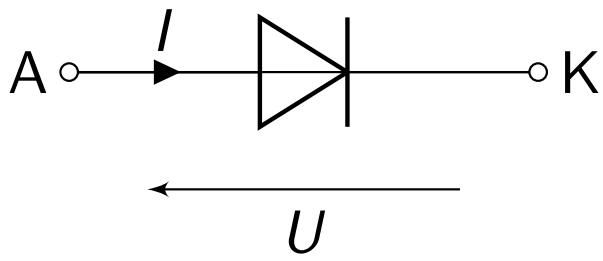
Literatura

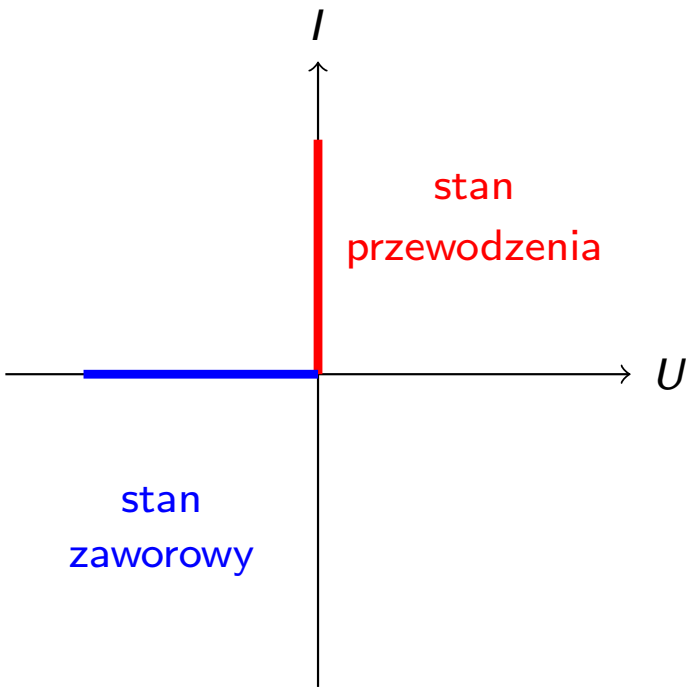
Leszek
Frąckowiak
Energoelektronika
Część 2
wydawnictwo
politechniki
poznańskiej

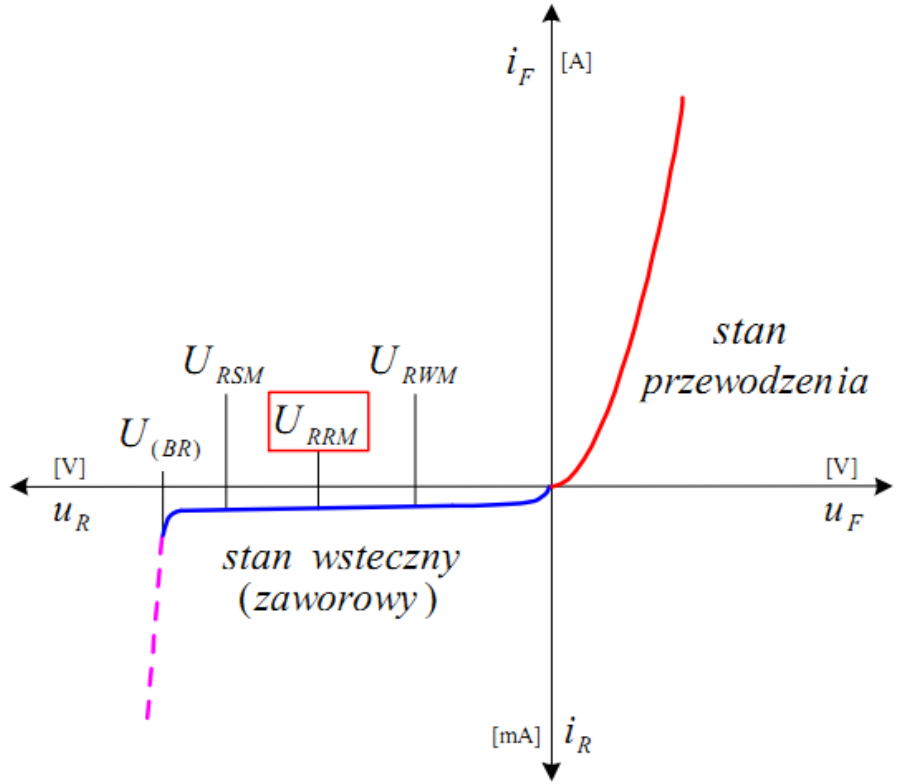
ENERGOELEKTRONIKA

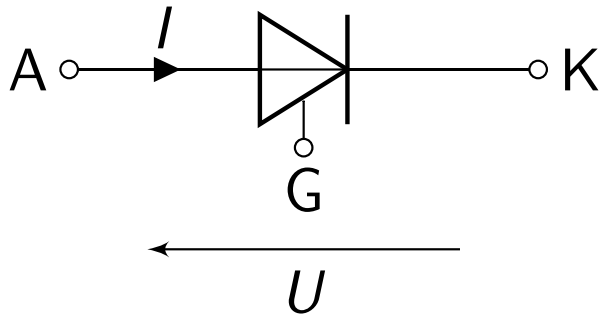
ENERGOELEKTRONIKA

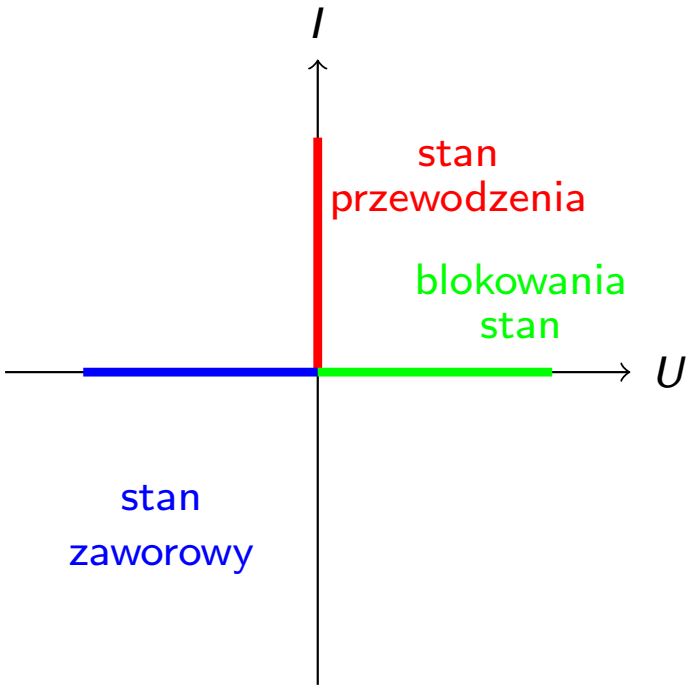
?

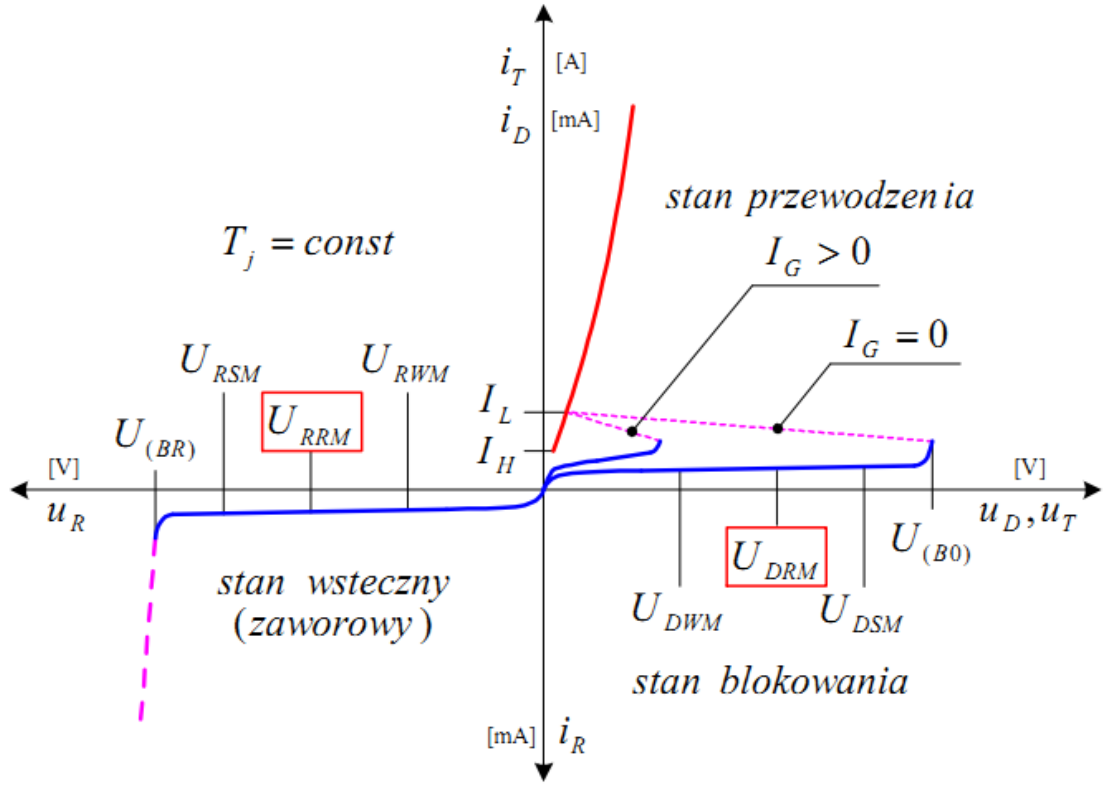

A
I
K
U

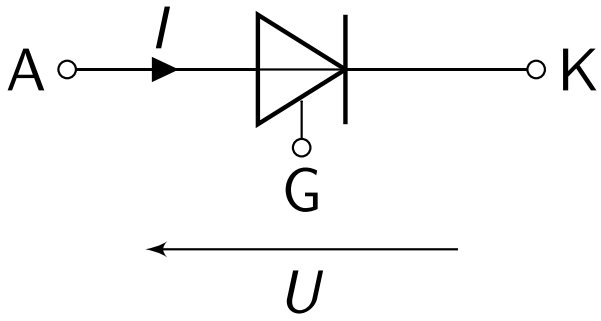

I
stan
przewodzenia
U
stan
zaworowy


i_F [A]
U_{RSM}
U_{RWM}
U_{RRM}
$U_{(BR)}$
[V]
u_R
[V]
u_F
stan
przewodzenia
stan wsteczny
(zaworowy)
[mA]
i_R

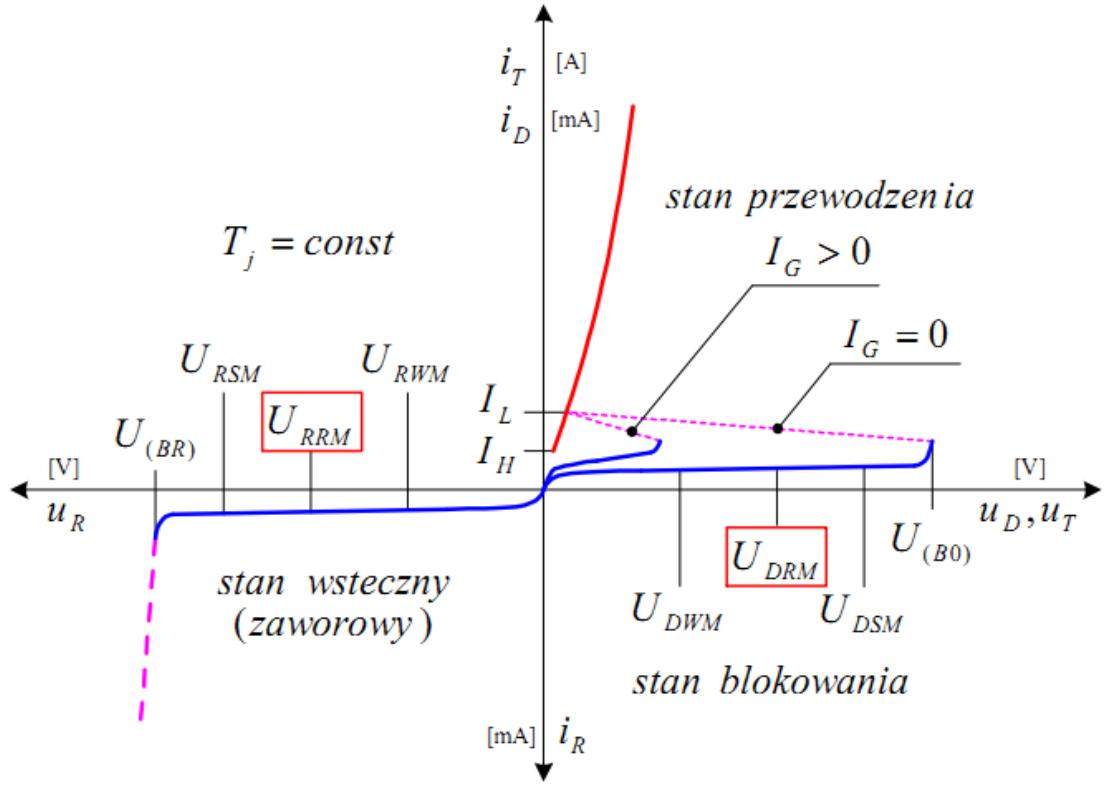

A
I
K
G
U

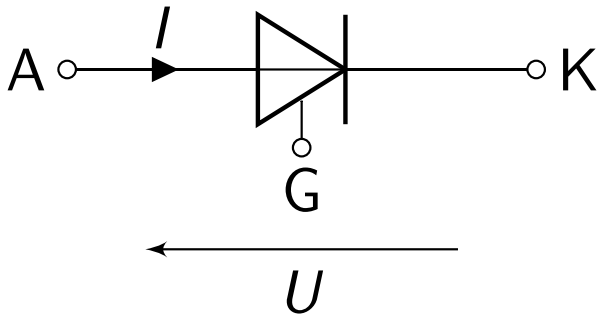

I
stan
przewodzenia
blokowania
stan
U
stan
zaworowy


i_T [A]
i_D [mA]
$T_j = const$
stan przewodzenia
$I_G > 0$
$I_G = 0$
U_{RSM}
U_{RWM}
U_{RRM}
$U_{(BR)}$
I_L
I_H
[V]
u_R
[V]
u_D, u_T
U_{DRM}
$U_{(B0)}$
U_{DWM}
U_{DSM}
stan wsteczny
(zaworowy)
stan blokowania
[mA]
i_R



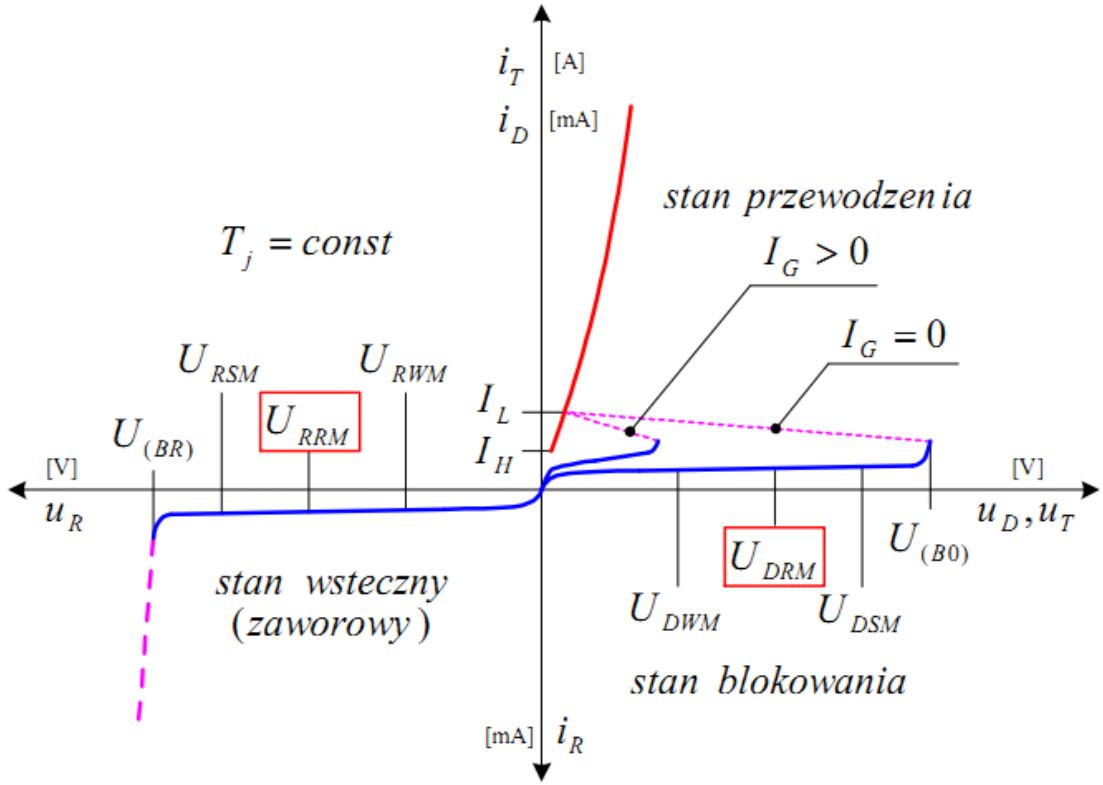
Jak wyłączyć tyrystor?





Jak wyłączyć tyrystor?

- zmniejszyć prąd tyrystora do zera
- utrzymać przez pewien czas na tyrystorze napięcie mniejsze lub równe zero



Przyrządy półprzewodnikowe mocy - przyrządy półprzewodnikowe które pracują dwustanowo

Przyrządy półprzewodnikowe mocy - przyrządy półprzewodnikowe które pracują dwustanowo

Cechy zaworów:

- dwa stabilne stany pracy - przewodzenia i nieprzewodzenia,
- jednokierunkowe przewodzenie,
- do sterowania służy bramka.

Program ćwiczeń - Cykl 1

1. 1-fazowy prostownik tyrystorowy
2. Sterownik napięcia przemiennego
3. 3-fazowy prostownik mostkowy

Program ćwiczeń - Cykl 1

1. 1-fazowy prostownik tyrystorowy
2. Sterownik napięcia przemiennego
3. 3-fazowy prostownik mostkowy

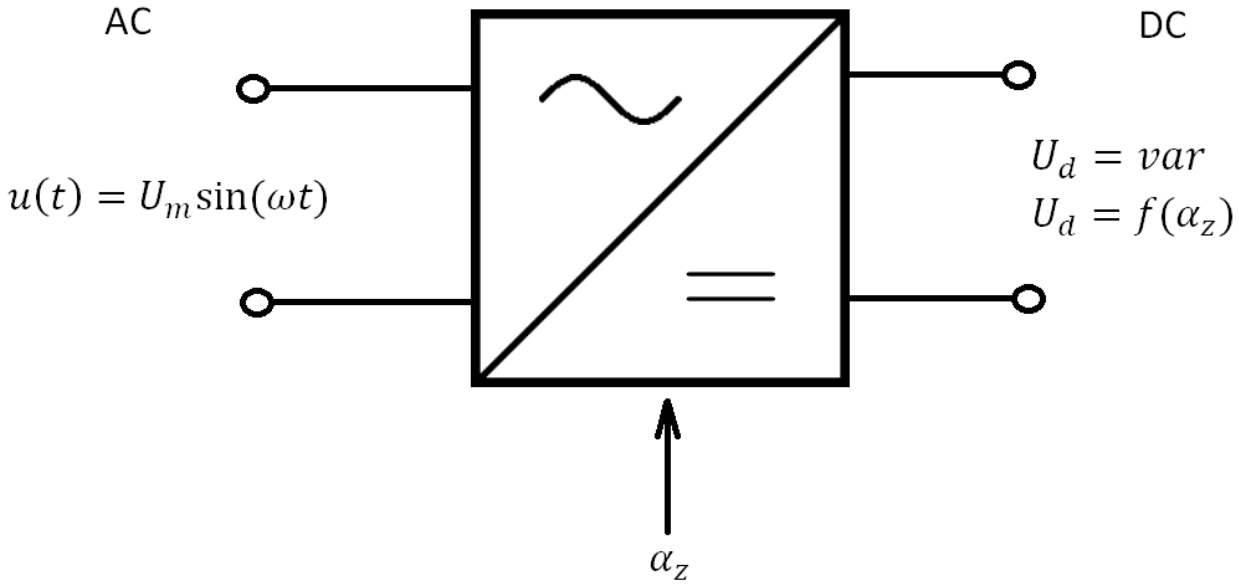
Jaki sposób sterowania stosowany jest do wyżej wymienionych układów?

Program ćwiczeń - Cykl 1

1. 1-fazowy prostownik tyrystorowy
2. Sterownik napięcia przemiennego
3. 3-fazowy prostownik mostkowy

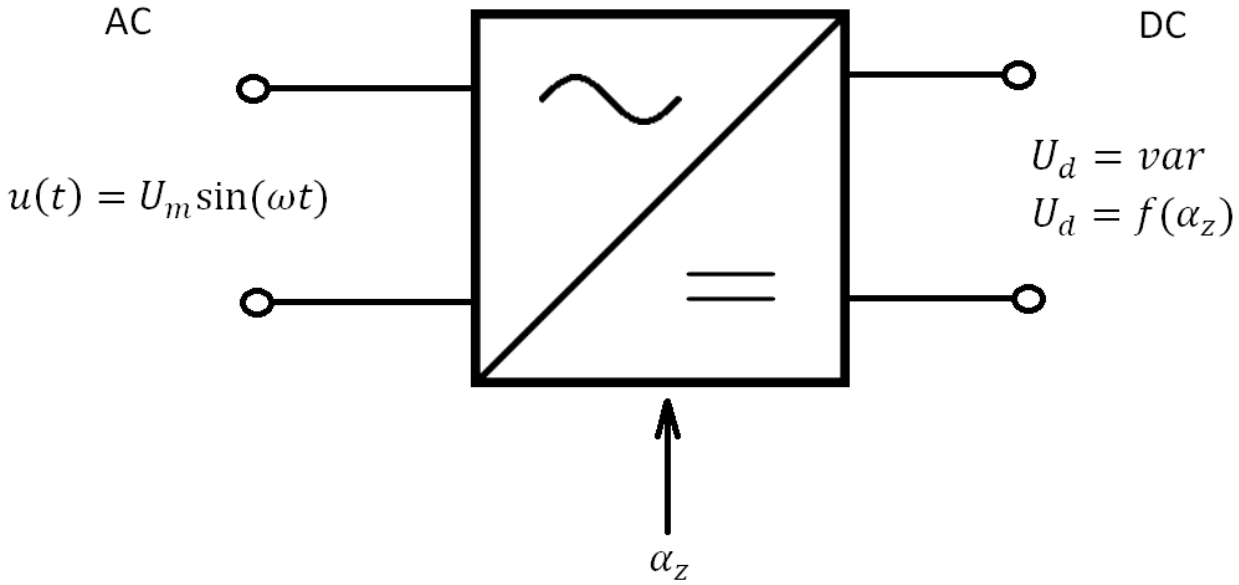
Jaki sposób sterowania stosowany jest do wyżej wymienionych układów?

Sterowanie fazowe - polega na zmianie wartości wielkości wyjściowej przekształtnika (np. napięcia lub prądu wyprostowanego, mocy odbiornika) przez przesuwanie fazy impulsów wyzwalających załączenie tyrystorów w stosunku do fazy napięcia zasilania.



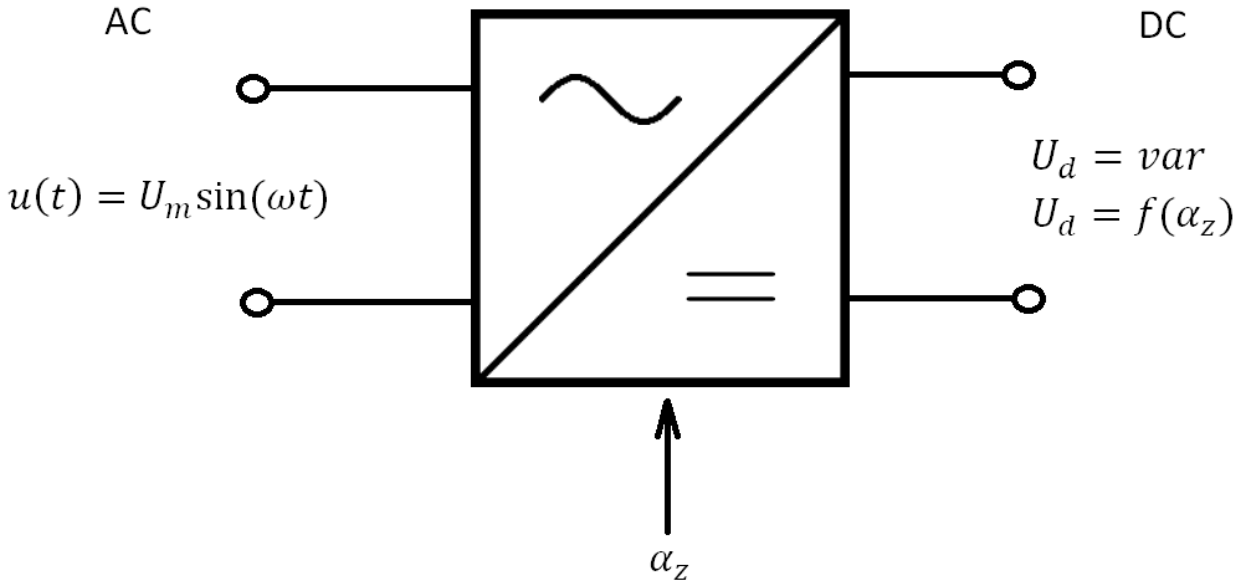
Rysunek: Symbol prostownika

α_z?



Rysunek: Symbol prostownika

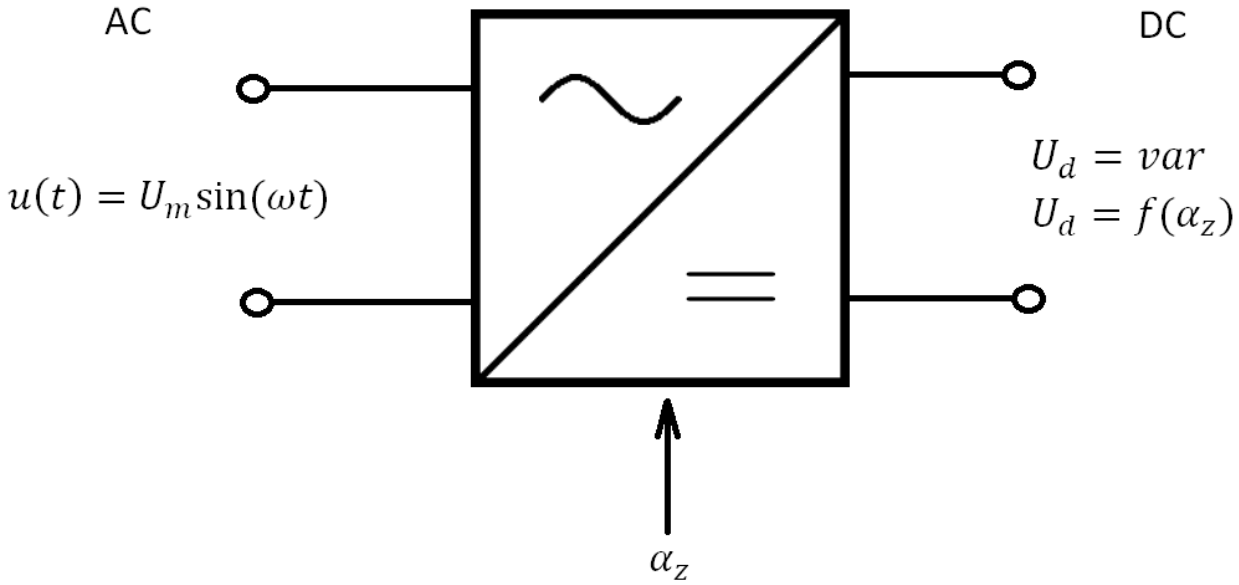
α_z? - kąt załączenia, kąt odpowiadający czasowi opóźnienia załączenia tyrystora licząc od punktu komutacji swobodnej



Rysunek: Symbol prostownika

α_z? - kąt załączenia, kąt odpowiadający czasowi opóźnienia załączenia tyrystora licząc od punktu komutacji swobodnej

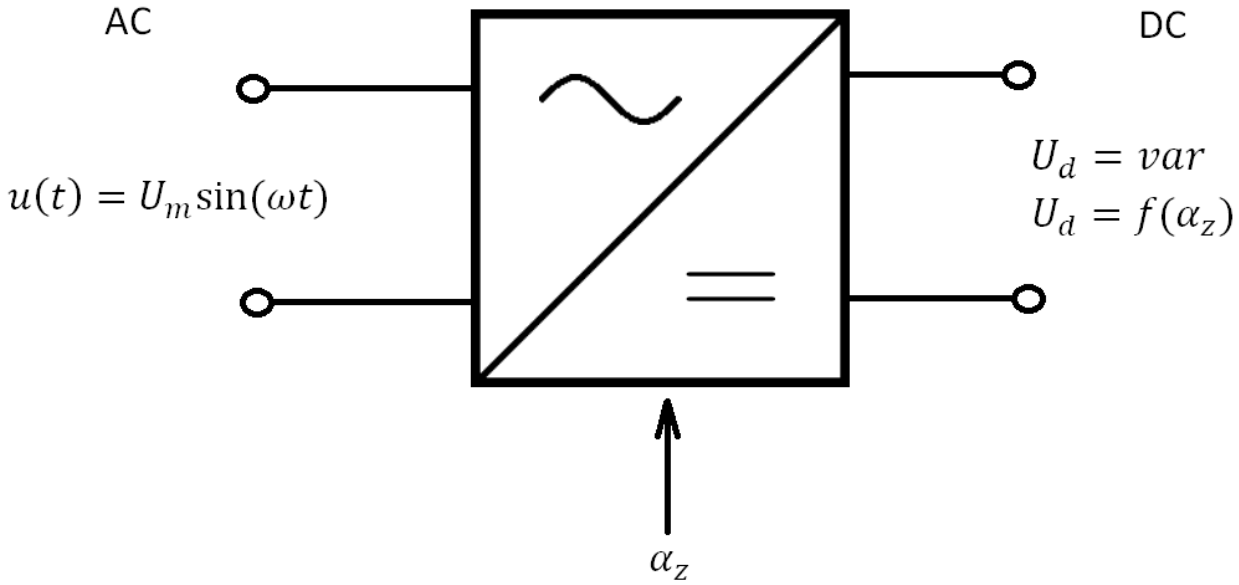
U_d?



Rysunek: Symbol prostownika

α_z? - kąt załączenia, kąt odpowiadający czasowi opóźnienia załączenia tyrystora licząc od punktu komutacji swobodnej

U_d? - wartość średnia, składowa stała

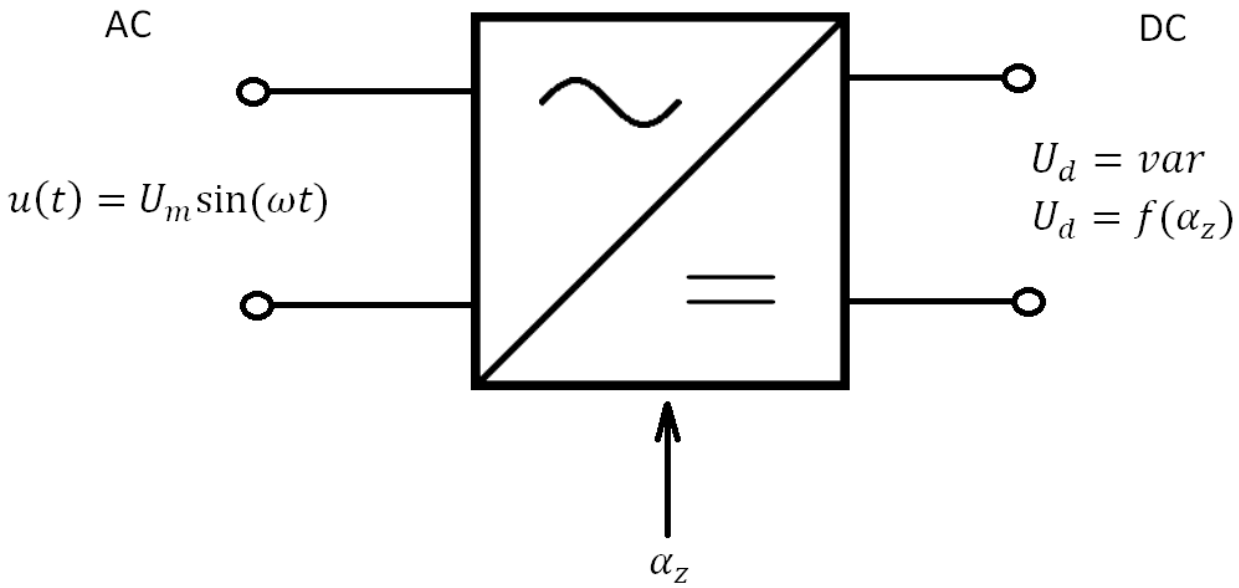


Rysunek: Symbol prostownika

α_z? - kąt załączenia, kąt odpowiadający czasowi opóźnienia załączenia tyrystora licząc od punktu komutacji swobodnej

U_d? - wartość średnia, składowa stała

U_{d0}?



Rysunek: Symbol prostownika

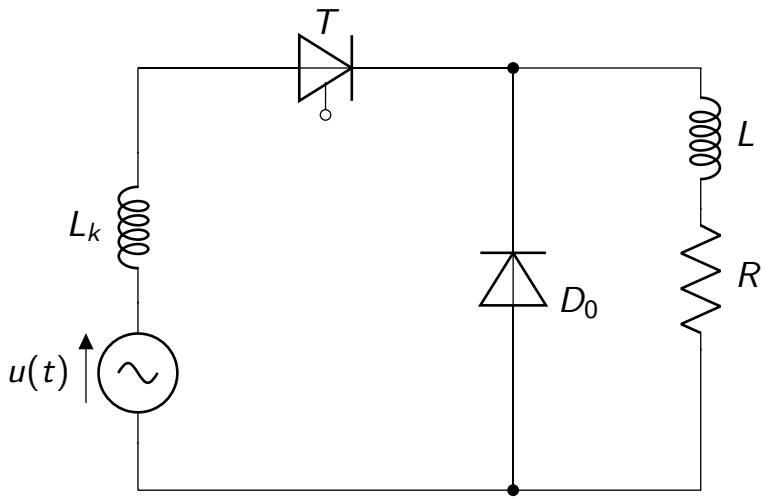
α_z? - kąt załączenia, kąt odpowiadający czasowi opóźnienia załączenia tyrystora licząc od punktu komutacji swobodnej

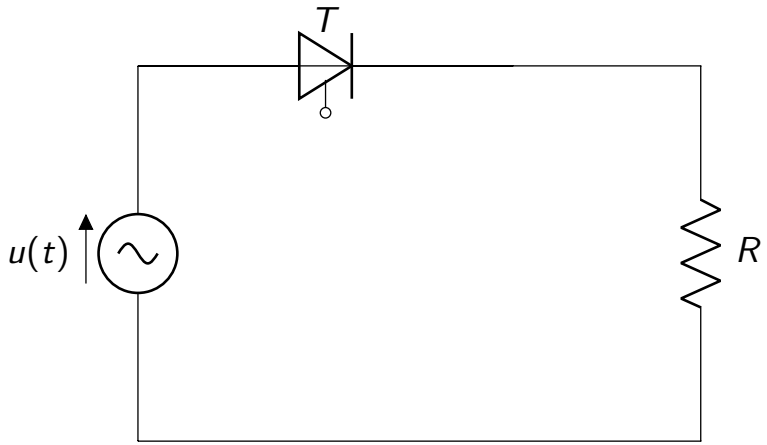
U_d? - wartość średnia, składowa stała

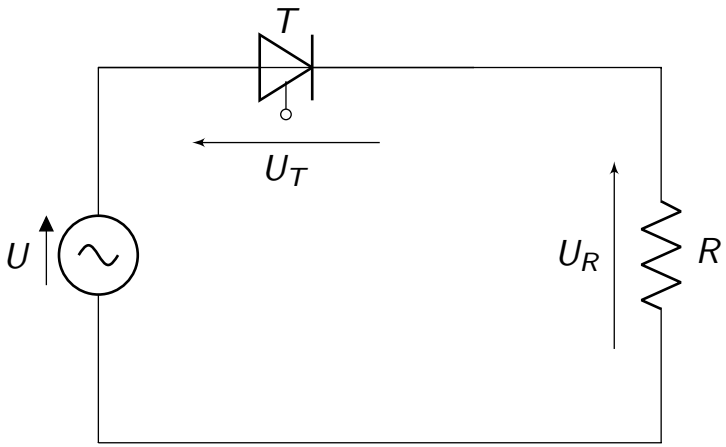
U_{d0}? -wartość średnia dla $\alpha_z = 0$

Schemat układu?

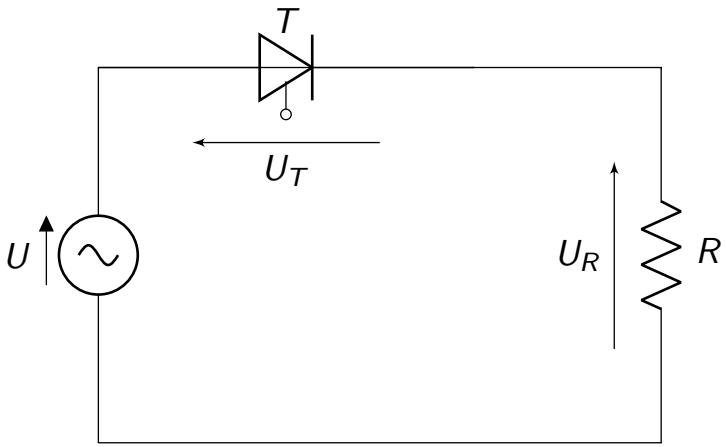
1-fazowy, 1-kierunkowy, 1-pulsowy, sterowany układ prostownikowy z diodą zerową i indukcyjnością komutacyjną, obciążony RL


T
L
L_k
R
D_0
$u(t)$


T
u(t)
R

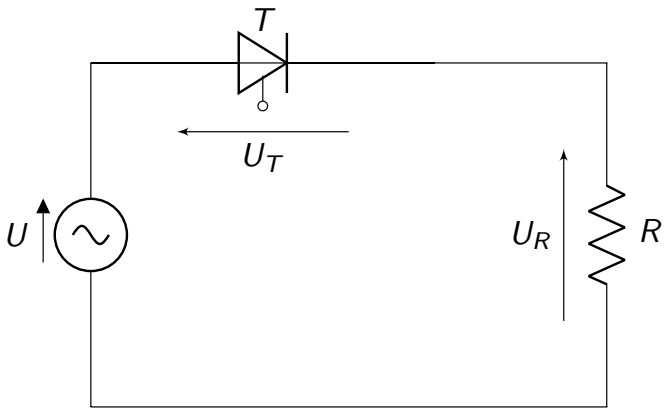


$$U = U_T + U_R$$



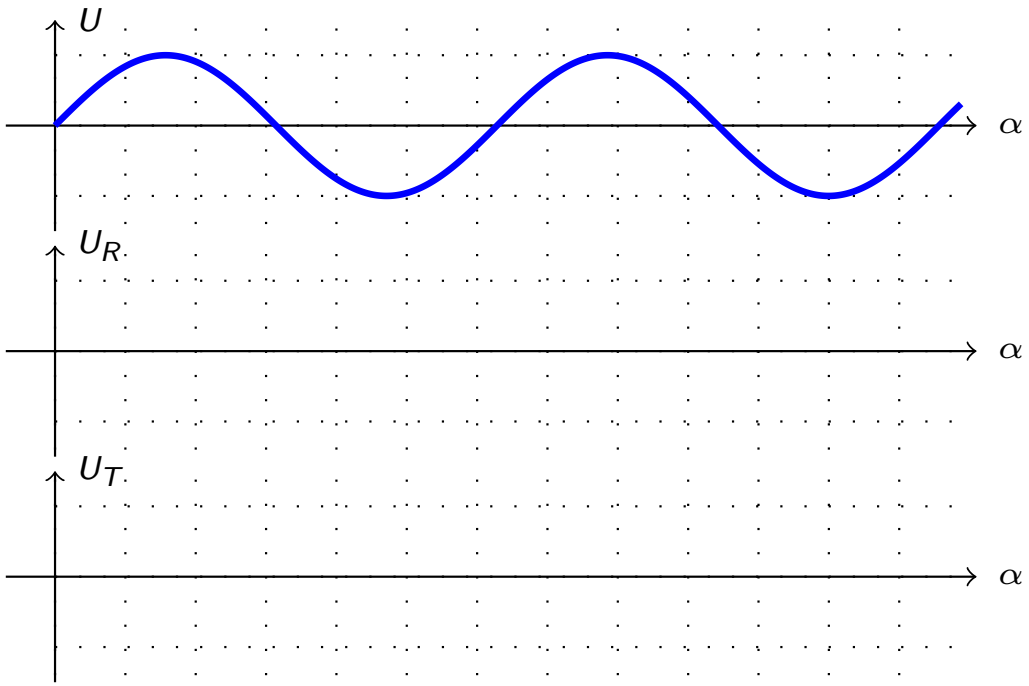
$$U = U_T + U_R$$

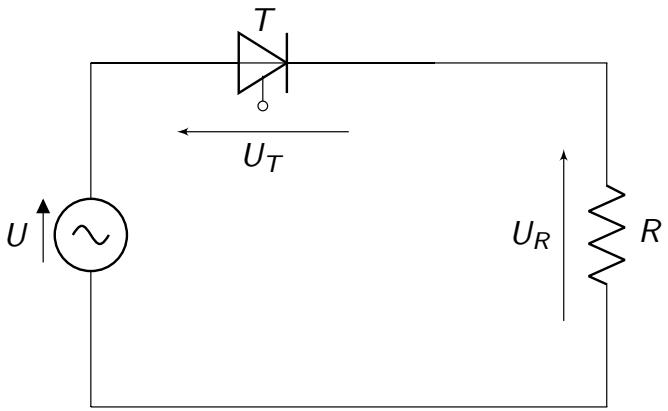
$U < 0$	$U > 0$	
stan zaworowy	**stan blokowania**	**stan przewodzenia**
$U_R = 0$	$U_R = 0$	$U_T = 0$
$\Downarrow$	$\Downarrow$	$\Downarrow$
$U_T = U$	$U_T = U$	$U_R = U$



$$U = U_T + U_R$$

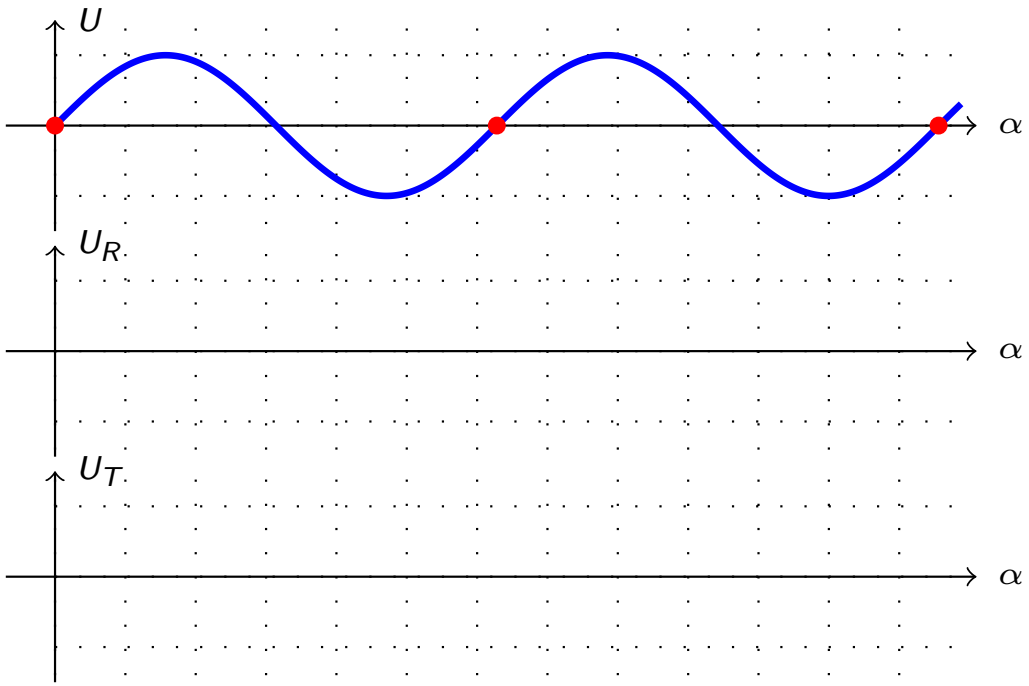
$U < 0$	$U > 0$	
stan zaworowy	**stan blokowania**	**stan przewodzenia**
$U_R = 0$	$U_R = 0$	$U_T = 0$
$\Downarrow$	$\Downarrow$	$\Downarrow$
$U_T = U$	$U_T = U$	$U_R = U$

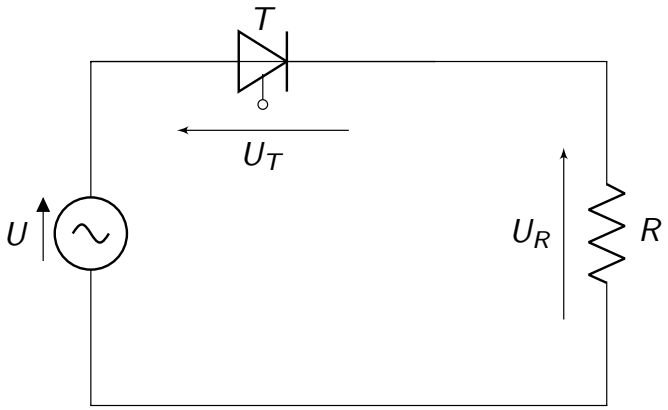




$$U = U_T + U_R$$

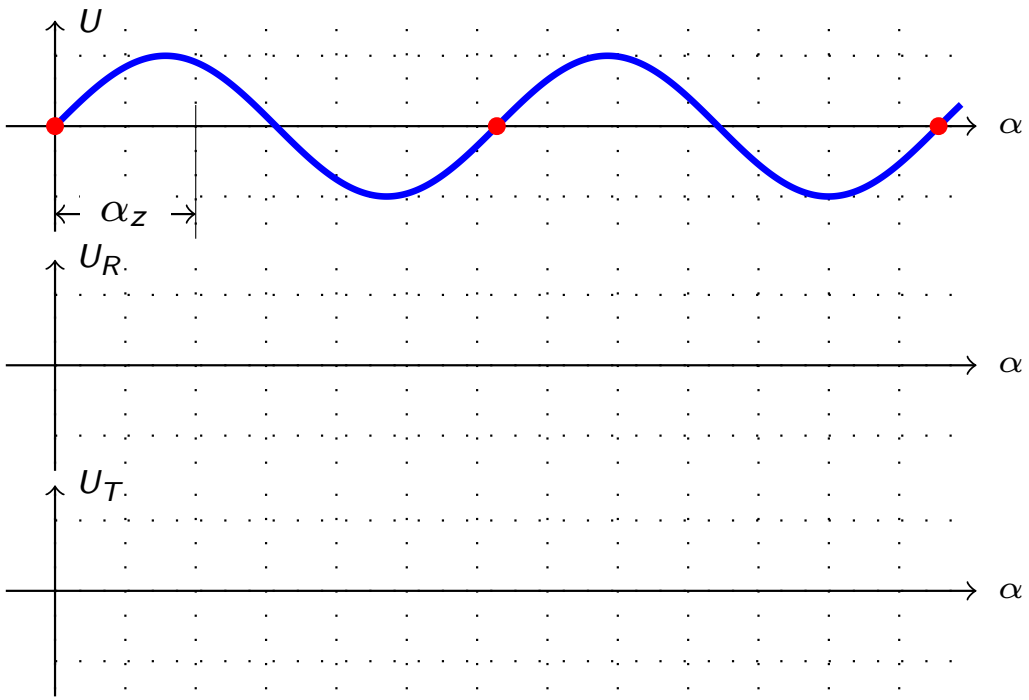
$U < 0$	$U > 0$	
stan zaworowy	**stan blokowania**	**stan przewodzenia**
$U_R = 0$	$U_R = 0$	$U_T = 0$
$\Downarrow$	$\Downarrow$	$\Downarrow$
$U_T = U$	$U_T = U$	$U_R = U$

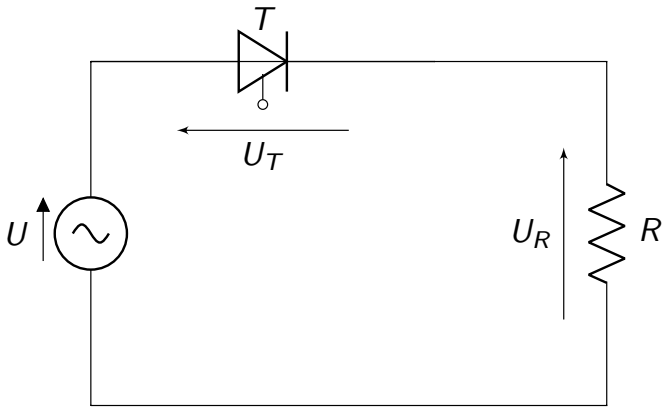




$$U = U_T + U_R$$

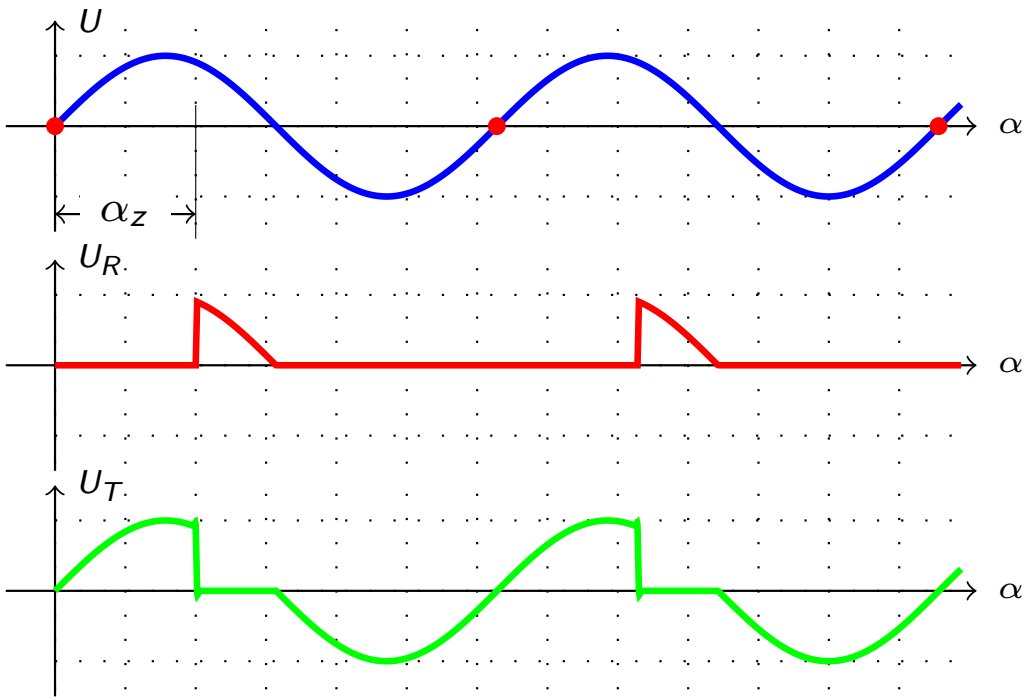
$U < 0$	$U > 0$	
stan zaworowy	**stan blokowania**	**stan przewodzenia**
$U_R = 0$	$U_R = 0$	$U_T = 0$
$\Downarrow$	$\Downarrow$	$\Downarrow$
$U_T = U$	$U_T = U$	$U_R = U$



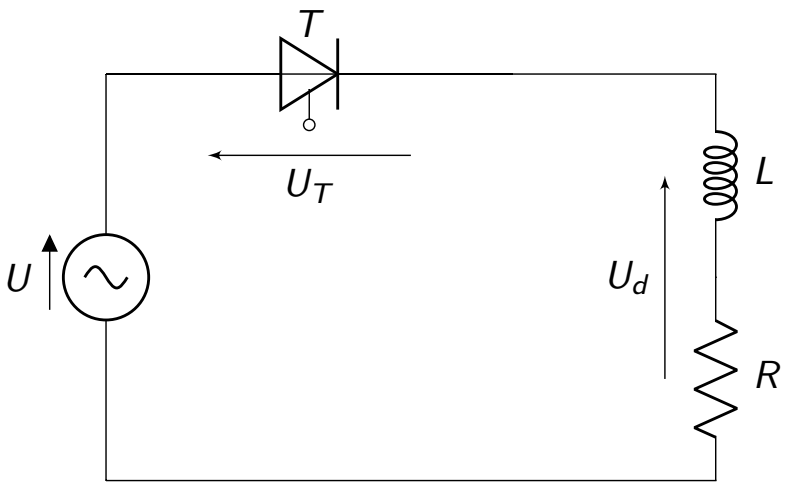


$$U = U_T + U_R$$

$U < 0$	$U > 0$	
stan zaworowy	**stan blokowania**	**stan przewodzenia**
$U_R = 0$	$U_R = 0$	$U_T = 0$
$\Downarrow$	$\Downarrow$	$\Downarrow$
$U_T = U$	$U_T = U$	$U_R = U$

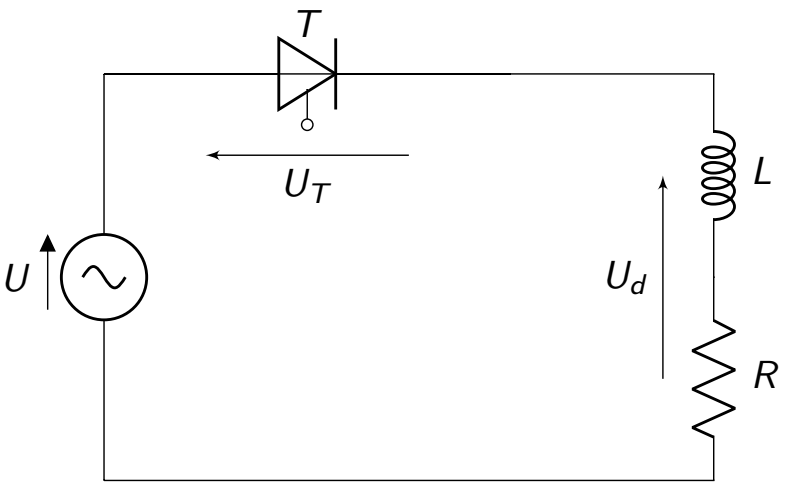


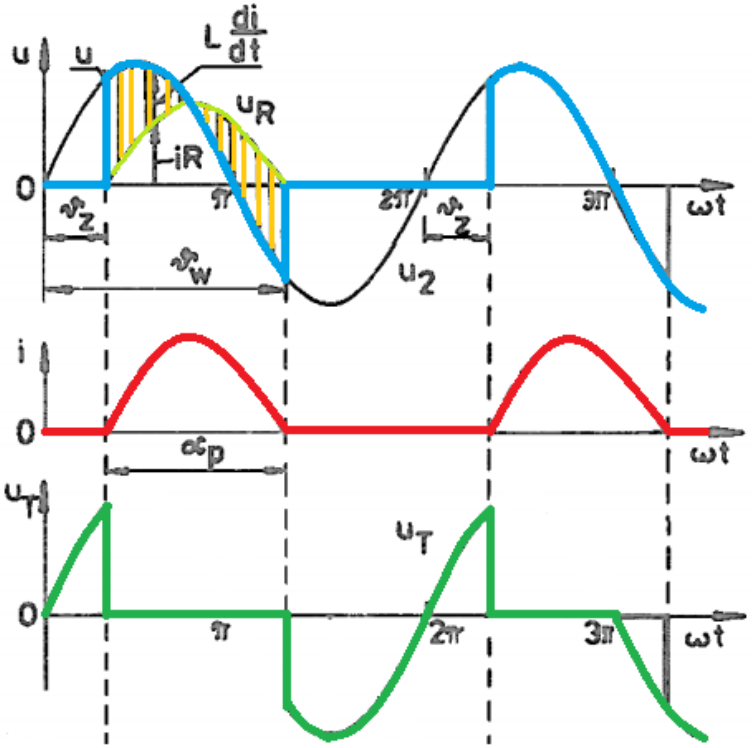
Obciążenie *RL*



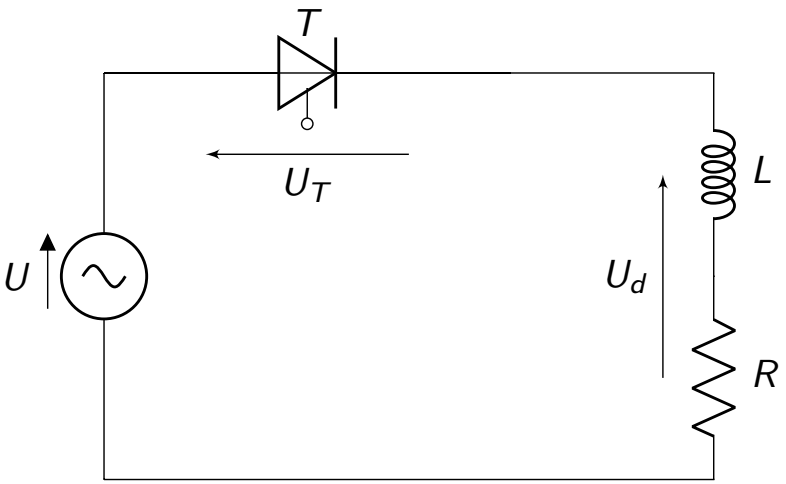
przebiegi napięcia i prądu odbiornika?

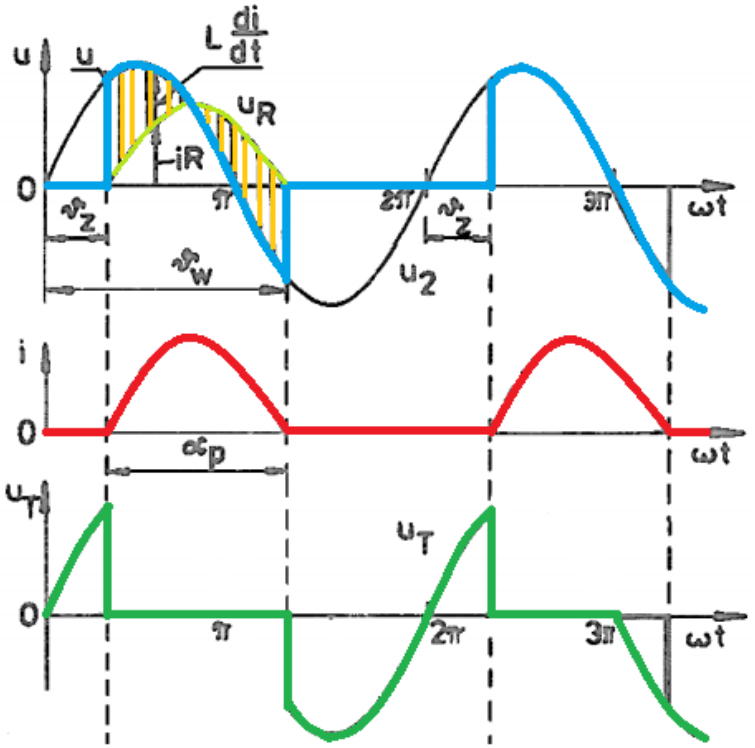
Obciążenie *RL*





Obciążenie *RL*

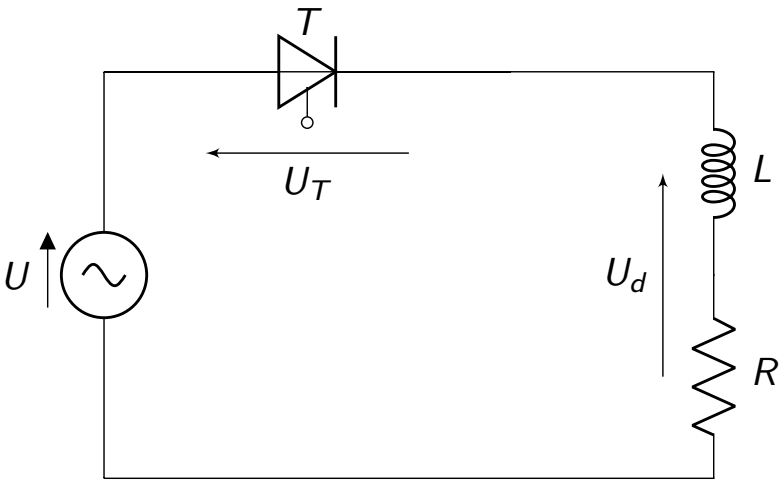


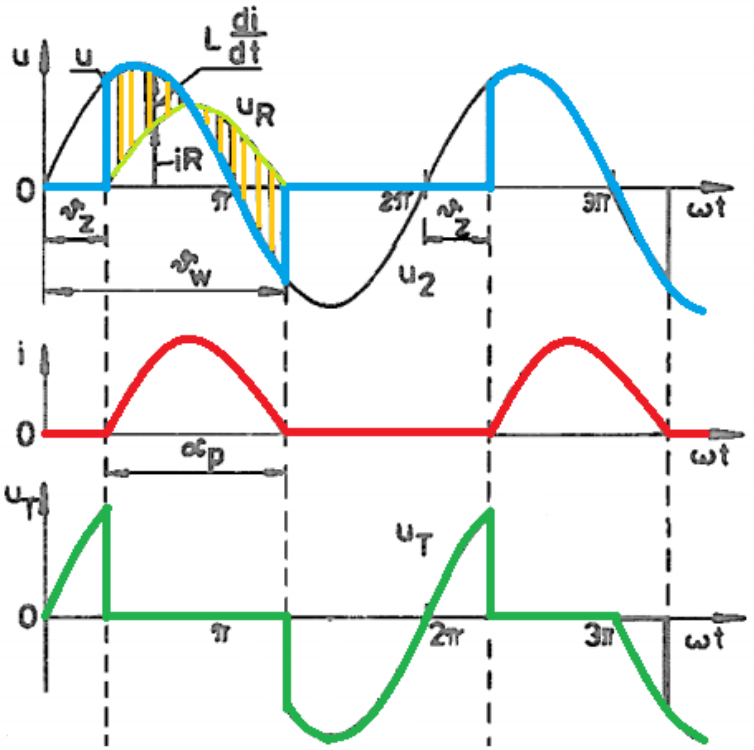


$$\alpha_p = \alpha_w - \alpha_z$$

Od czego zależy α_p?

Obciążenie *RL*

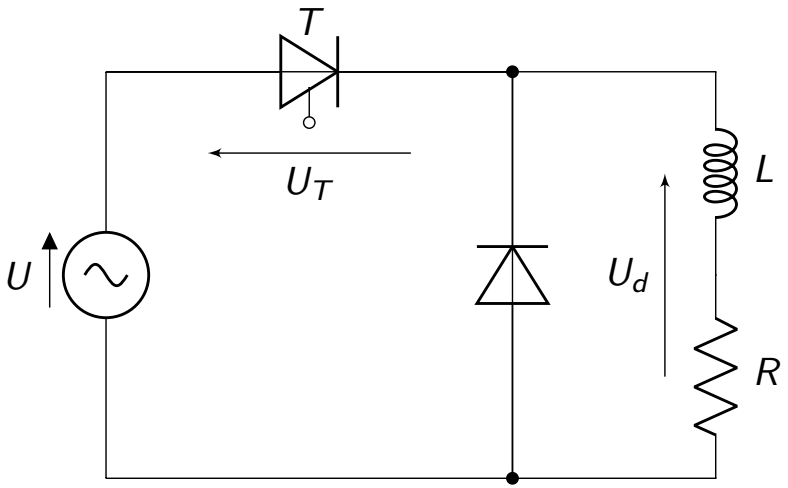




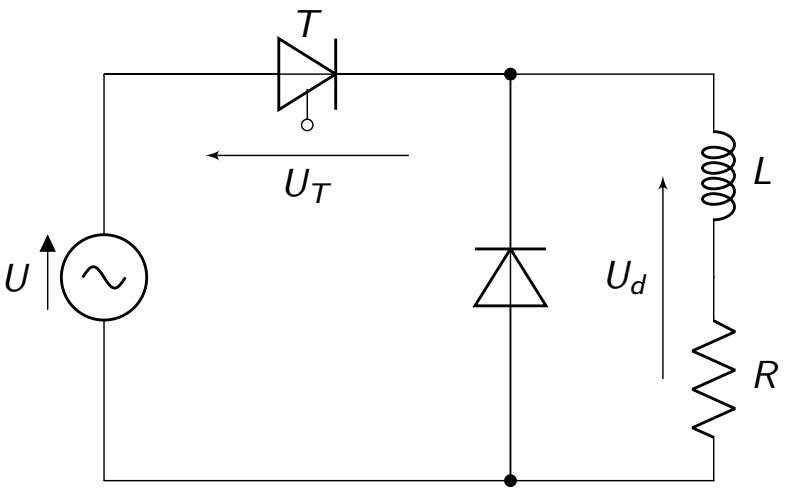
$$\alpha_p = \alpha_w - \alpha_z$$

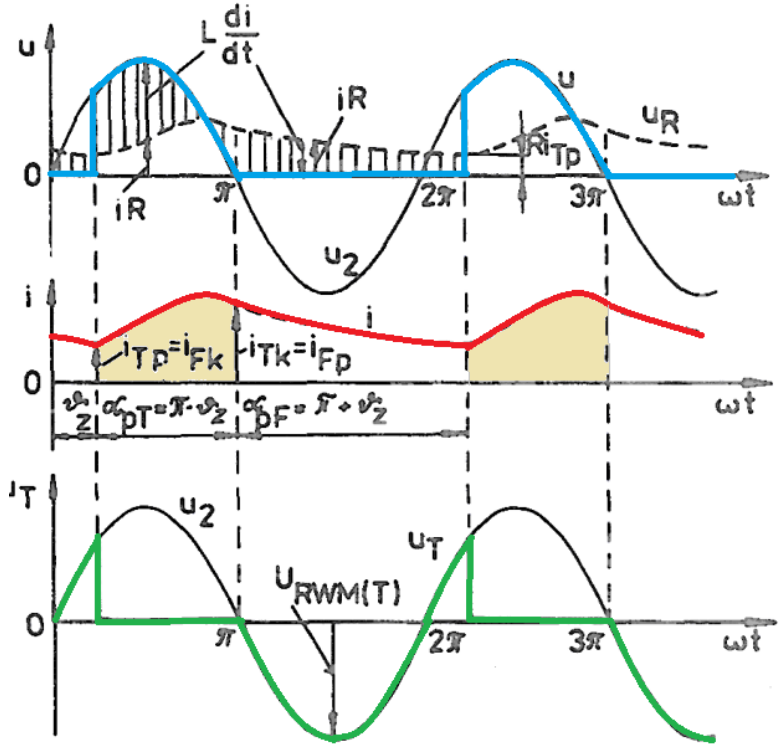
$$\alpha_p = f(\alpha_z, \tan\phi, e^w) \qquad \tan\phi = \frac{\omega L}{R} \qquad e^w = \frac{E}{U_m}$$

Obciążenie RLD_0

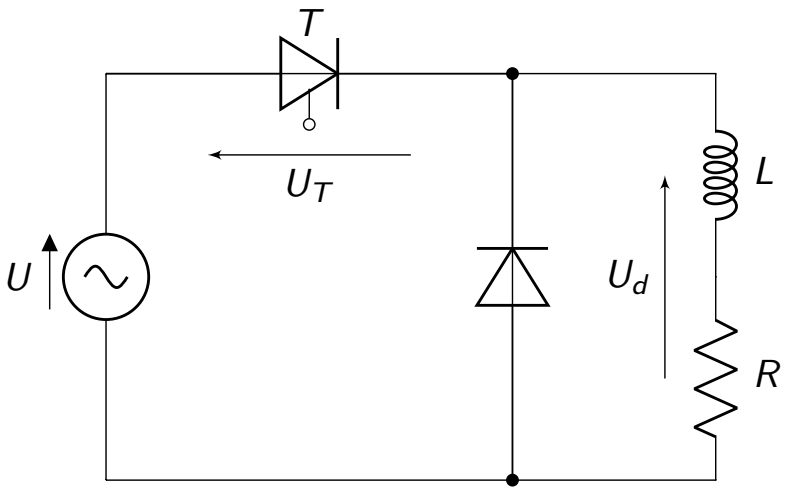


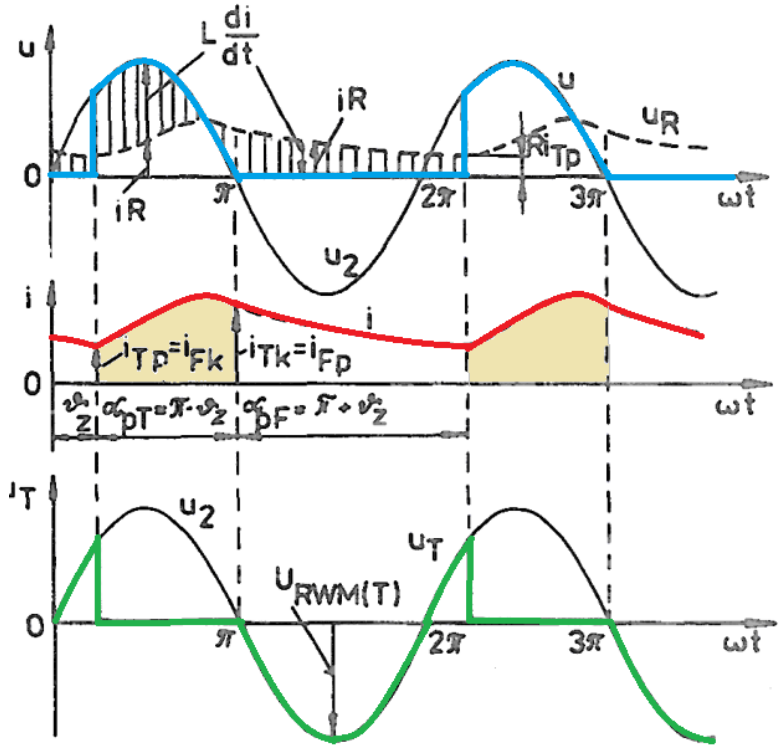
Obciążenie RLD_0





Obciążenie RLD_0





Zalety i wady stosowania diody zerowej?

Zalety stosowania diody zerowej:
- mniejsza pulsacja i większa wartość średnia napięcia wyprostowanego
- lepsze wygładzenie prądu odbiornika i mniejszy zakres impulsowego przewodzenia prądu
- większa współczynnik mocy, mniejszy pobór mocy biernej pobieranej z sieci zasilającej
- brak przepięć przy wyłączaniu odbiornika

Zalety stosowania diody zerowej:
- mniejsza pulsacja i większa wartość średnia napięcia wyprostowanego
- lepsze wygładzenie prądu odbiornika i mniejszy zakres impulsowego przewodzenia prądu
- większa współczynnik mocy, mniejszy pobór mocy biernej pobieranej z sieci zasilającej
- brak przepięć przy wyłączaniu odbiornika

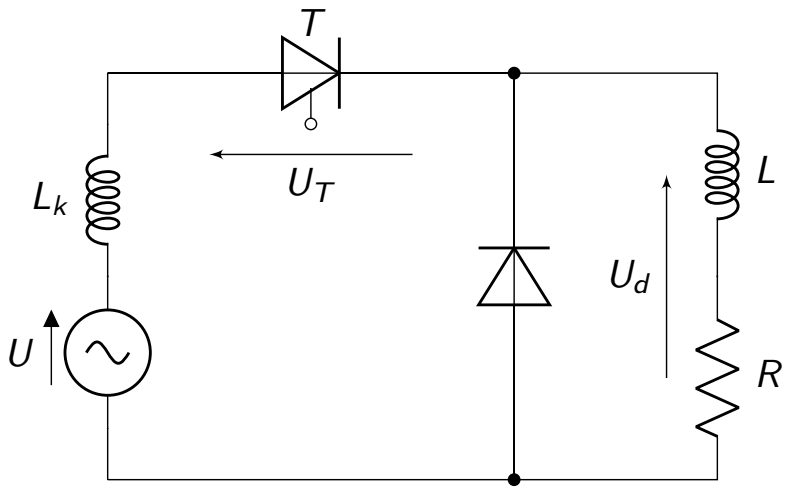
Wady stosowania diody zerowej:
- brak możliwości pracy falownikowej

Zalety stosowania diody zerowej:
- mniejsza pulsacja i większa wartość średnia napięcia wyprostowanego
- lepsze wygładzenie prądu odbiornika i mniejszy zakres impulsowego przewodzenia prądu
- większa współczynnik mocy, mniejszy pobór mocy biernej pobieranej z sieci zasilającej
- brak przepięć przy wyłączaniu odbiornika

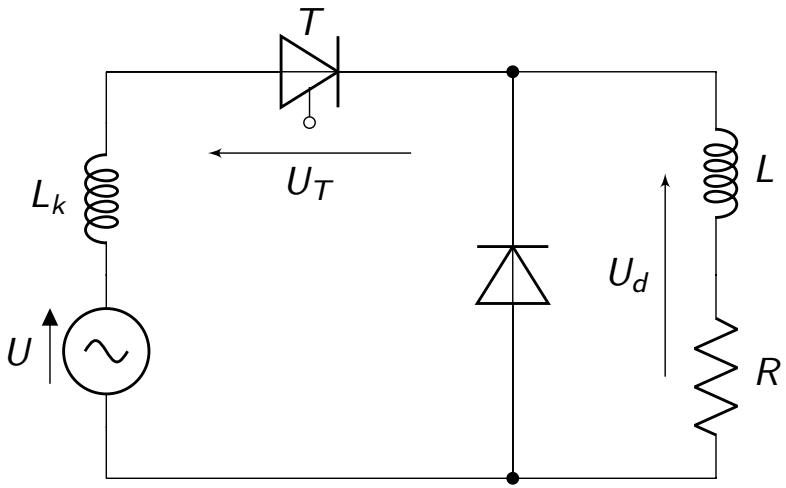
Wady stosowania diody zerowej:
- brak możliwości pracy falownikowej

dioda zerowa - dioda rozładowcza

Komutacja

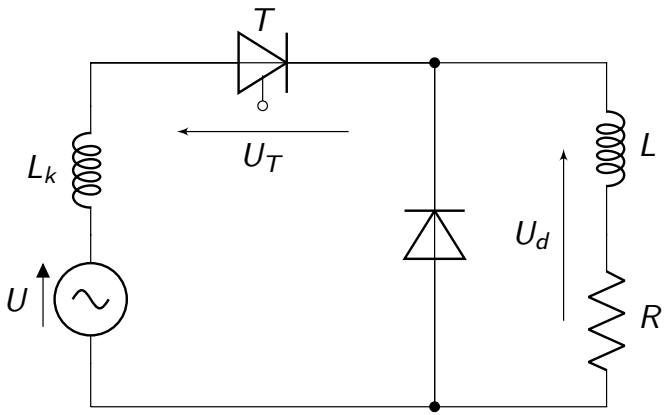


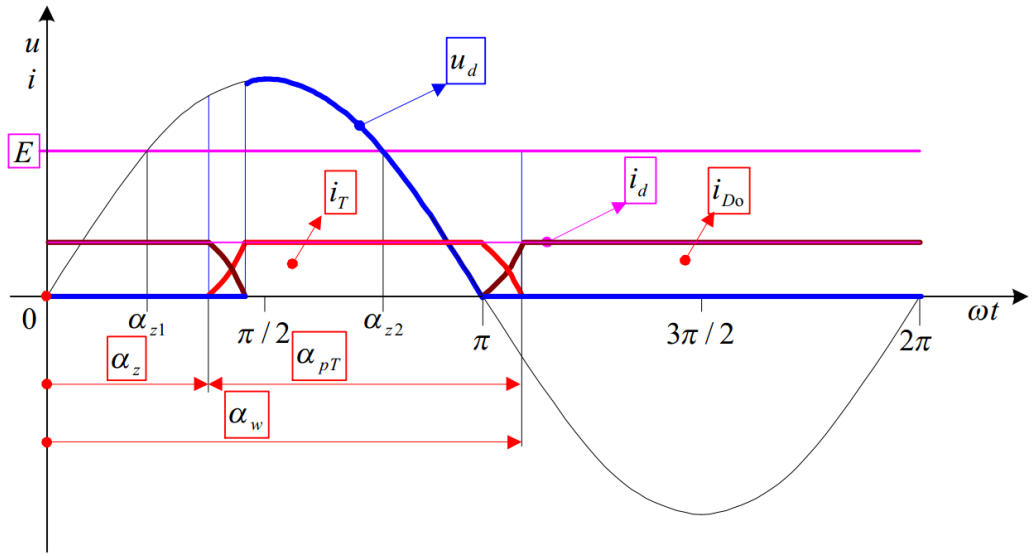
Komutacja



L_k - indukcyjność komutacyjna, jest to indukcyjność zastępcza, wynikająca z indukcyjności linii zasilającej, indukcyjności rozproszenia uzwojeń transformatora oraz indukcyjność połączeń pomiędzy transformatorem

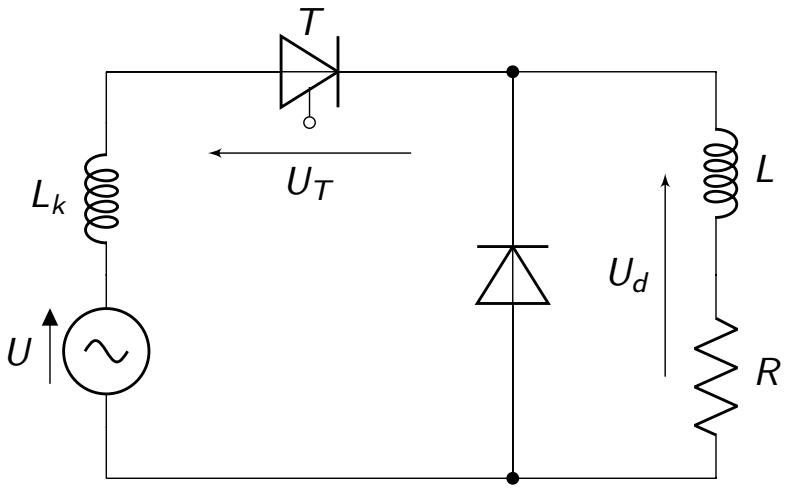
Komutacja





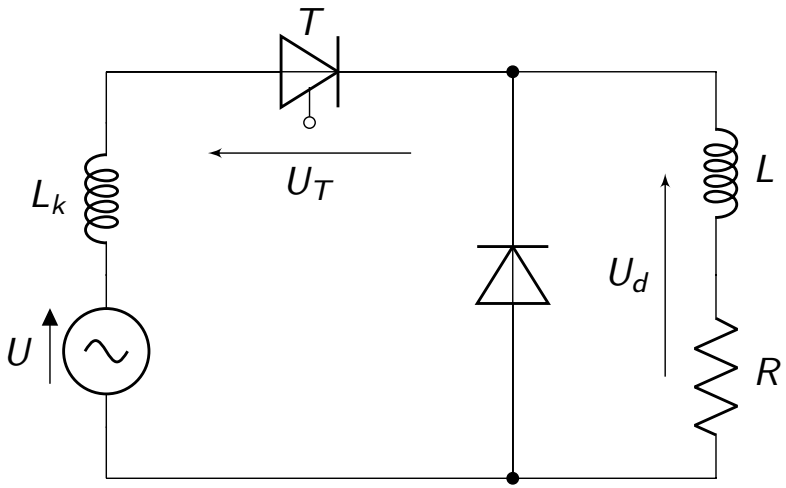
Wskutek istnienia indukcyjności i rezystancji w obwodach prądów fazowych, przejmowanie prądu obciążenia z zaworu kończącego przewodzenie przez zawór rozpoczynający przewodzenie nie może odbywać się natychmiastowo (skokowo). Występuje przedział czasu, w którym jednocześnie przewodzą dwa zawory. Proces ten nazywa się **komutacją**.

Komutacja



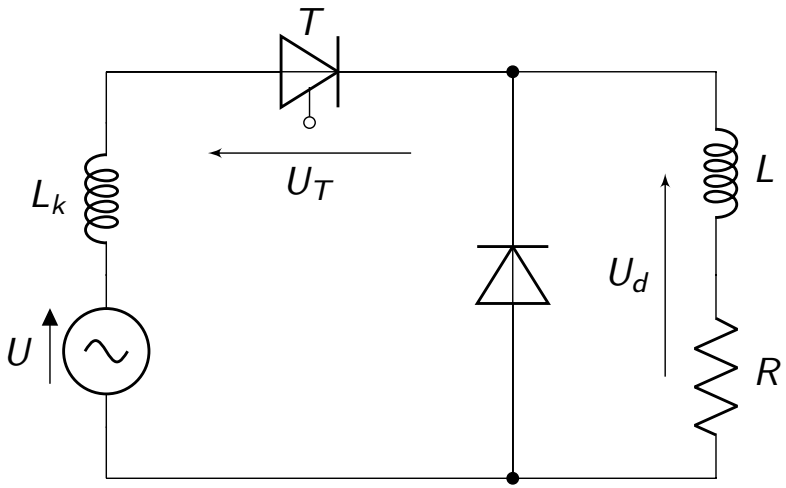
Komutacja - są to zjawiska występujące w procesie wyłączania prądów w gałęziach z zaworami i przejmowanie prądu przez inne gałęzie przekształtnika.

Komutacja



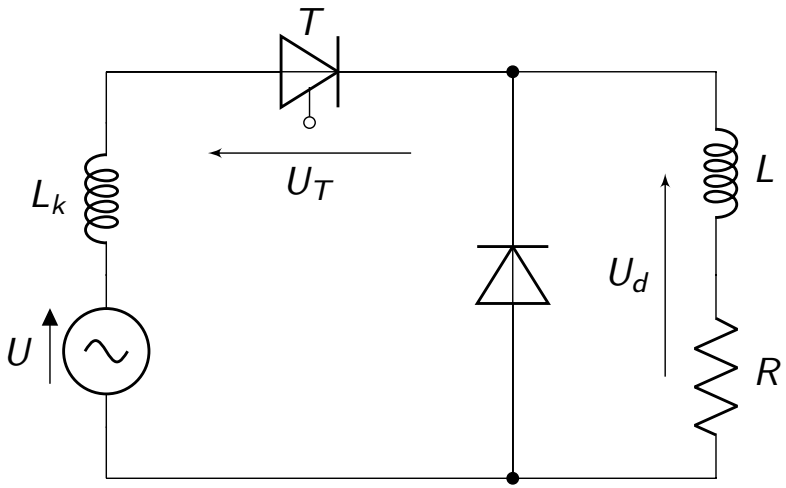
Czas trwania komutacji nazywamy okresem komutacji, a odpowiadający mu kąt nazywamy kątem komutacji μ

Komutacja

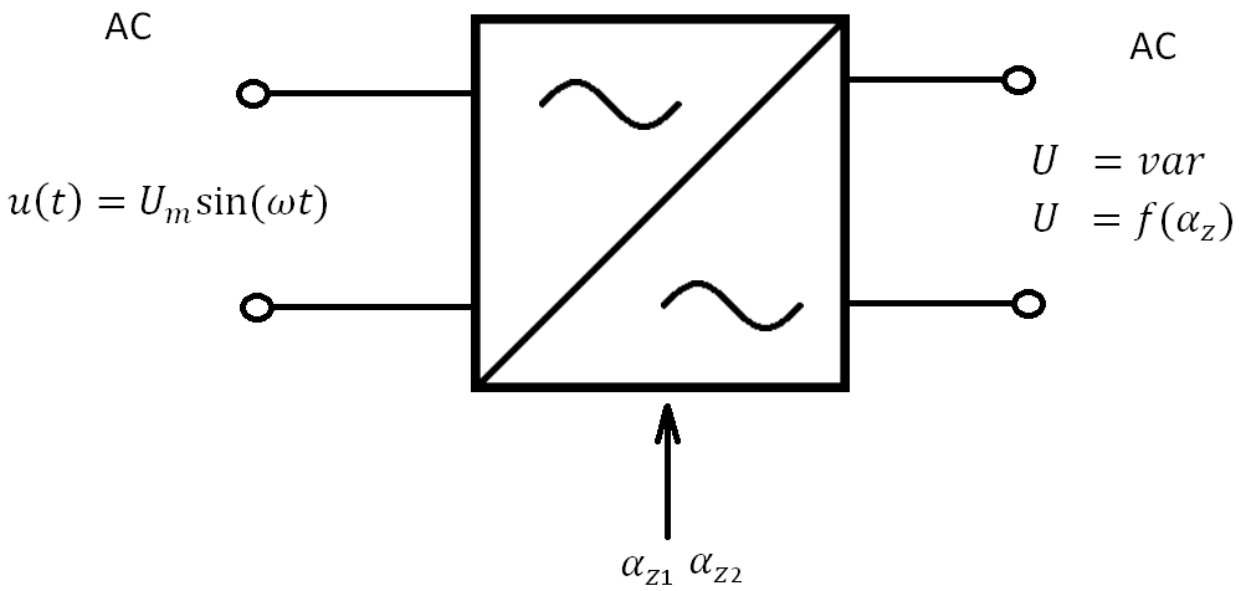


Od czego zależy μ?

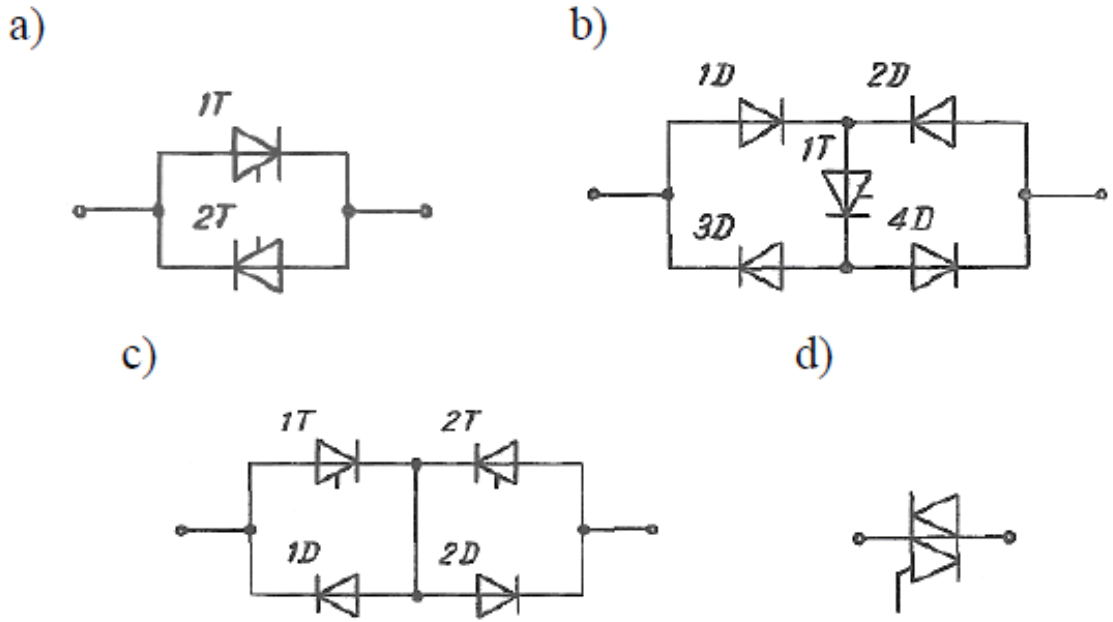
Komutacja



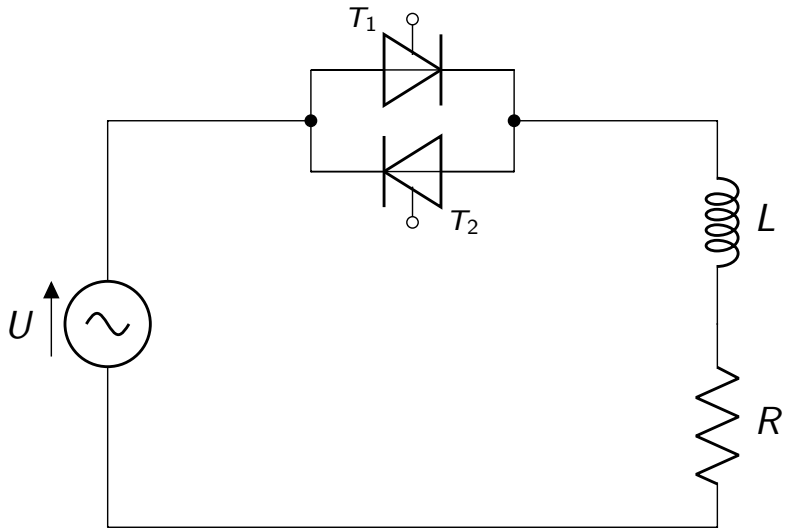
$$\mu = f(\alpha_z, L_k, I_d, p)$$



Rysunek: Symbol sterownika



Rysunek: Obwody główne 1-fazowych sterowników napięcia przemiennego a) układ odwrotnie równoległy b) i c) sterowniki w układzie mostkowym d) sterownik symistorowy

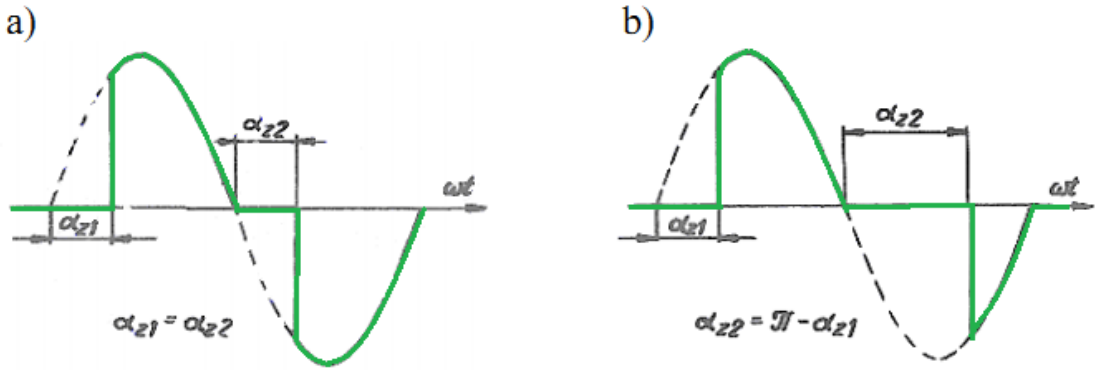


Rysunek: Układ odwrotnie równoległy

Rodzaje sterowania:

- fazowe,
- pulsowe,
- kluczowe.

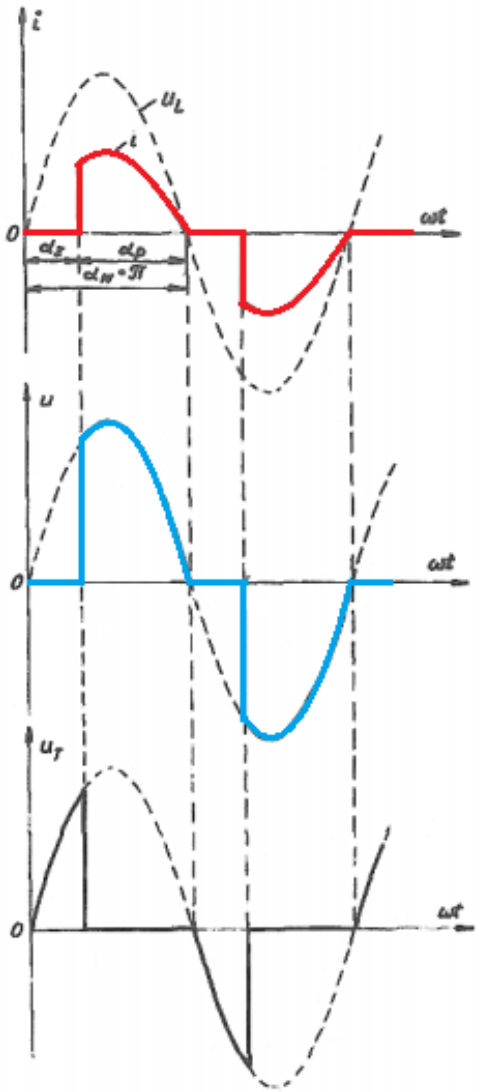
Sterowanie fazowe - umożliwia ciągłą (bezstopniową) regulację napięcia (prądu, mocy) odbiornika poprzez przesuwanie impulsów bramkowych wyzwalających tyrystor w stosunku do fazy napięcia anodowego tyrystora.



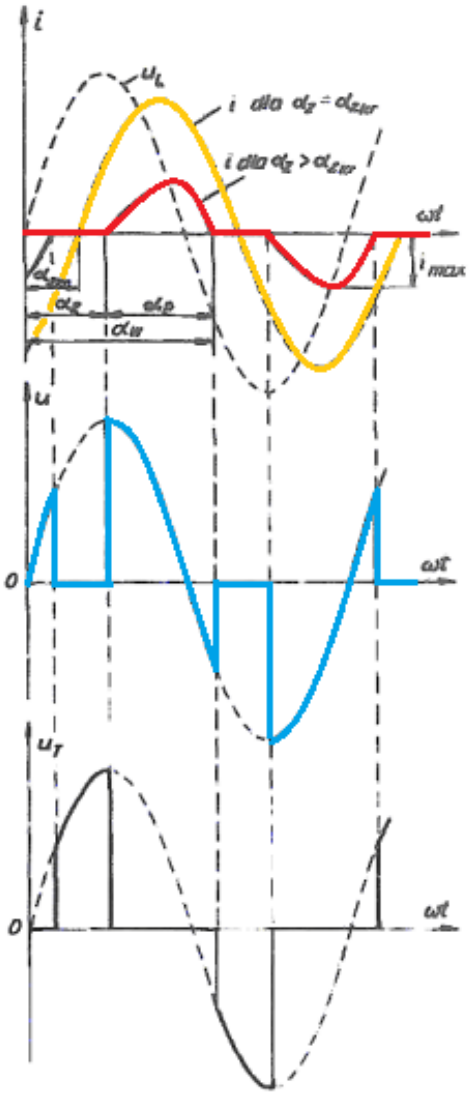
Rysunek: a) sterowanie symetryczne b) sterowanie odwrotnie-symetryczne

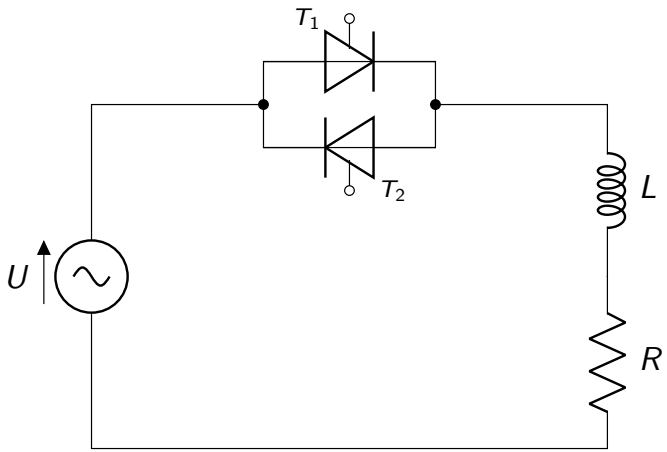
sterowanie		
symetryczne	**niesymetryczne**	**odwrotnie-symetryczne**
$\alpha_{z1} = \alpha_{z2} = \alpha_z$	$\alpha_{z1} \neq \alpha_{z2}$	$\alpha_{z1} = \pi - \alpha_{z2}$
$U = var$	$U = var$	$U = const$
$U_d = 0$	$U_d \neq 0$	$U_d \neq 0$

a)

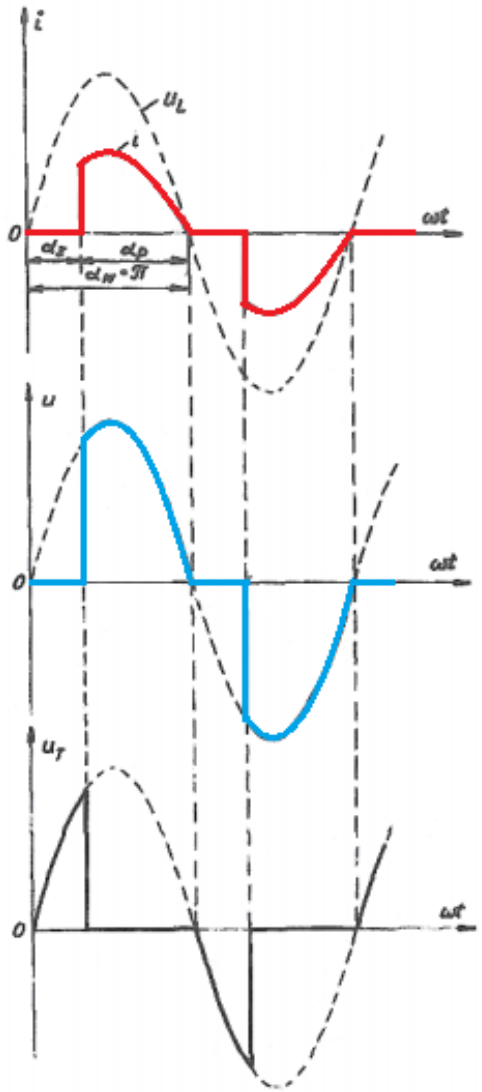

i
u_L
0
ωt
α_z
α_p
$\alpha_{zw} = \pi$
u
u_T

b)

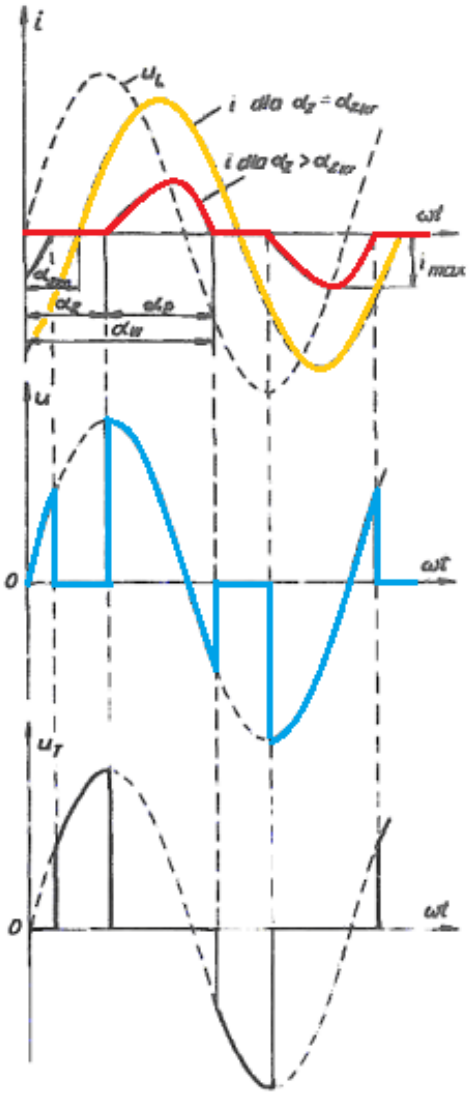

i
u_L
i dla $\alpha_z = \alpha_{zgr}$
i dla $\alpha_z > \alpha_{zgr}$
ωt
i_{max}
α_{zm}
α_z
α_p
α_{zw}
u
u_T
0


T_1
T_2
L
U
R

a)



b)

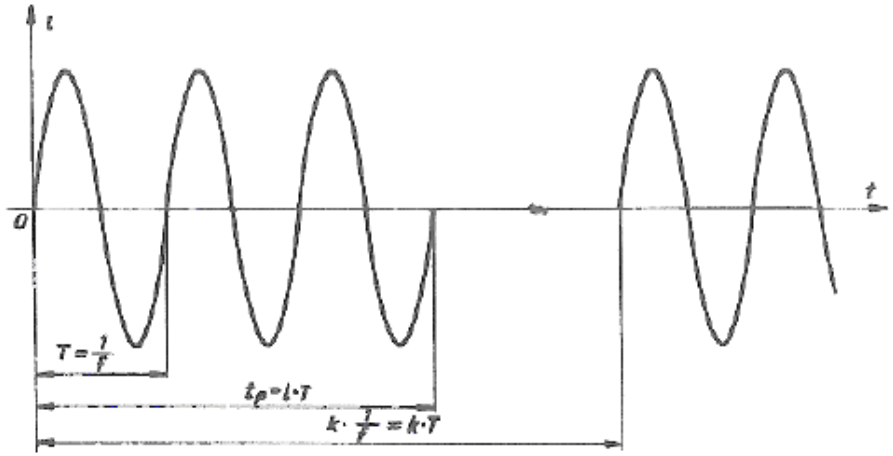


obciążenie:	
R	**RL**
$0 \leq \alpha_z \leq \pi$	$\alpha_{zgr} \leq \alpha_z \leq \pi$

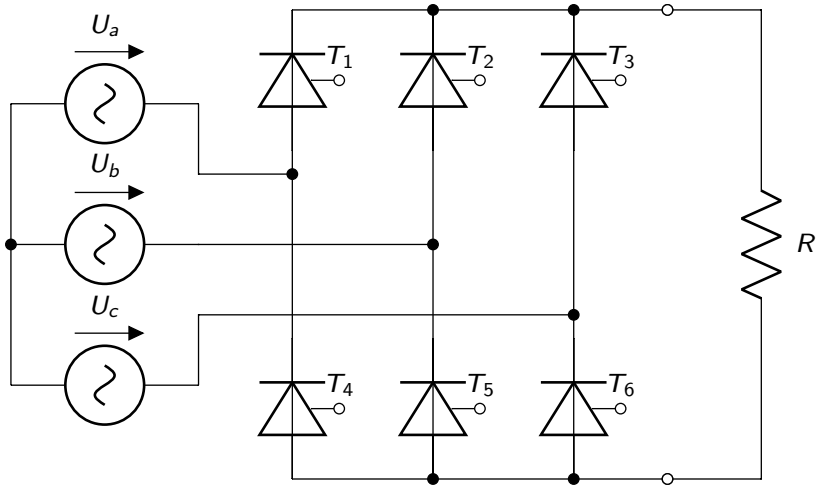
$$\alpha_{zgr} = \phi$$

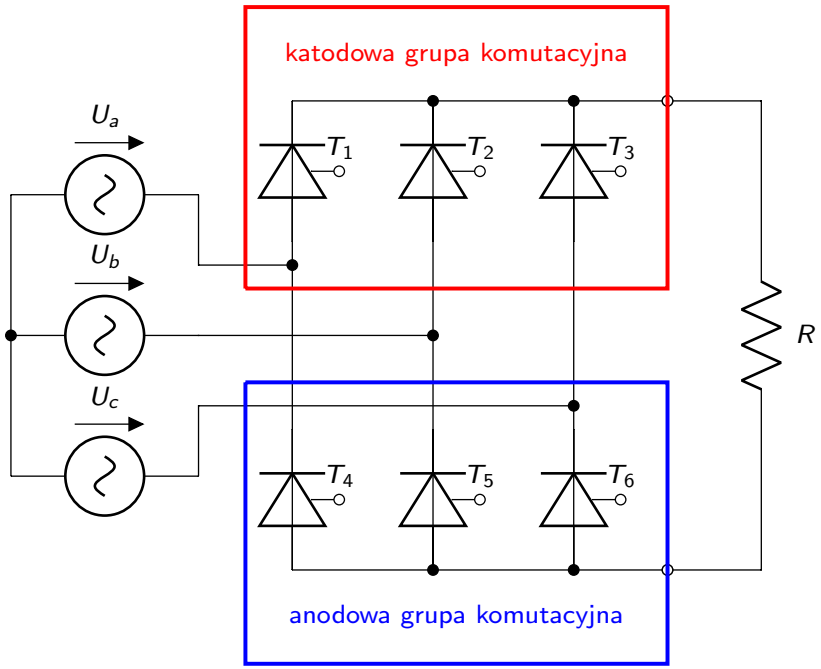
Sterowanie pulsowe - stosowane w układach spełniających rolę pulsowych regulatorów mocy odbiornika prądu przemiennego.

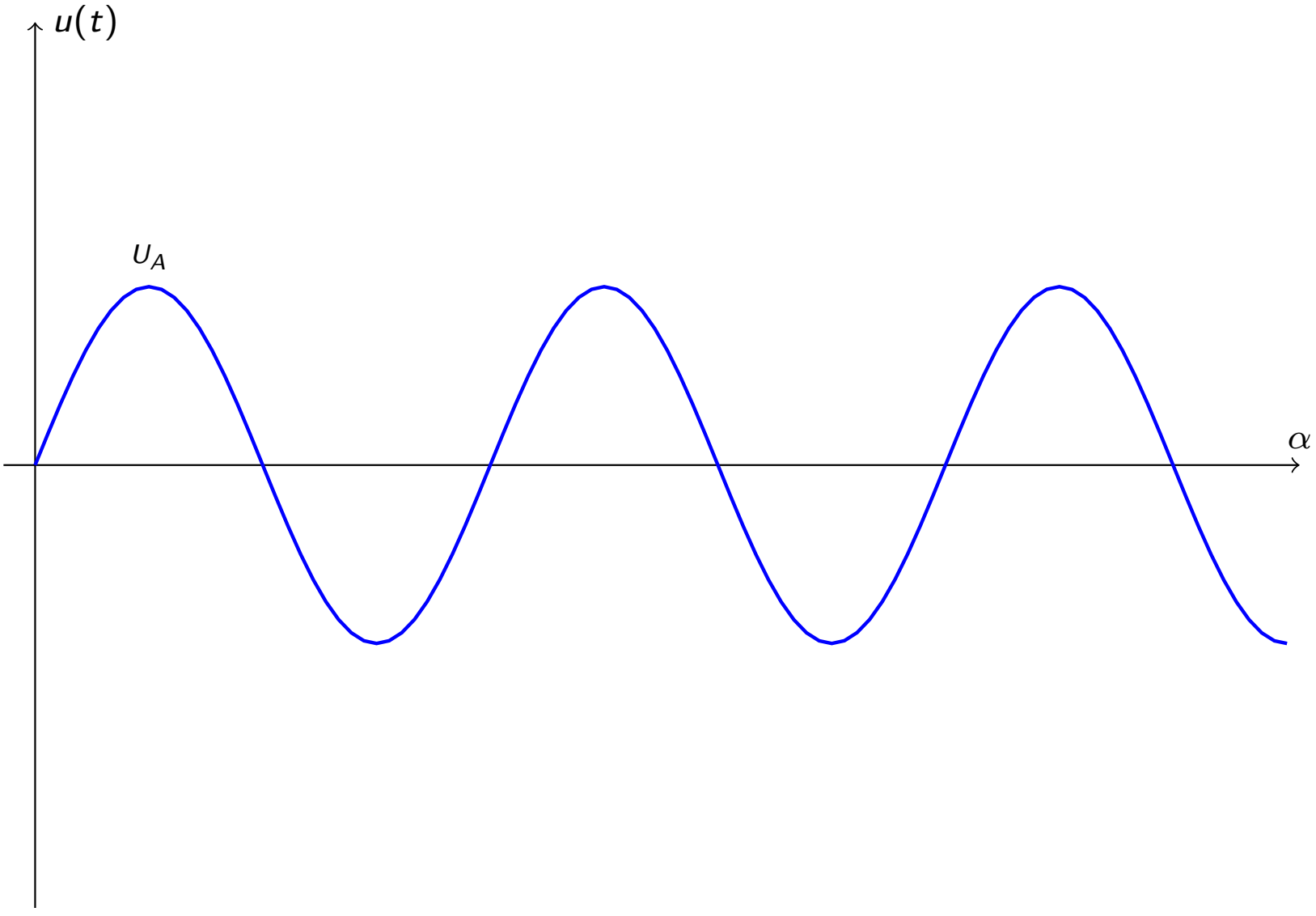
- Okres impulsowania jest równy całkowitej wielokrotności okresu napięcia zasilającego.
- Załączenie tyrystorów jest synchroniczne tzn. występuje w chwili przejścia prądu przez zero.
- Czas przewodzenia tyrystorów równy jest całkowitej licznie okresów napięcia zasilającego.

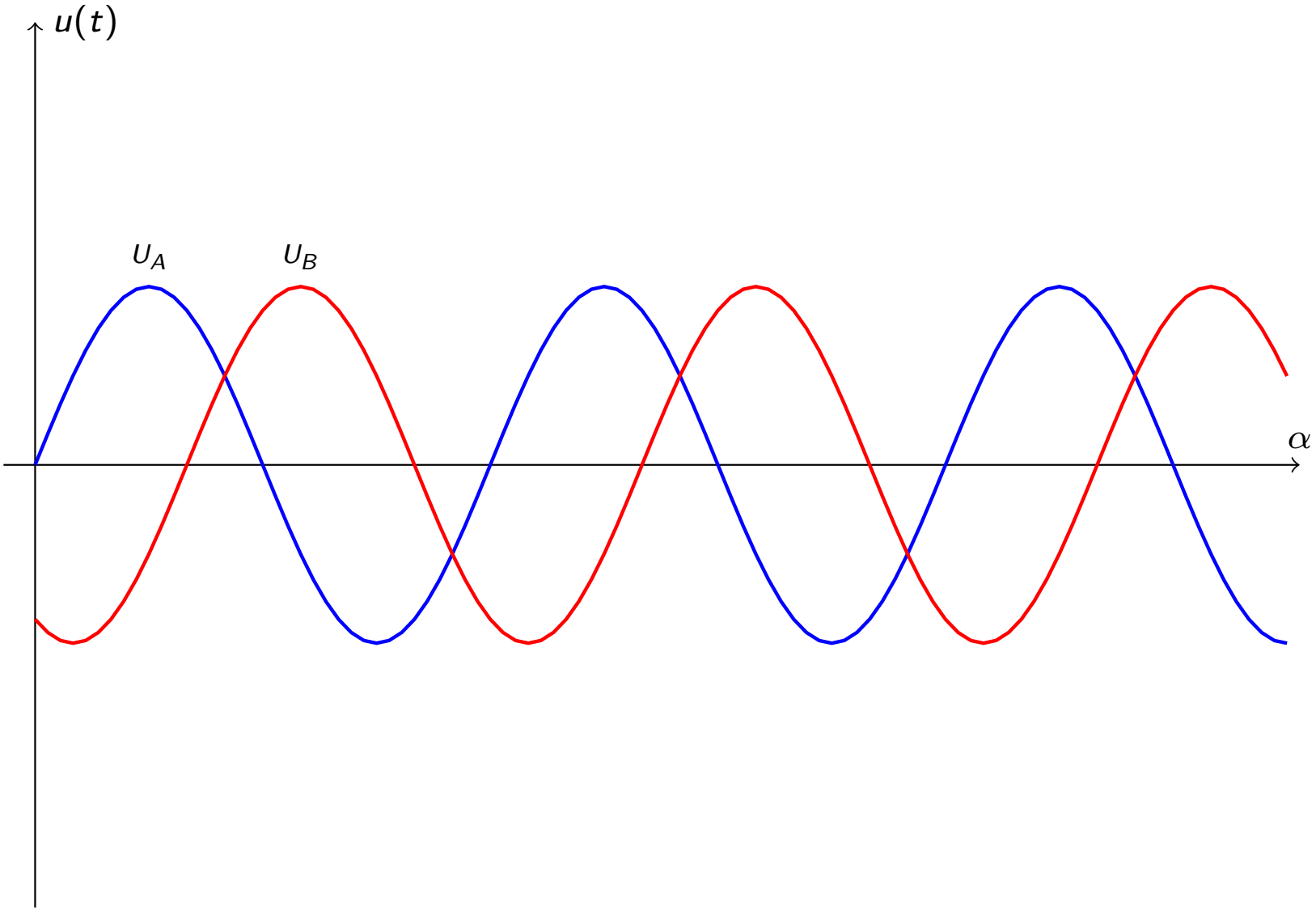


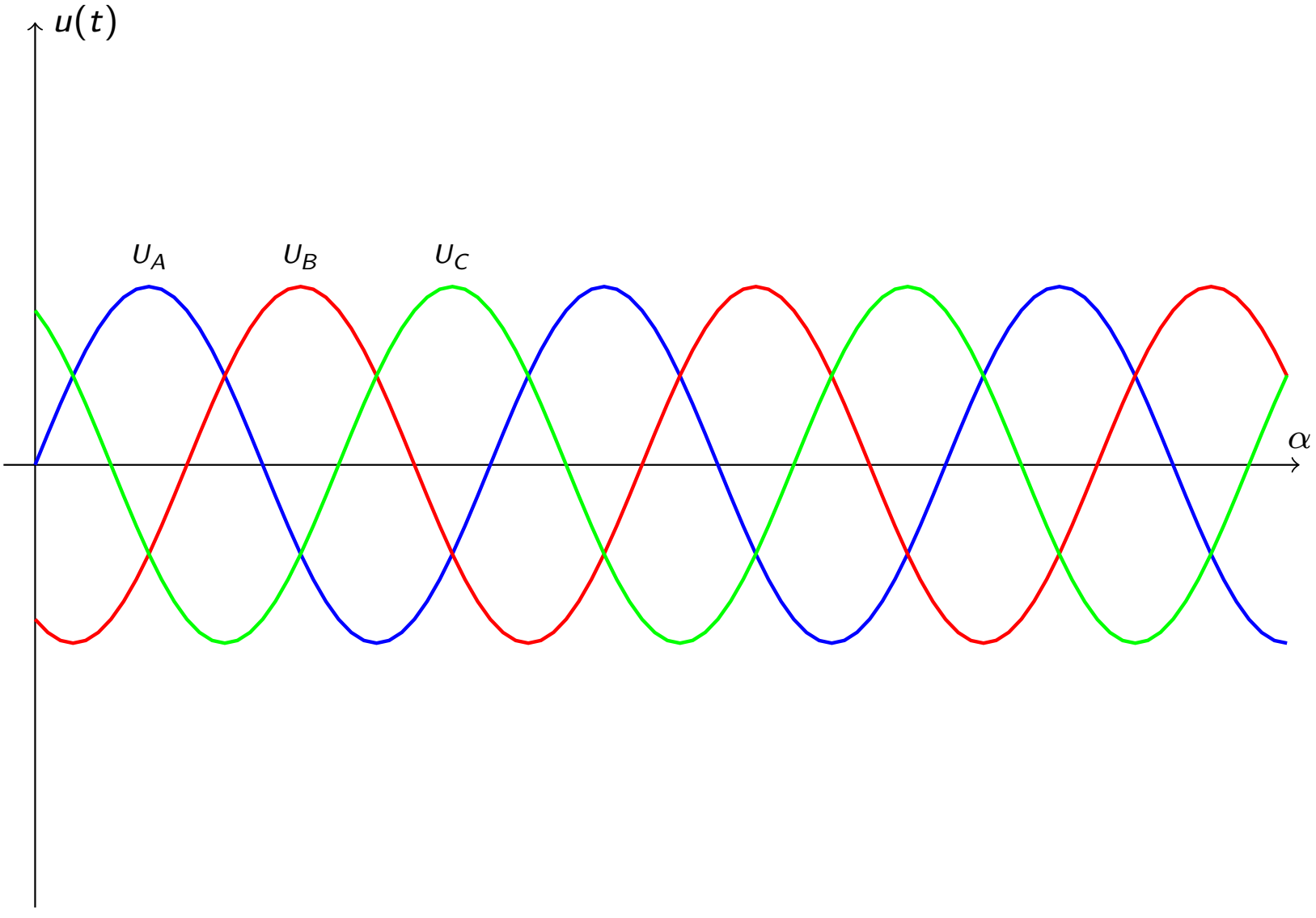
Schemat układu?

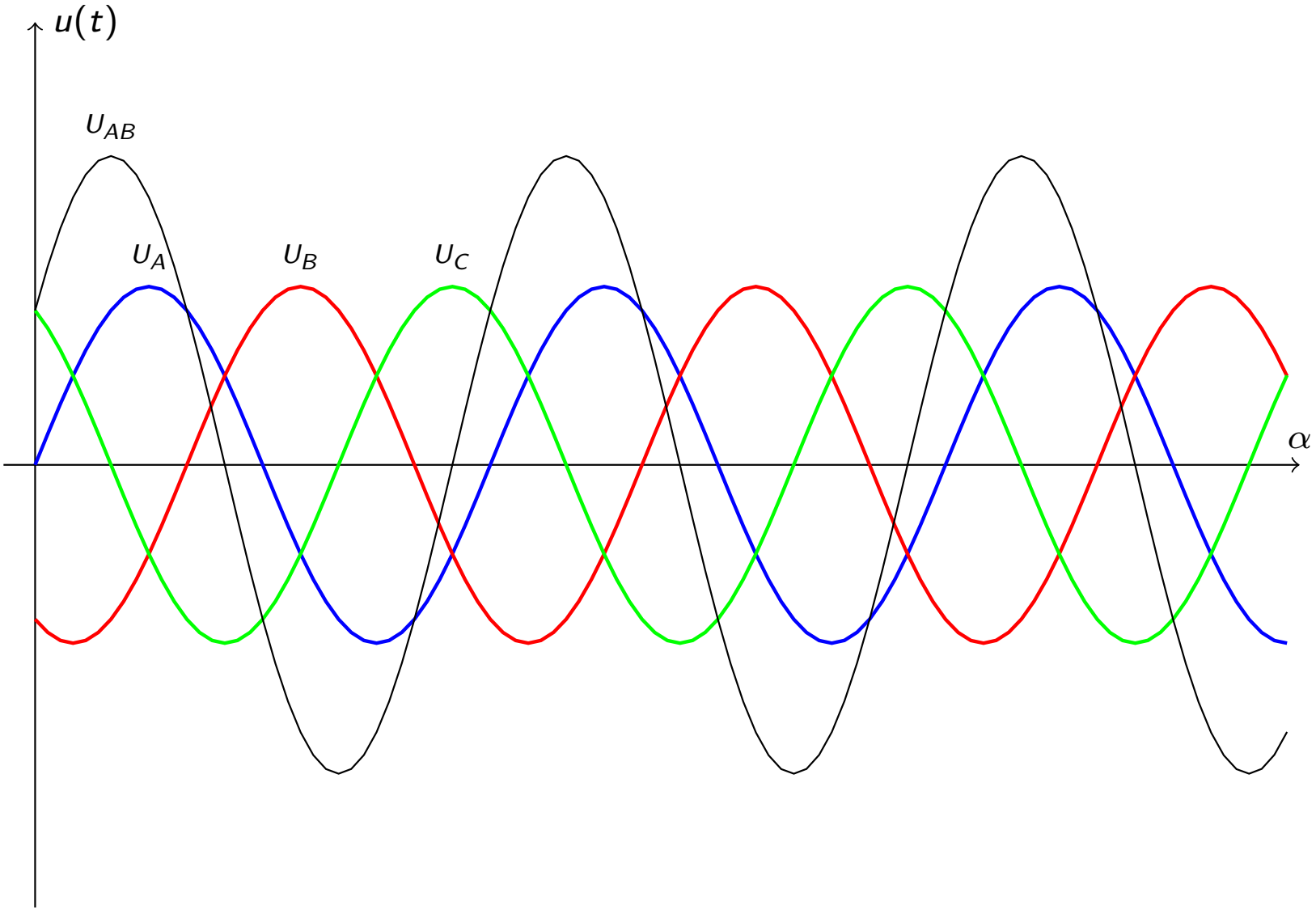

U_a
U_b
U_c
T_1
T_2
T_3
T_4
T_5
T_6
R

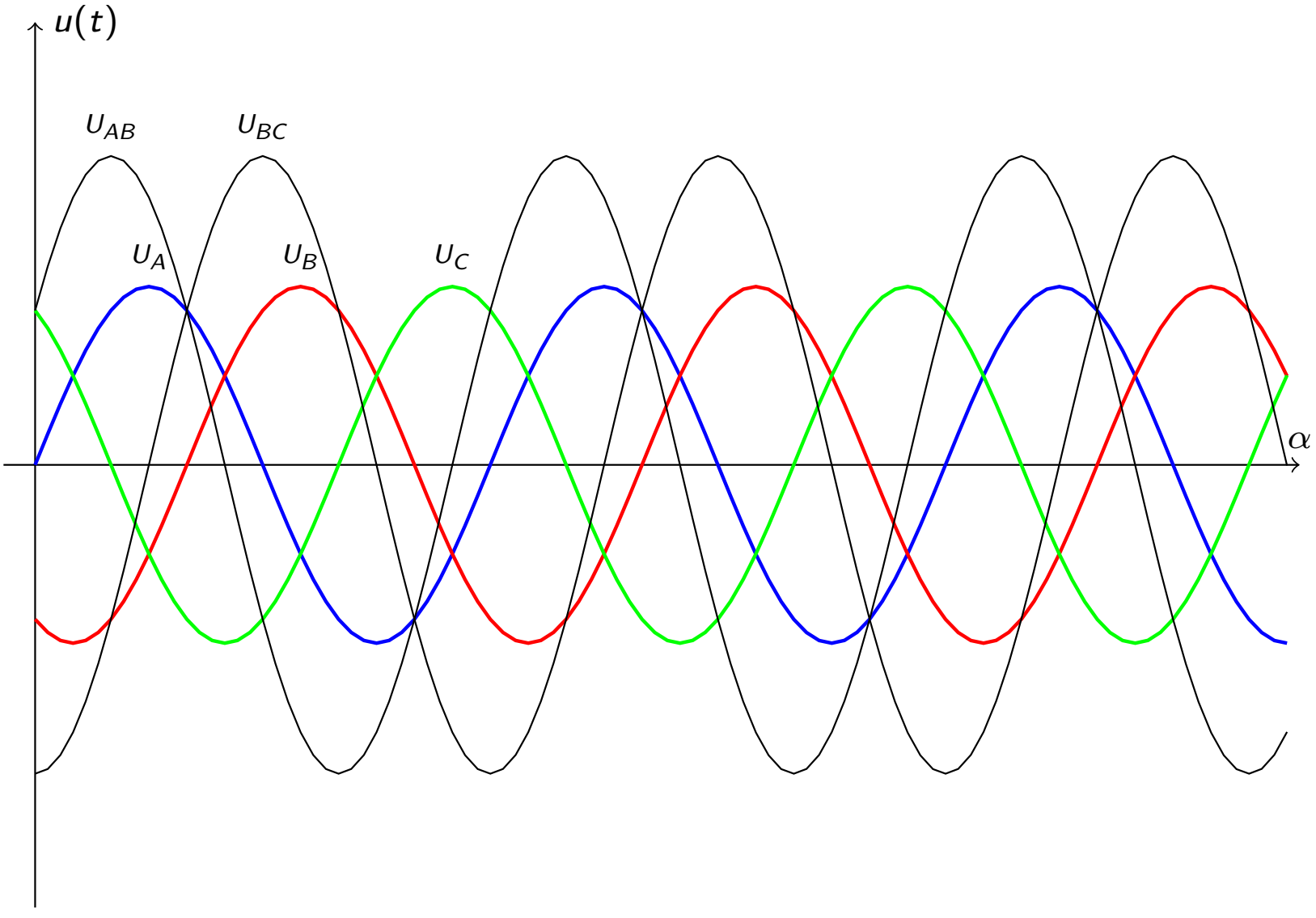

katodowa grupa komutacyjna
U_a
U_b
U_c
T_1
T_2
T_3
T_4
T_5
T_6
R
anodowa grupa komutacyjna

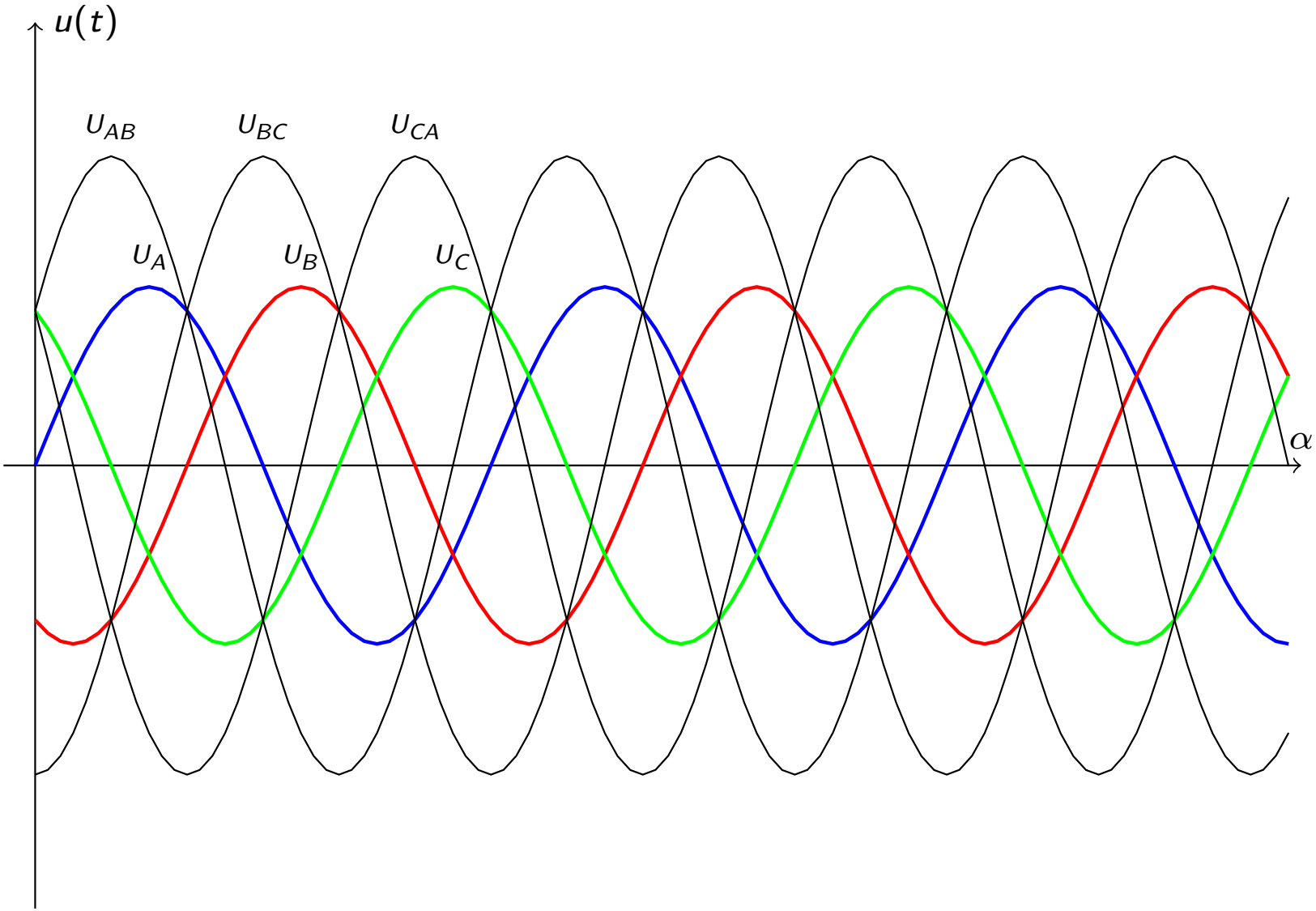

u(t)
U_A
α

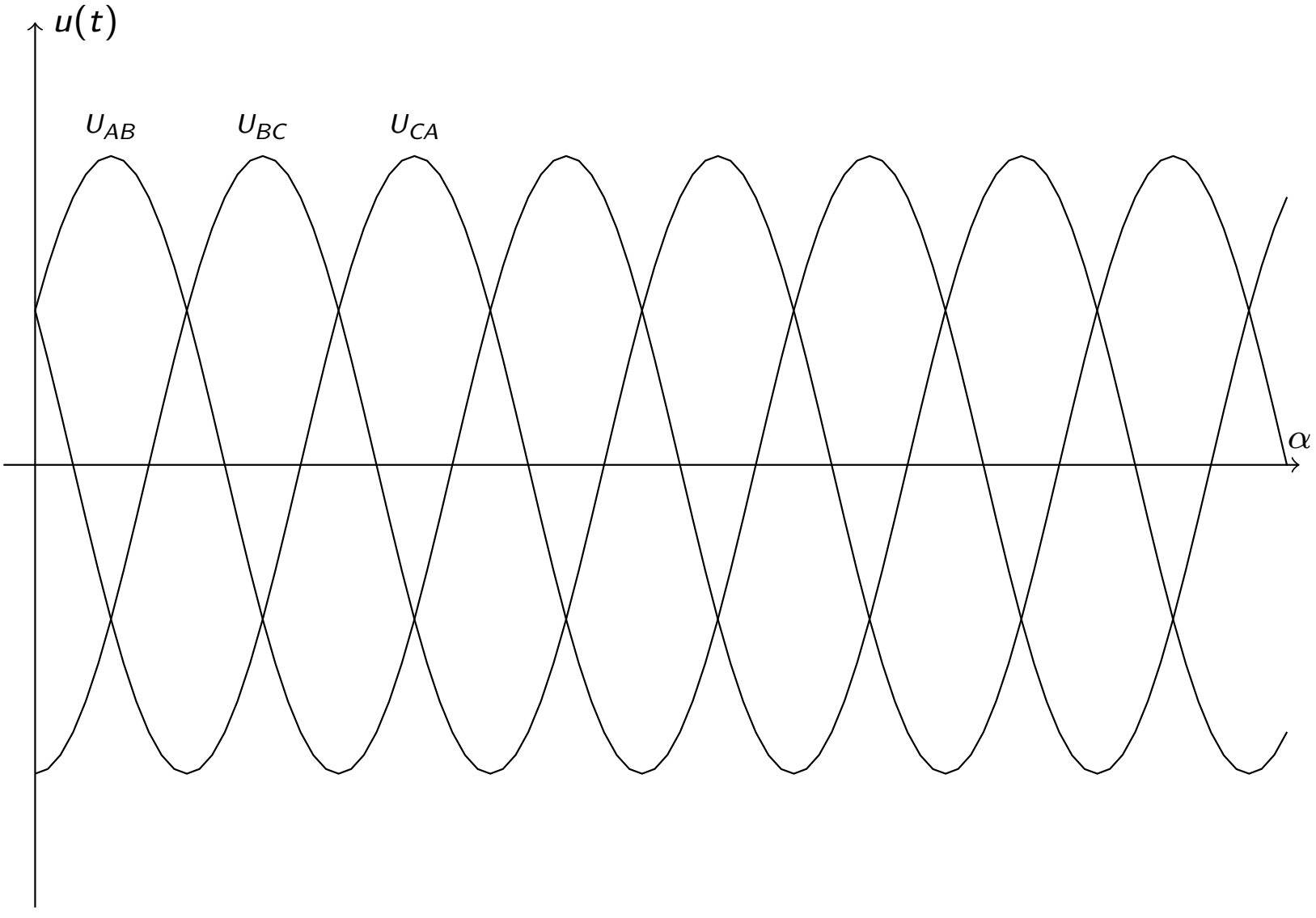

u(t)
U_A
U_B
α

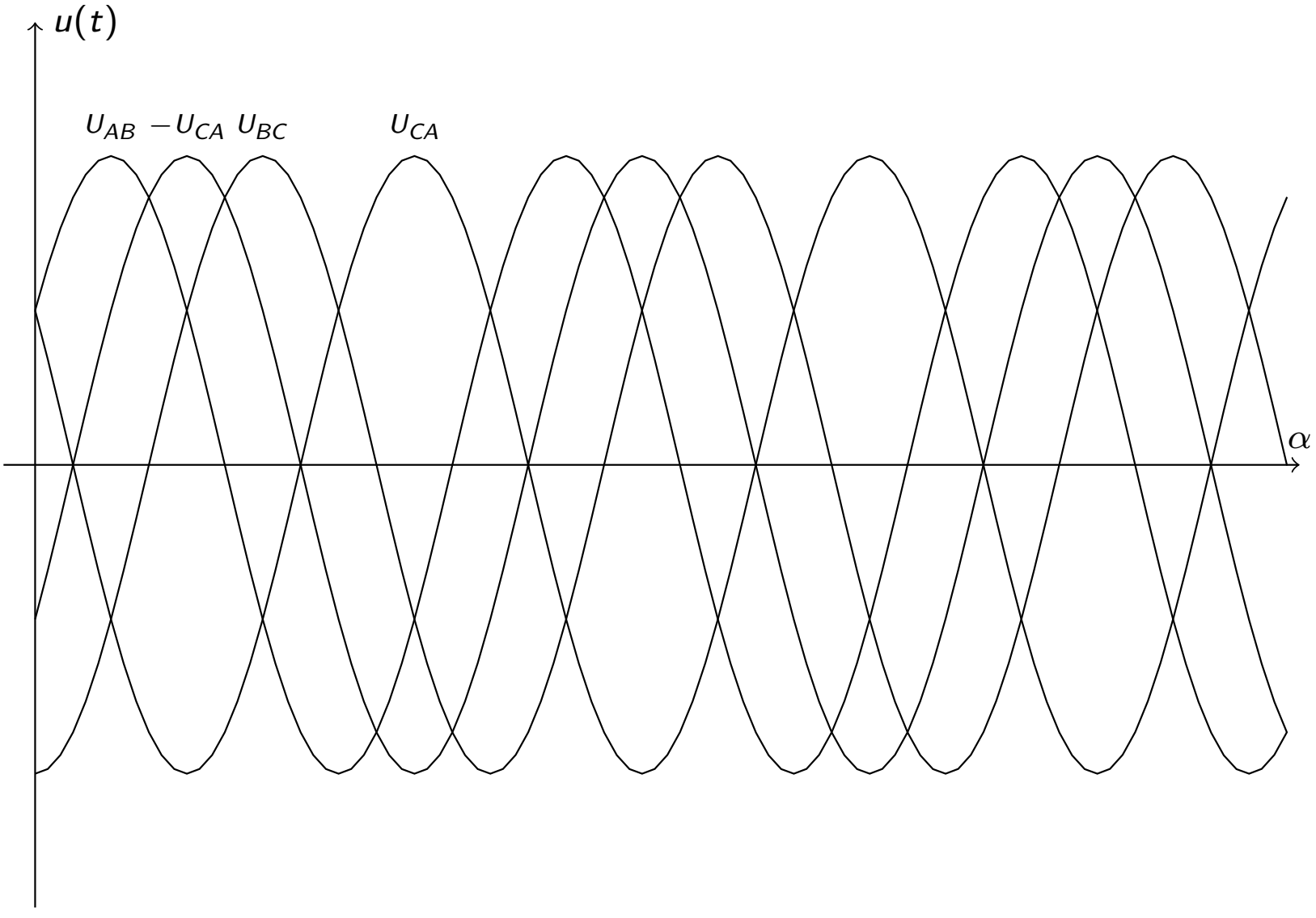

u(t)
U_A
U_B
U_C
α

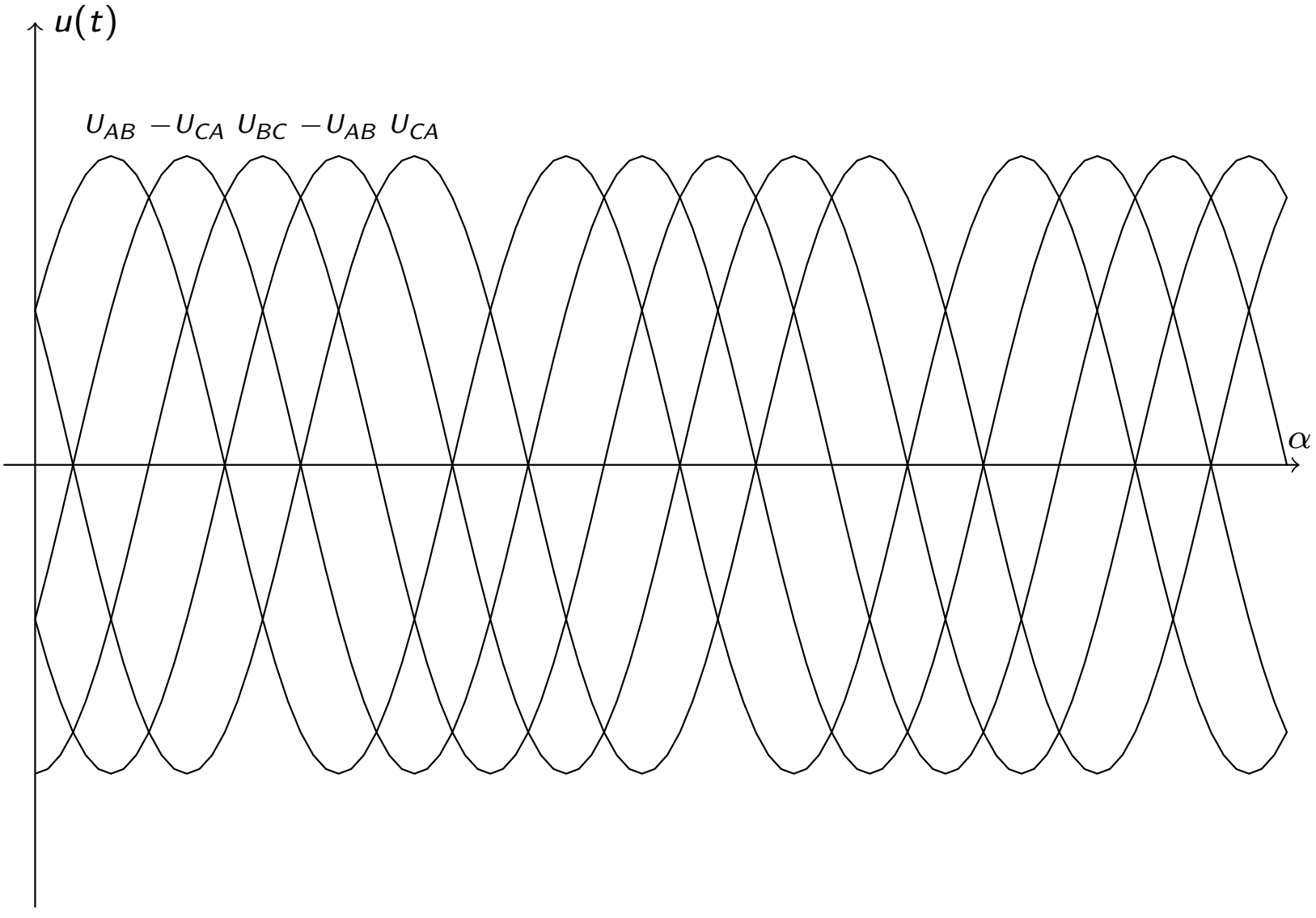

u(t)
U_AB
U_A
U_B
U_C
α

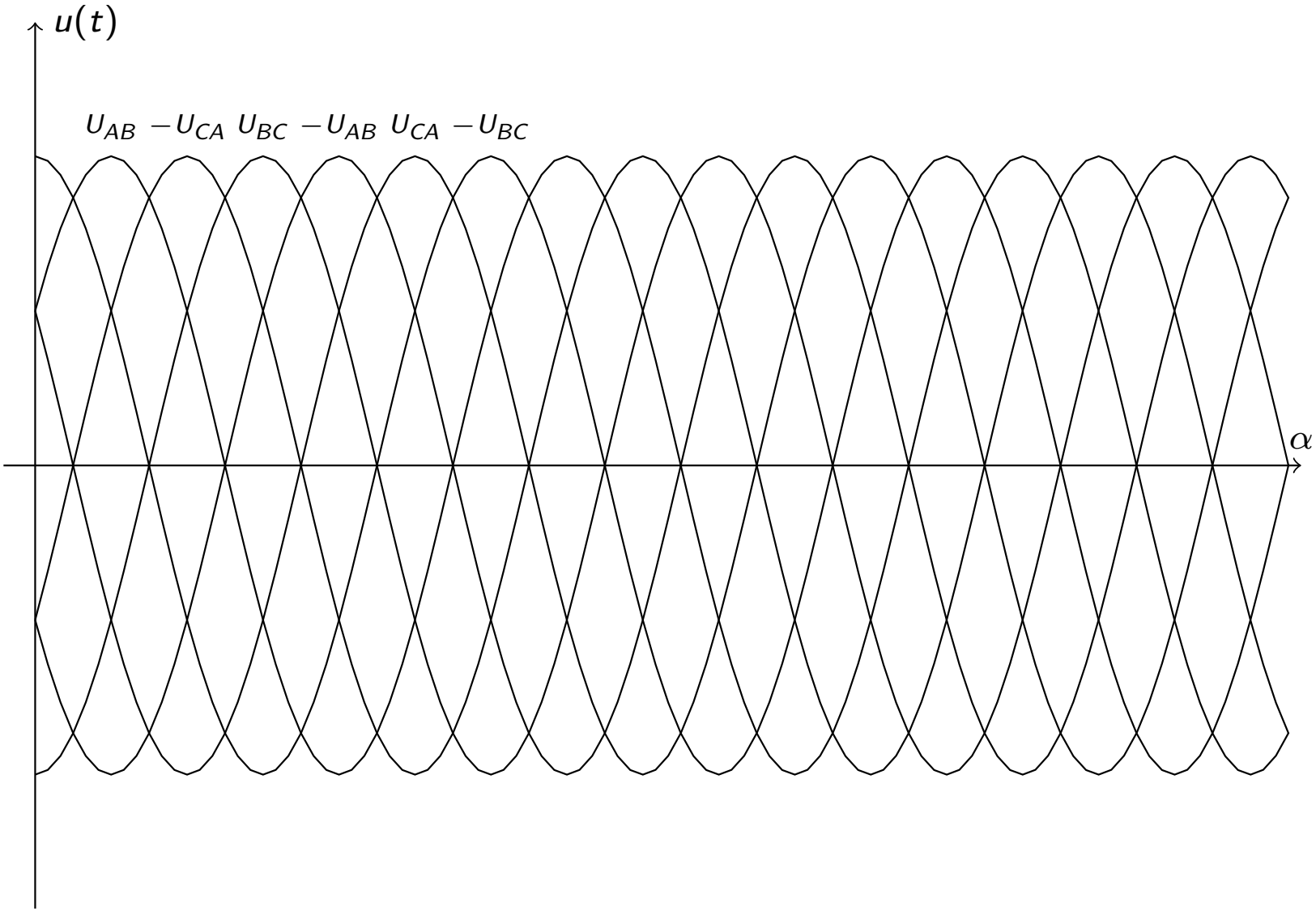

u(t)
U_AB
U_BC
U_A
U_B
U_C
α

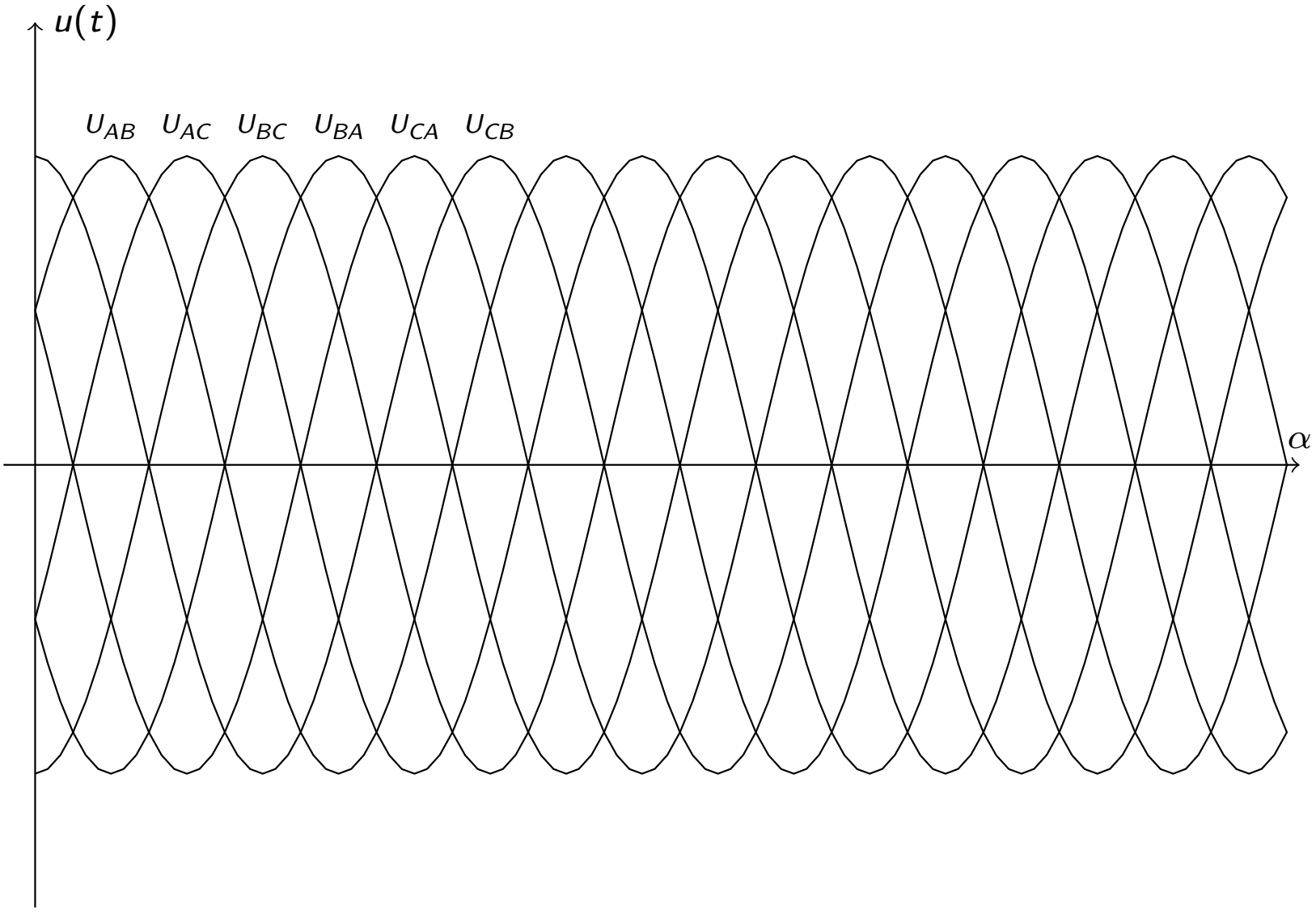

u(t)
U_AB
U_BC
U_CA
U_A
U_B
U_C
α

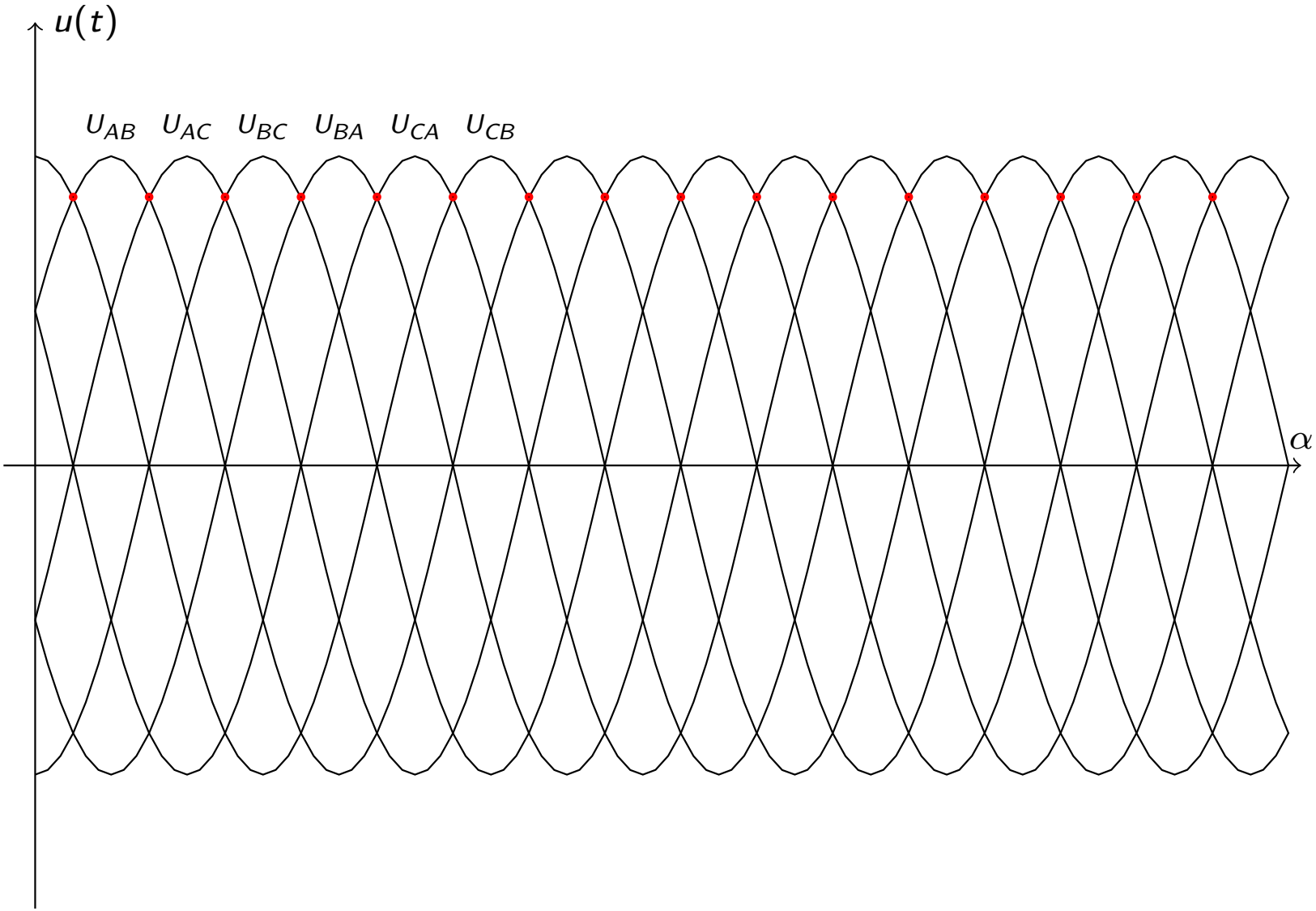

u(t)
U_AB
U_BC
U_CA
α

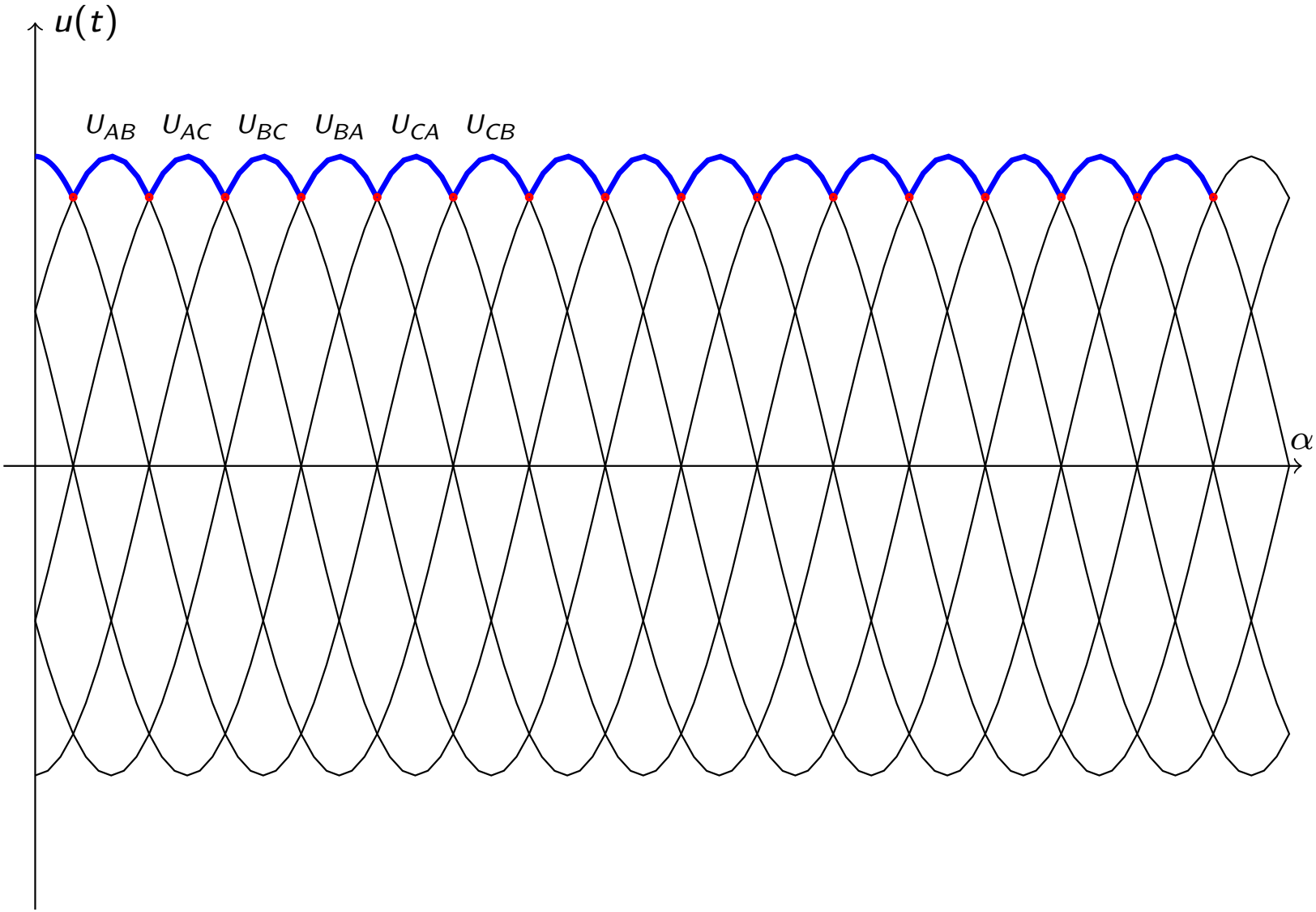

u(t)
U_AB
−U_CA
U_BC
U_CA
α

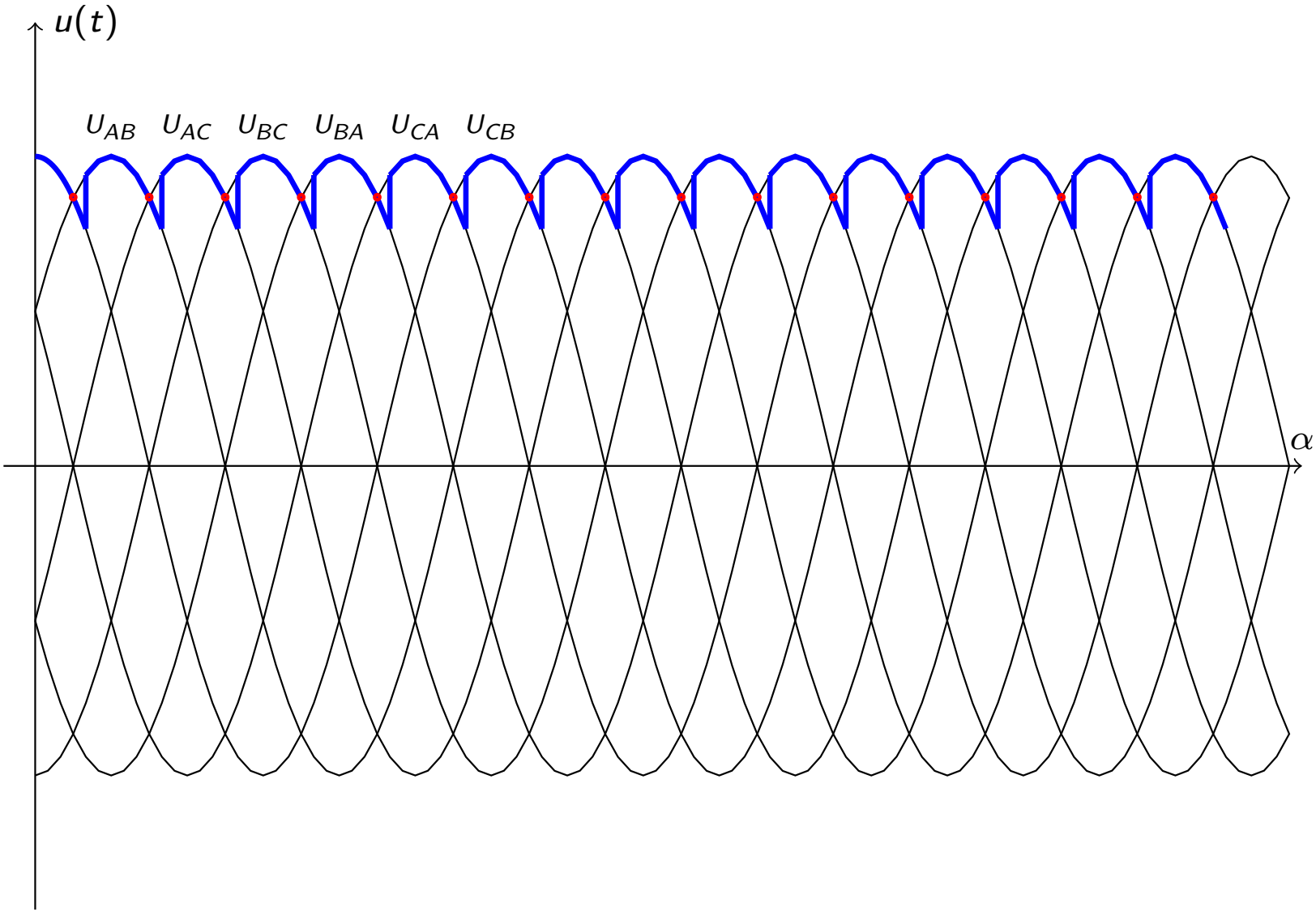

u(t)
U_AB −U_CA U_BC −U_AB U_CA
α

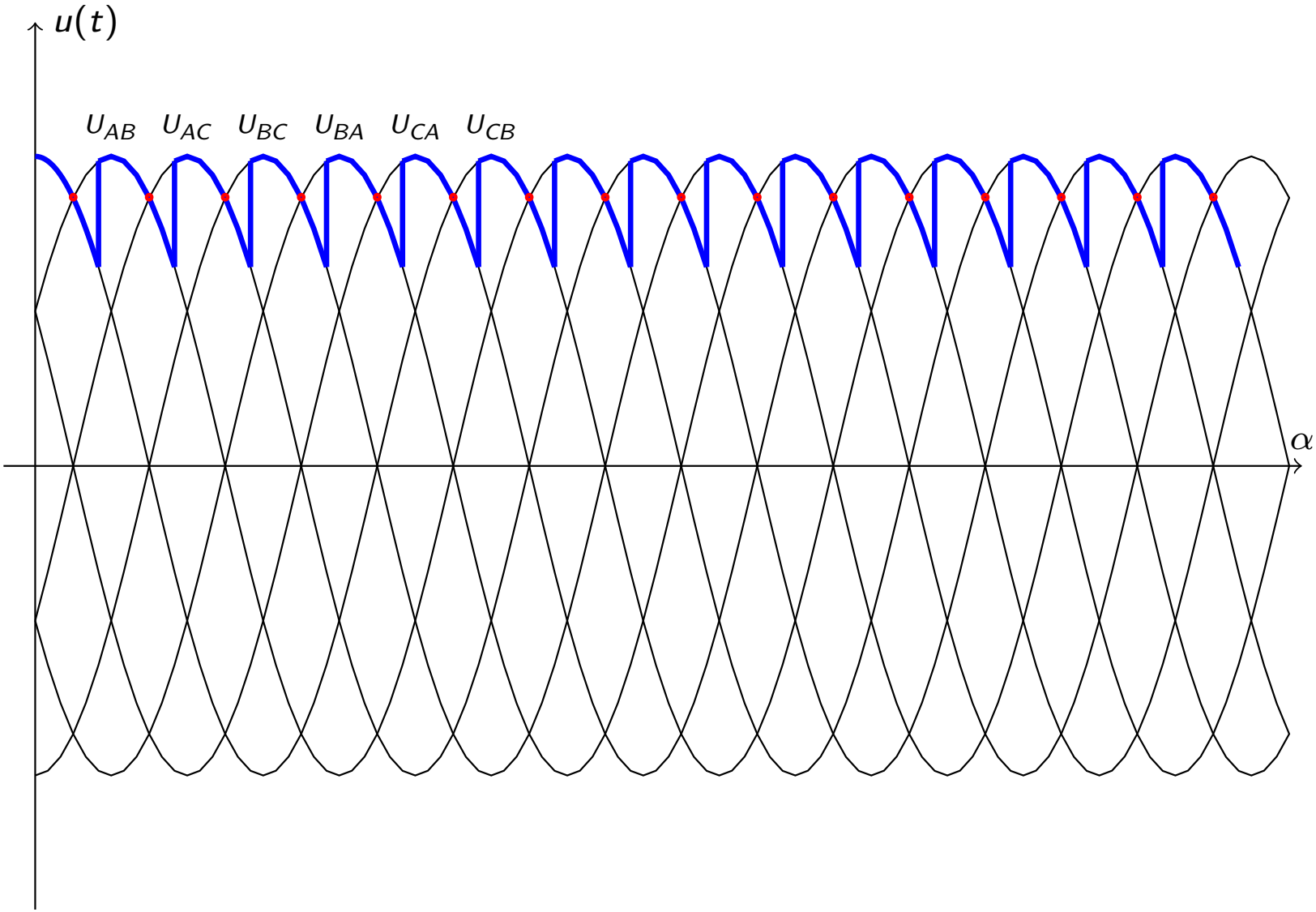

u(t)
U_AB −U_CA U_BC −U_AB U_CA −U_BC
α

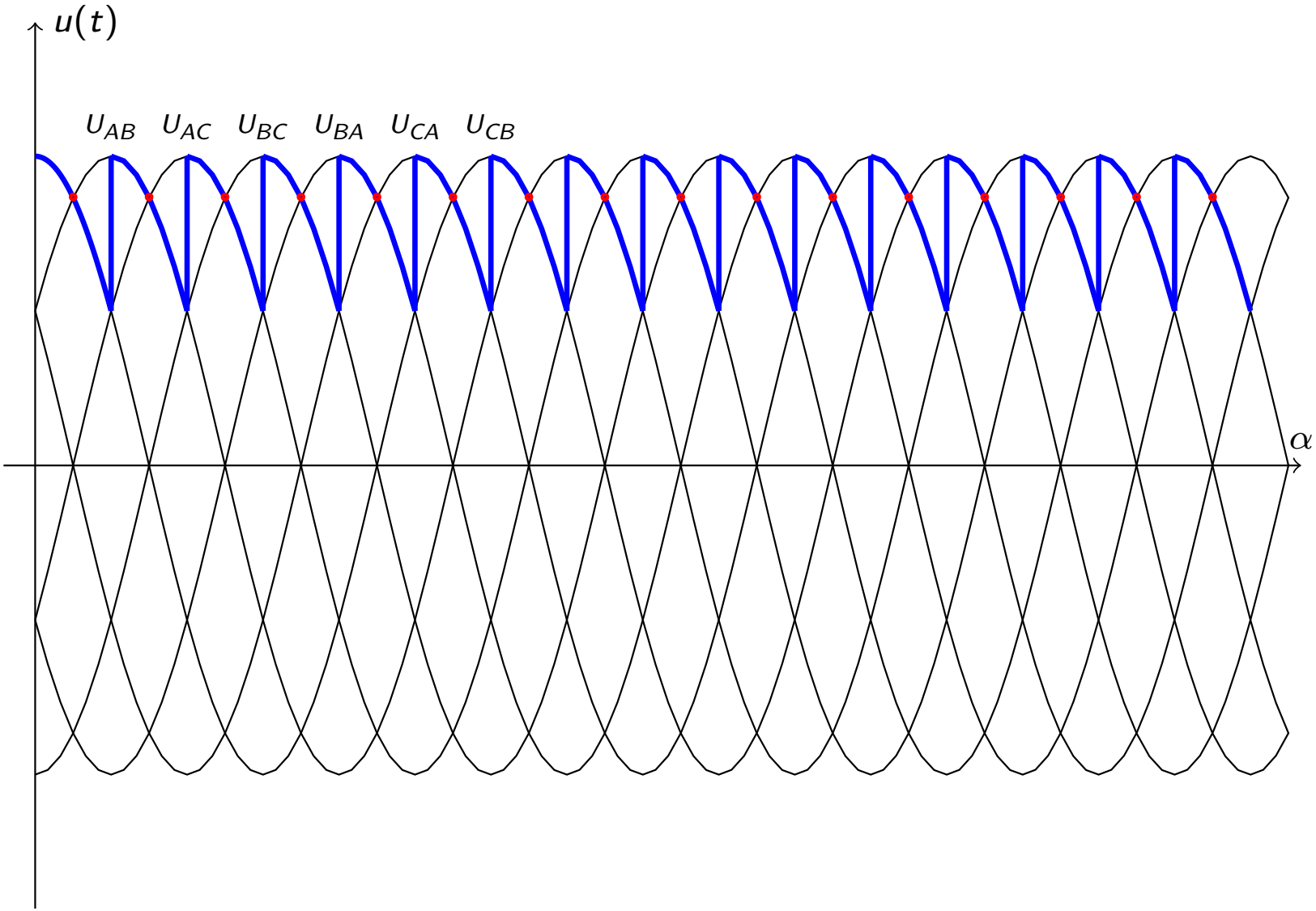

u(t)
U_AB U_AC U_BC U_BA U_CA U_CB
α

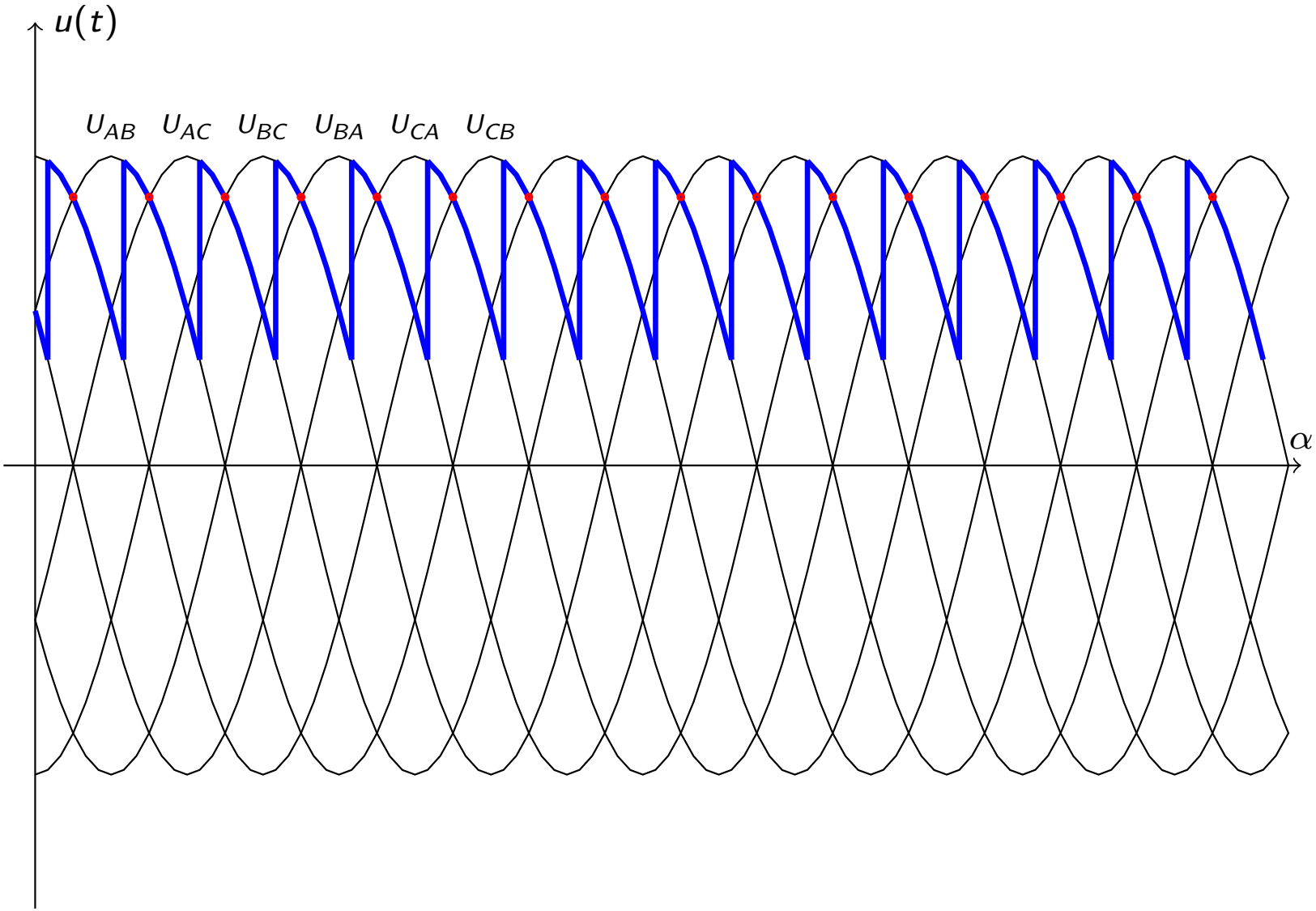

u(t)
U_AB
U_AC
U_BC
U_BA
U_CA
U_CB
α

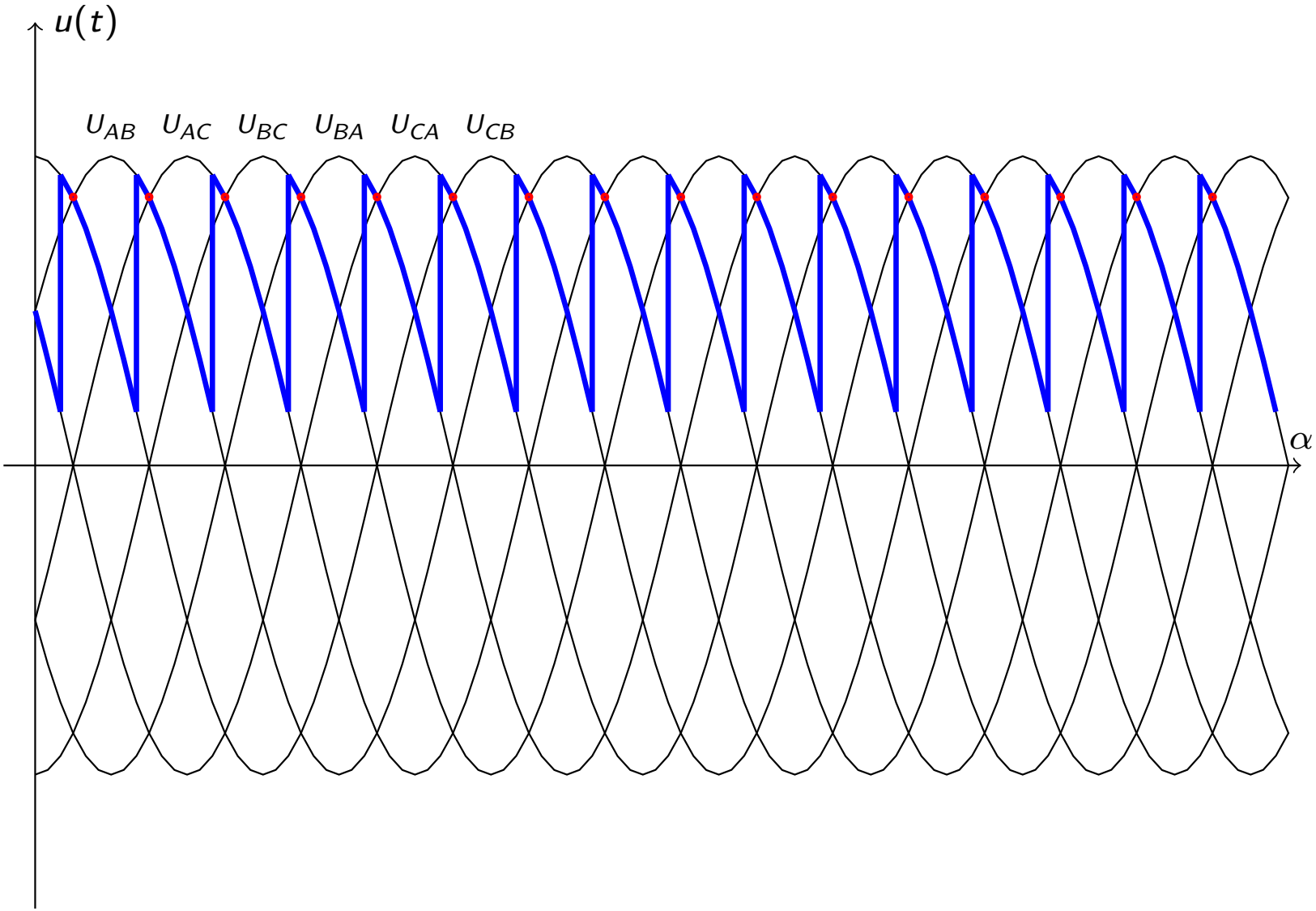

u(t)
U_AB
U_AC
U_BC
U_BA
U_CA
U_CB
α

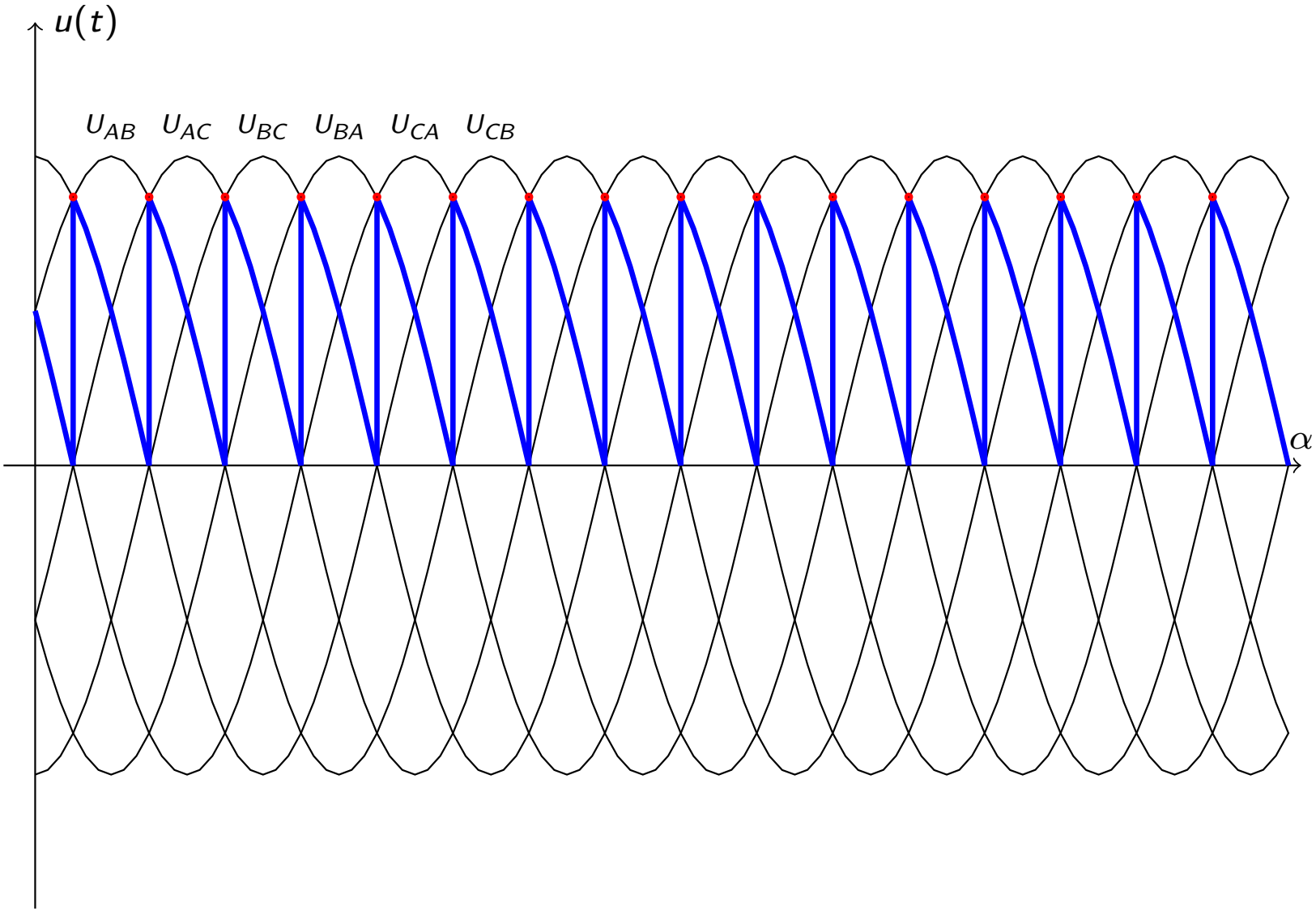

u(t)
U_AB
U_AC
U_BC
U_BA
U_CA
U_CB
α

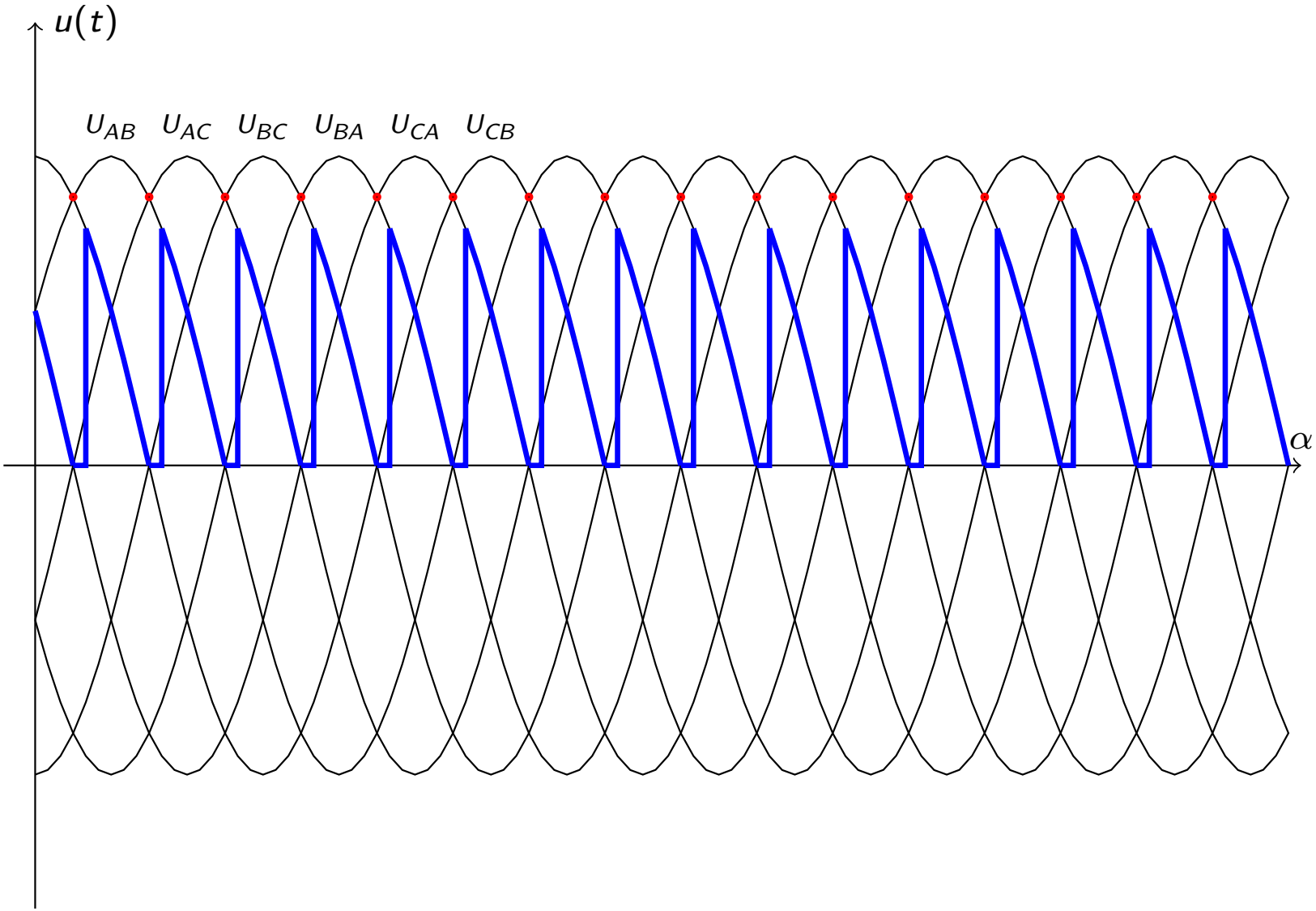

u(t)
U_AB
U_AC
U_BC
U_BA
U_CA
U_CB
α

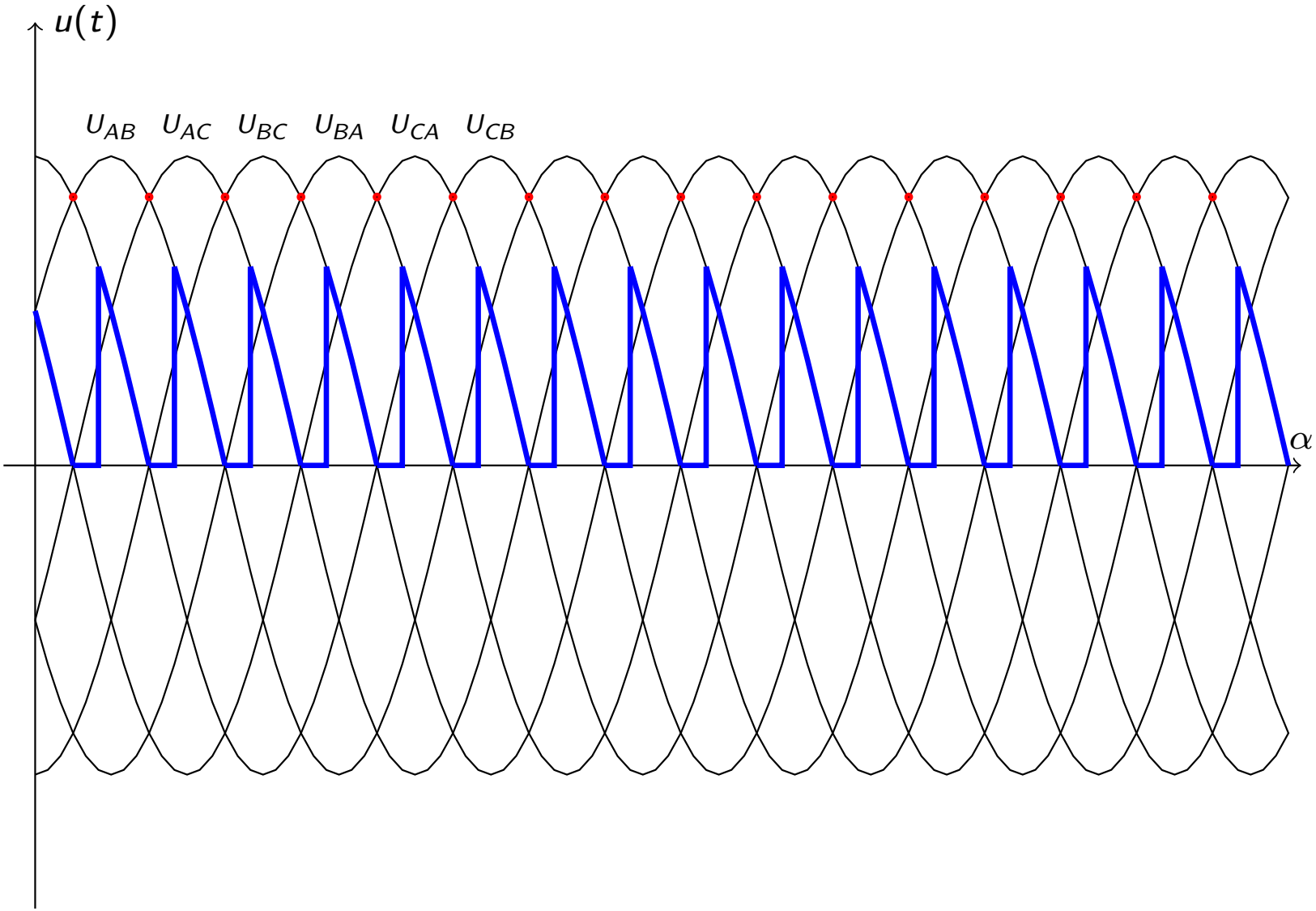

u(t)
U_AB
U_AC
U_BC
U_BA
U_CA
U_CB
α

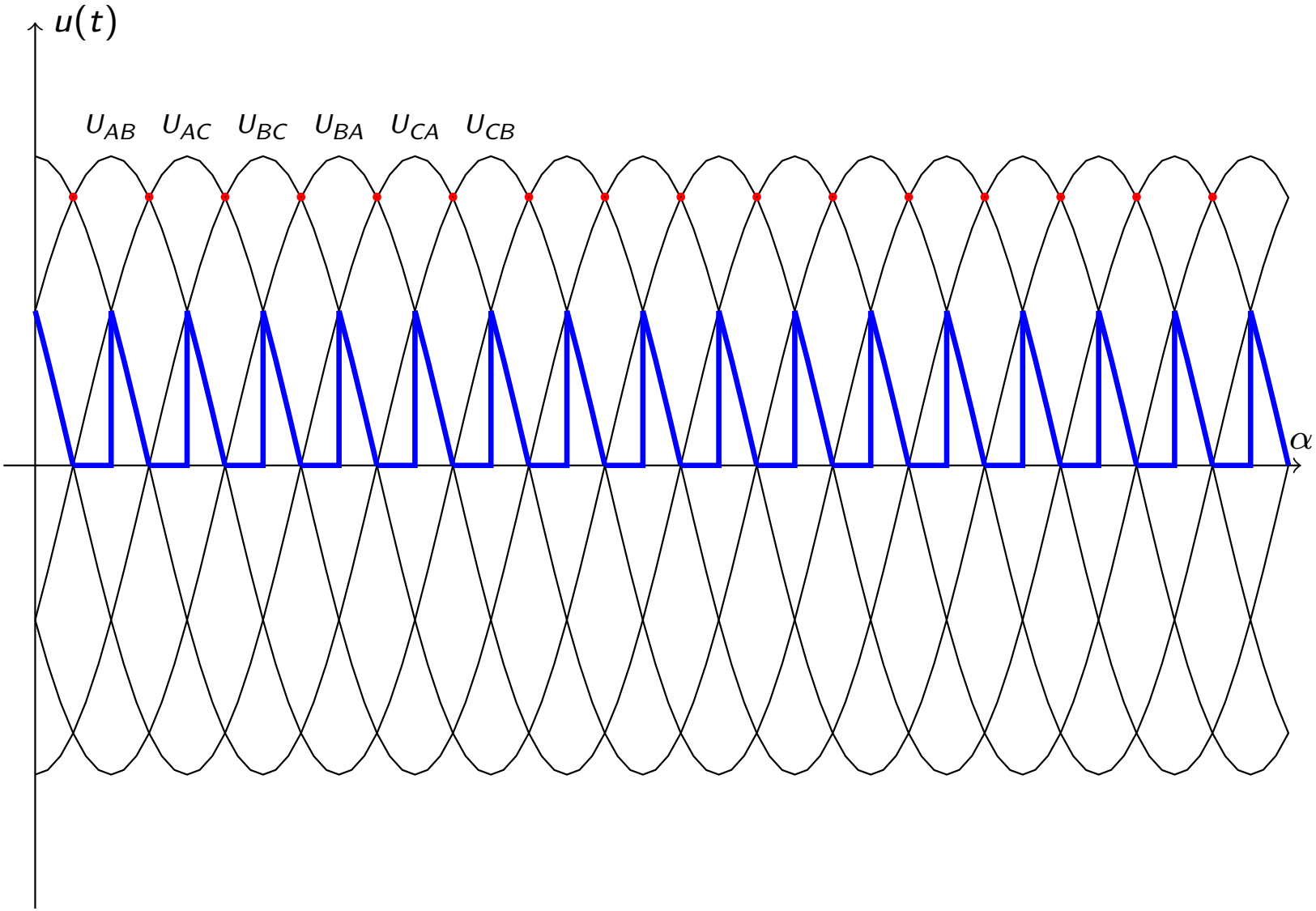

u(t)
U_AB
U_AC
U_BC
U_BA
U_CA
U_CB
α

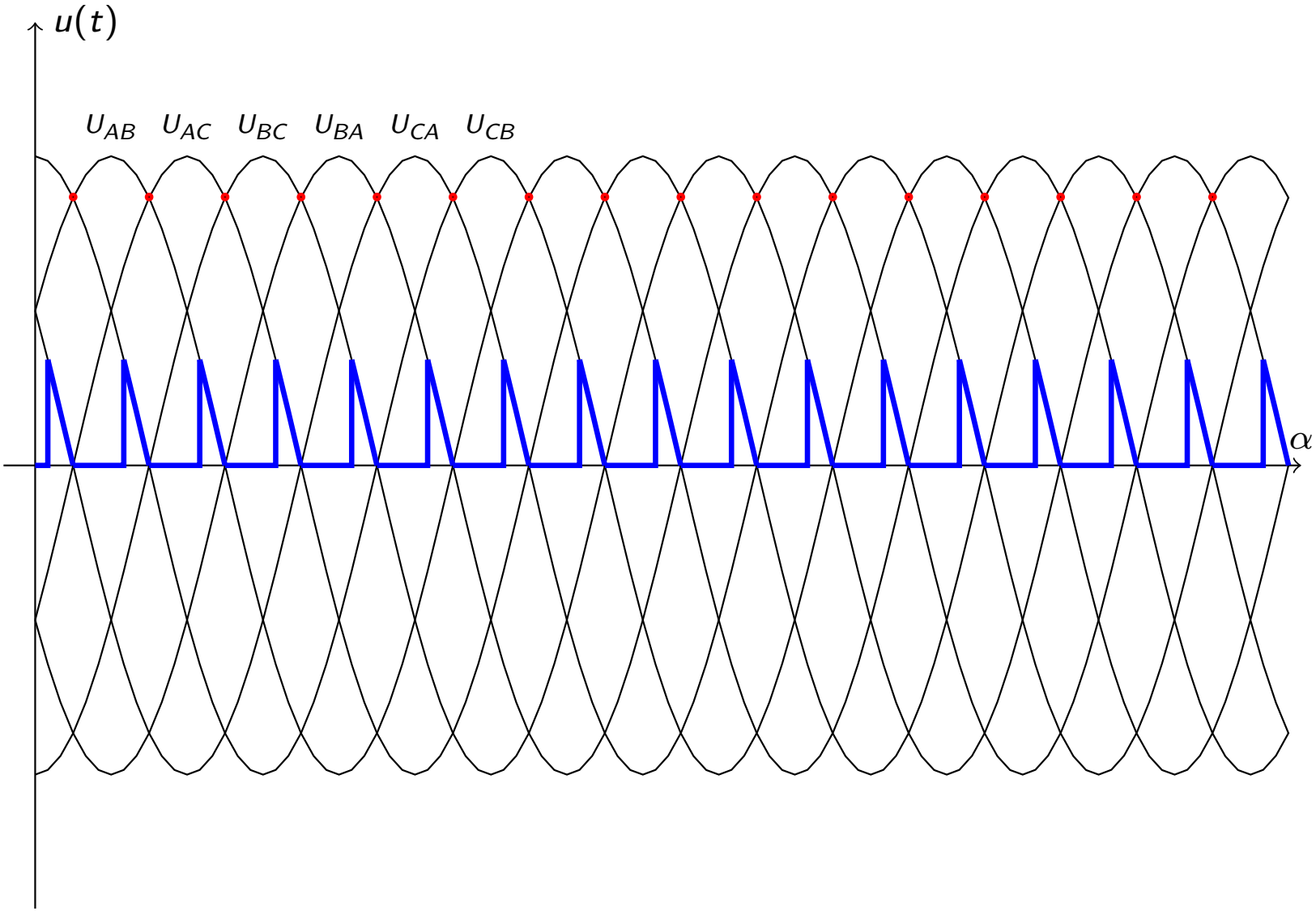

u(t)
U_AB
U_AC
U_BC
U_BA
U_CA
U_CB
α

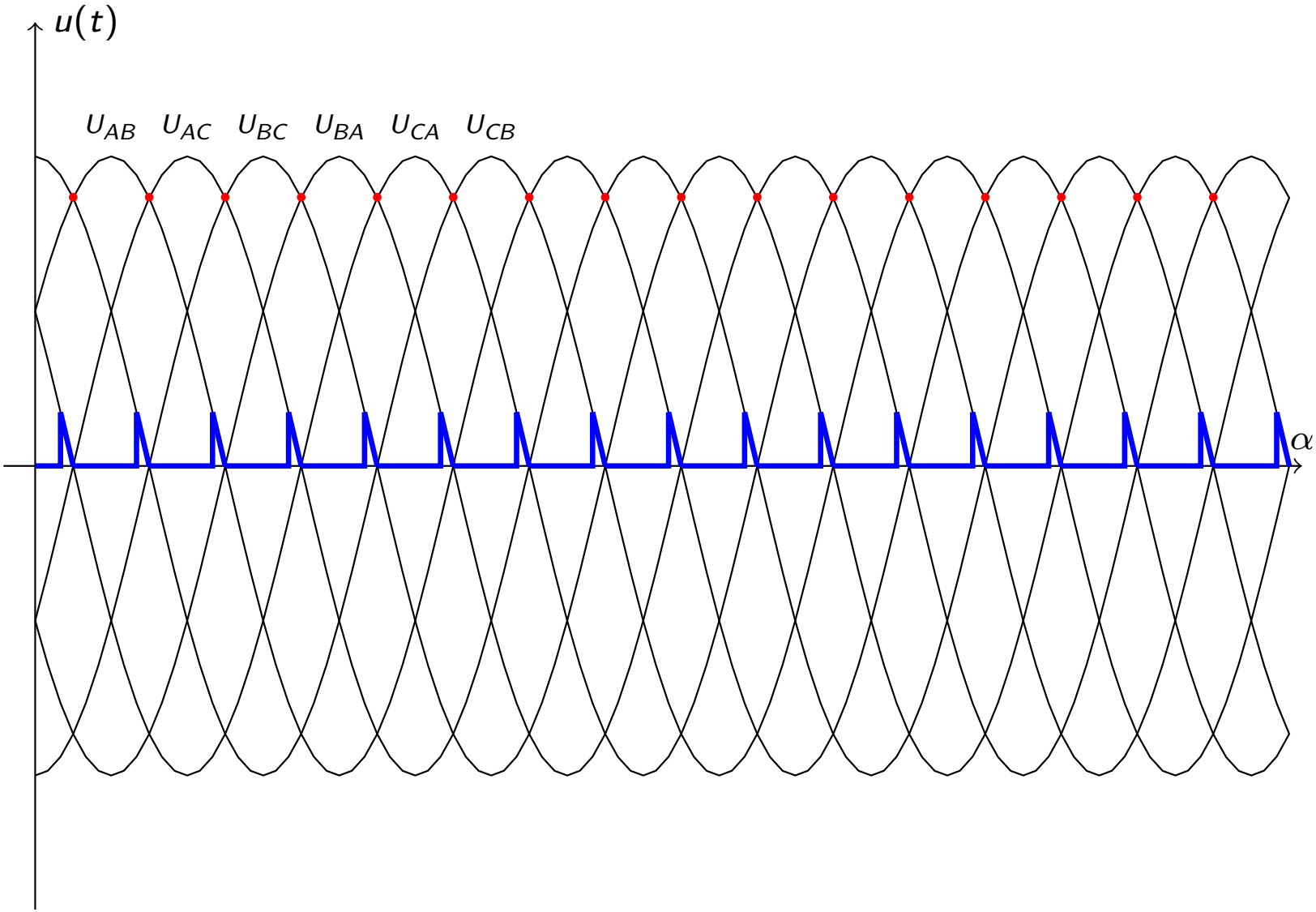

u(t)
U_AB U_AC U_BC U_BA U_CA U_CB
α

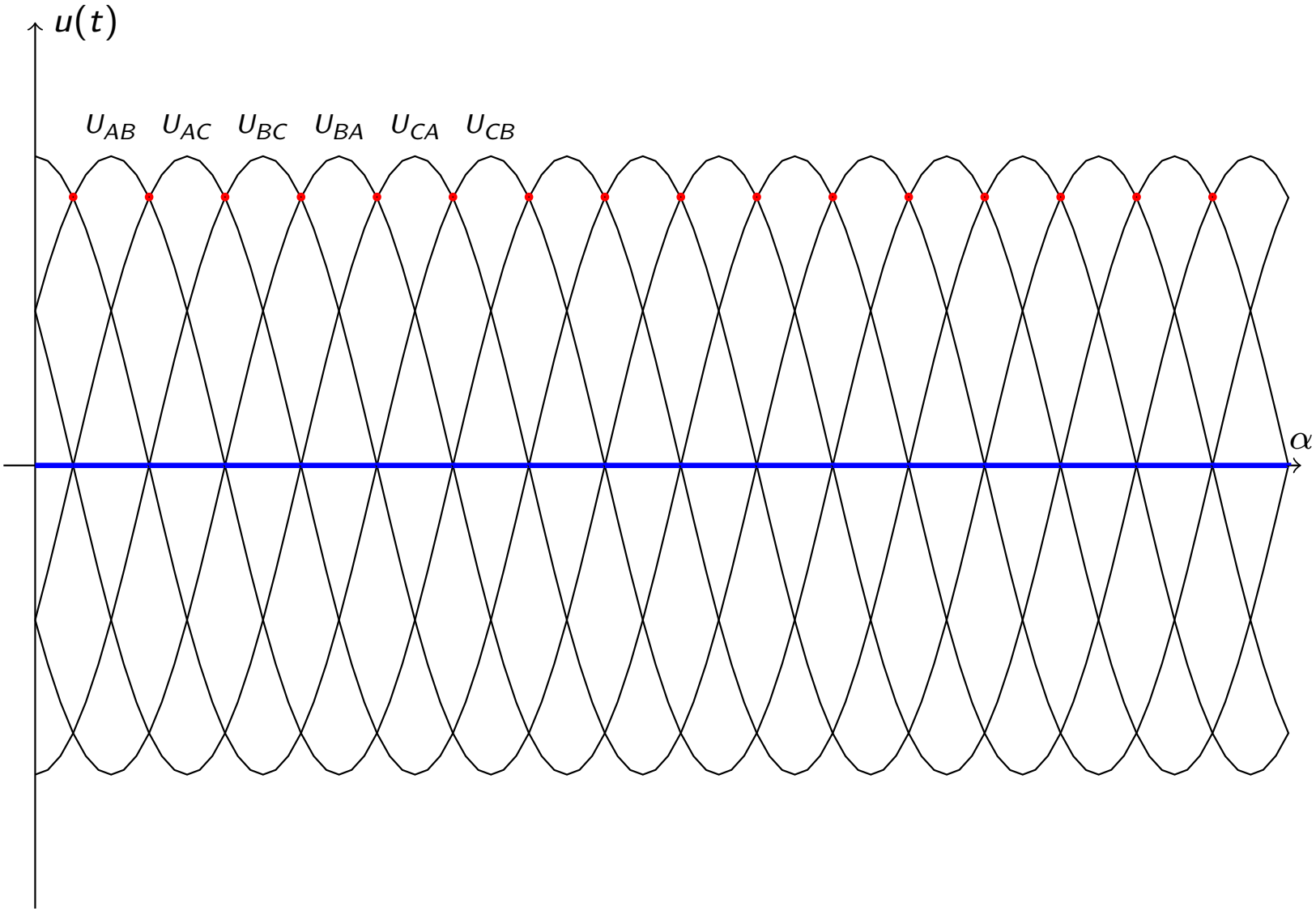

u(t)
U_AB U_AC U_BC U_BA U_CA U_CB
α


u(t)
U_AB U_AC U_BC U_BA U_CA U_CB
α


u(t)
U_AB U_AC U_BC U_BA U_CA U_CB
α

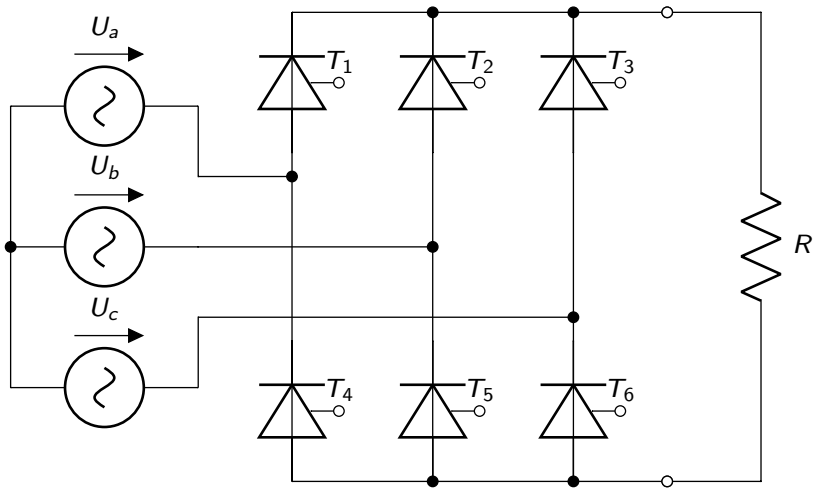

u(t)
U_AB U_AC U_BC U_BA U_CA U_CB
α


u(t)
U_AB U_AC U_BC U_BA U_CA U_CB
α


u(t)
U_AB
U_AC
U_BC
U_BA
U_CA
U_CB
α

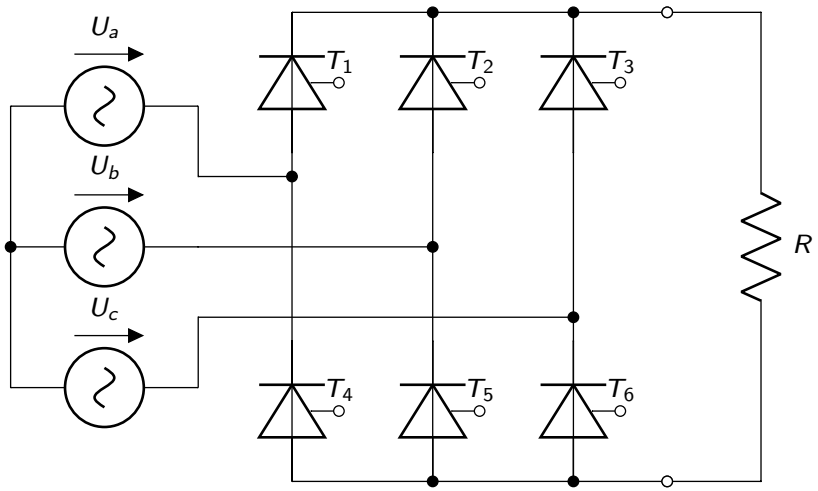
Sekwencja sterowania:

$$\begin{pmatrix} T1-T5 \\ T1-T6 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} T2-T6 \\ T2-T4 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} T3-T4 \\ T3-T5 \end{pmatrix}$$



Sekwencja sterowania:

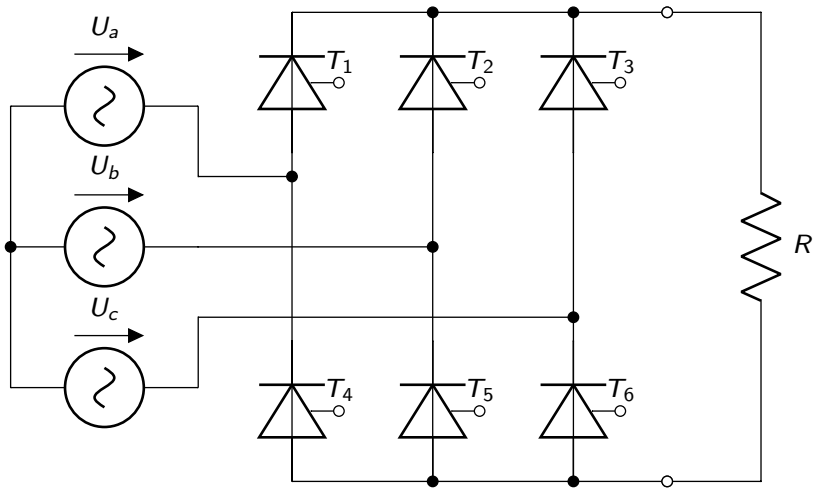
$$\begin{pmatrix} T1-T5 \\ T1-T6 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} T2-T6 \\ T2-T4 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} T3-T4 \\ T3-T5 \end{pmatrix}$$



- kolejność załączania tyrystorów wynika z przebiegu napięć trójfazowych
- każdy tyrystor załączany jest dwukrotnie lub jednokrotnie ale szerokim impulsem

Sekwencja sterowania:

$$\begin{pmatrix} T1-T5 \\ T1-T6 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} T2-T6 \\ T2-T4 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} T3-T4 \\ T3-T5 \end{pmatrix}$$

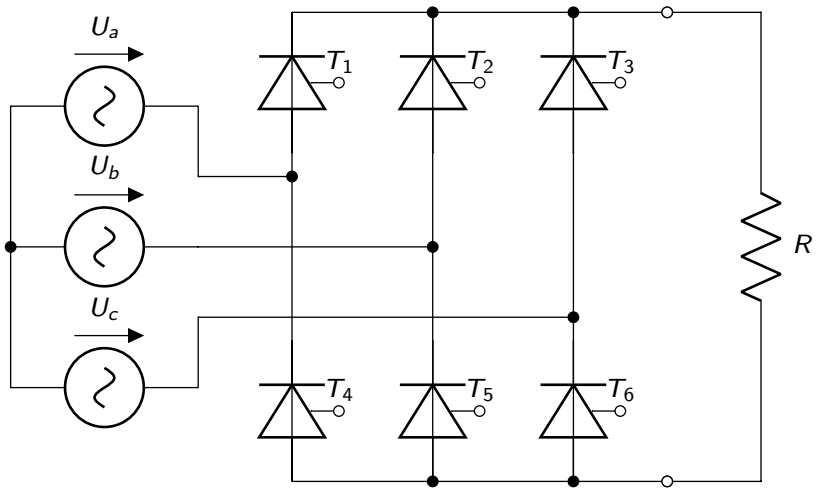


- kolejność załączania tyrystorów wynika z przebiegu napięć trójfazowych
- każdy tyrystor załączany jest dwukrotnie lub jednokrotnie ale szerokim impulsem

Zakres sterowania?

Sekwencja sterowania:

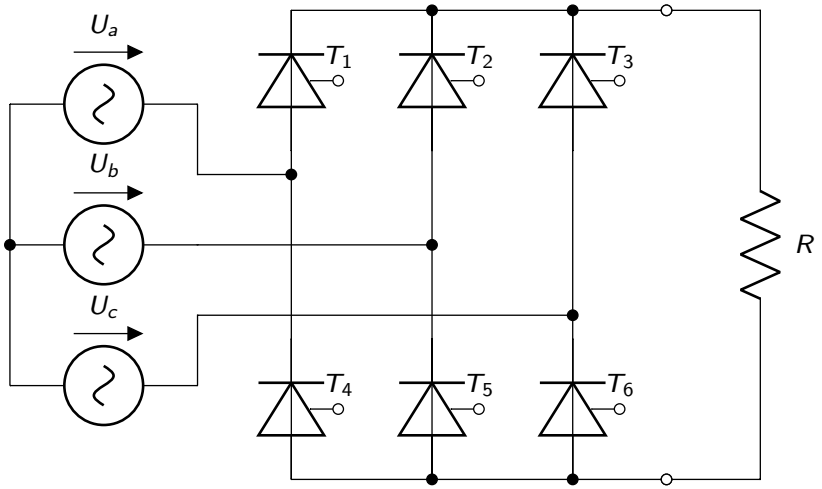
$$\begin{pmatrix} T1-T5 \\ T1-T6 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} T2-T6 \\ T2-T4 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} T3-T4 \\ T3-T5 \end{pmatrix}$$



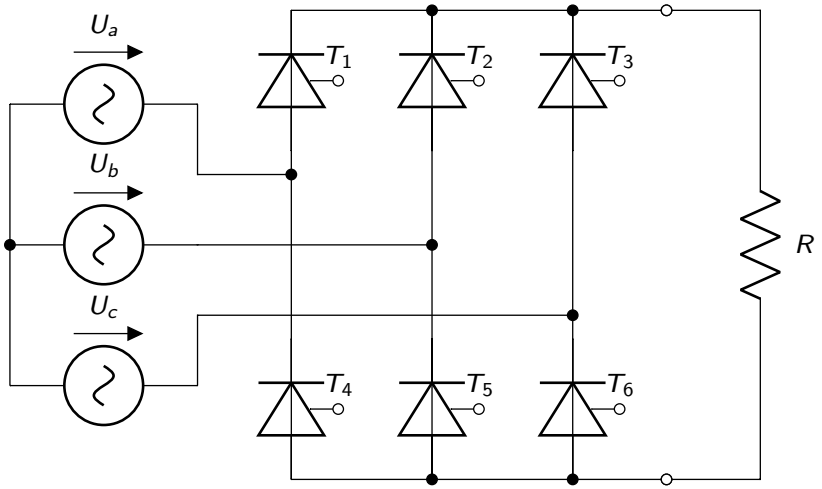
- kolejność załączania tyrystorów wynika z przebiegu napięć trójfazowych
- każdy tyrystor załączany jest dwukrotnie lub jednokrotnie ale szerokim impulsem

Zakres sterowania?

- $0 \leq \alpha_z \leq 120$
- $\alpha_z = 60$ - granica pomiędzy przewodzeniem ciągłym i przerywanym

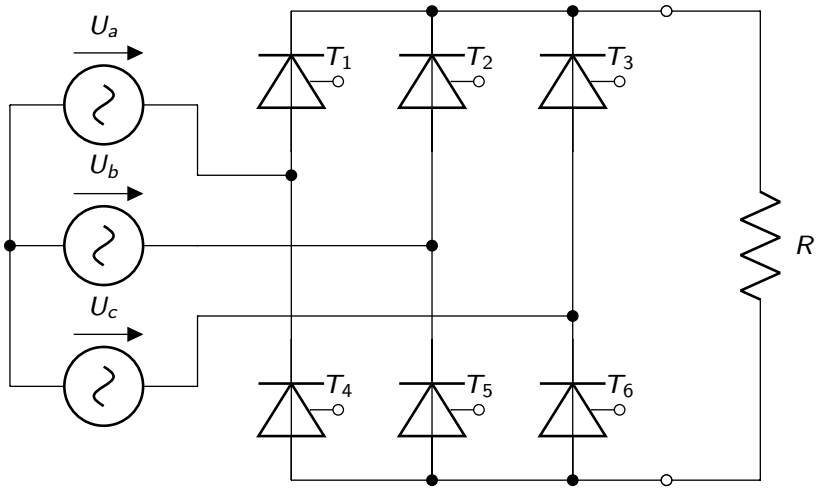


Zalety stosowania 3-f układów prostownikowych?

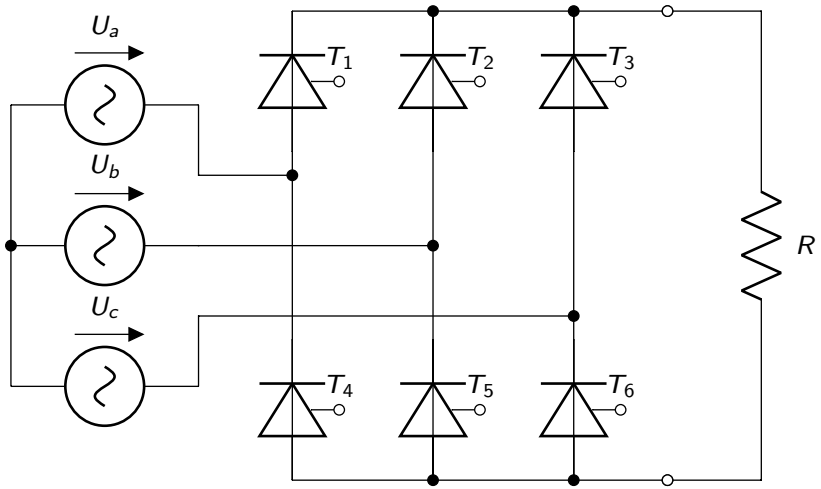


Zalety stosowania 3-f układów prostownikowych?

- symetryczne obciążenie faz zasilających
- mniejsza pulsacja i wyższa wartość średnia napięcia wyprostowanego
- możliwość zasilania odbiorników średnich, dużych i bardzo dużych mocy



Zalety układów mostkowych?



Zalety układów mostkowych?

- składowa stała za okres prądu pobieranego z sieci równa jest zero

Wyżej omawianych układ występuje **komutacja sieciowa**.

Wyżej omawianych układ występuje **komutacja sieciowa**.

?

Wyżej omawianych układ występuje **komutacja sieciowa**.

?

Komutacja sieciowa jest komutacją odbywającą się pod wpływem napięcia linii zasilającej.

Wyżej omawianych układ występuje **komutacja sieciowa**.

?

Komutacja sieciowa jest komutacją odbywającą się pod wpływem napięcia linii zasilającej.

Przebieg napięcia sieci wymusza wyłączenie tyrystorów (sprowadza prądy tyrystorów do zera).

Wzory

Wartość średnia (składowa stała):

Wzory

Wartość średnia (składowa stała):

$$U_d = \frac{1}{T} \int_0^T u(t)dt$$

Wzory

Wartość średnia (składowa stała):

$$U_d = \frac{1}{T} \int_0^T u(t)dt$$

$$U_d = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u(\alpha)d\alpha$$

Wzory

Wartość średnia (składowa stała):

$$U_d = \frac{1}{T} \int_0^T u(t)dt$$

$$U_d = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u(\alpha)d\alpha$$

Wartość skuteczna:

Wzory

Wartość średnia (składowa stała):

$$U_d = \frac{1}{T} \int_0^T u(t)dt$$

$$U_d = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u(\alpha)d\alpha$$

Wartość skuteczna:

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t)dt}$$

Wzory

Wartość średnia (składowa stała):

$$U_d = \frac{1}{T} \int_0^T u(t)dt$$

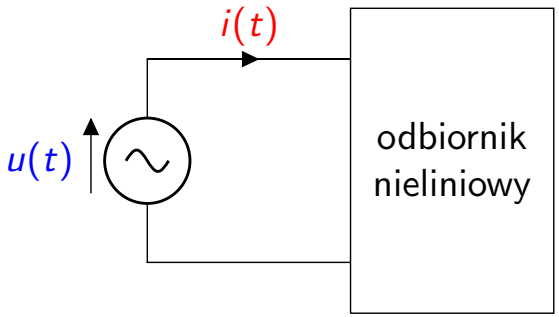
$$U_d = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u(\alpha)d\alpha$$

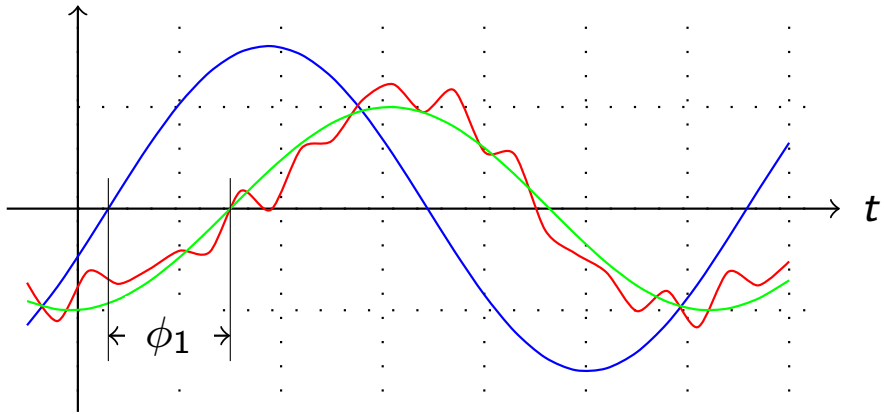
Wartość skuteczna:

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t)dt}$$

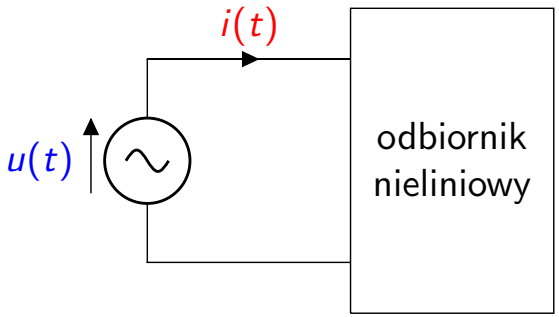
$$U = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u^2(\alpha)d\alpha}$$

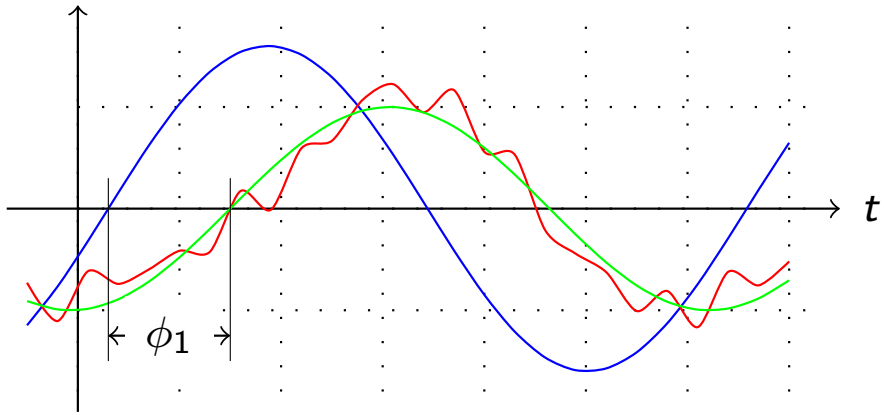
Wzory





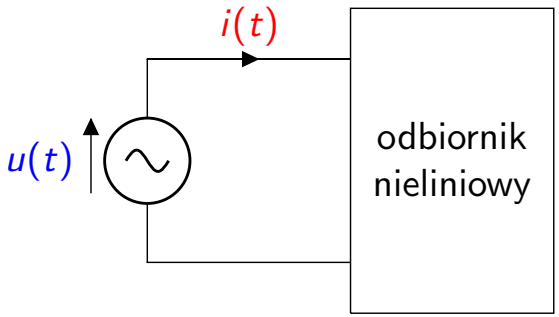
Wzory

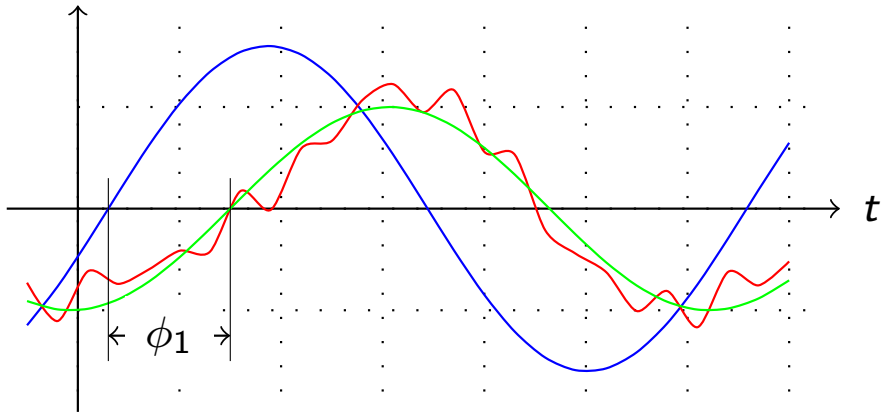




$u(t)$- napięcie zasilania (sinusoidalne)

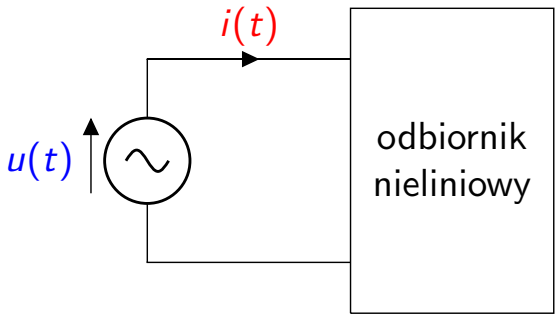
Wzory

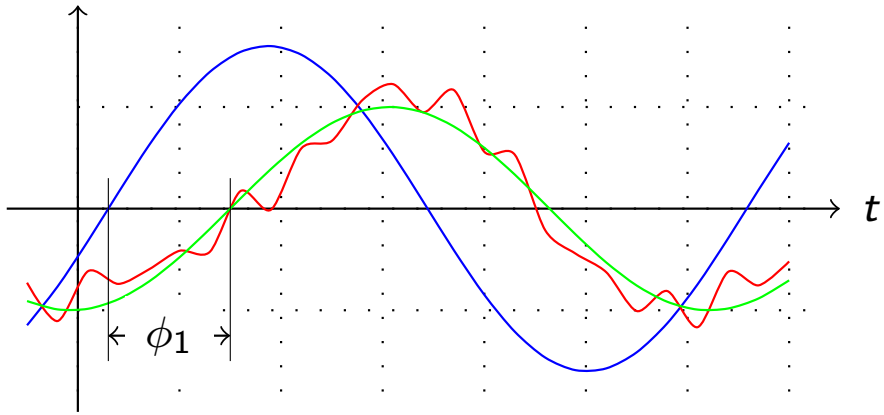




$u(t)$- napięcie zasilania (sinusoidalne)
$i(t)$ - prąd pobierany z sieci (odkształcony)

Wzory

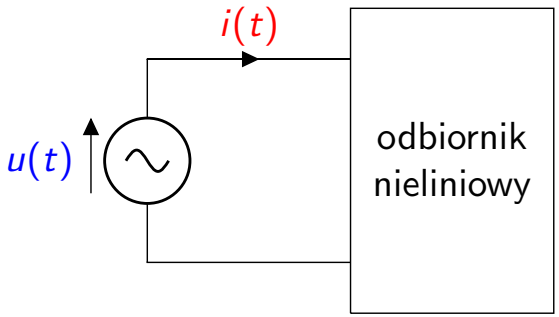


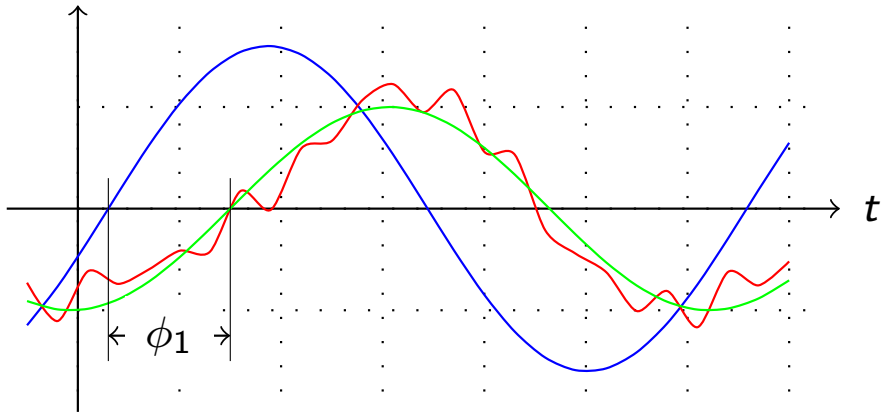


$u(t)$- napięcie zasilania (sinusoidalne)
$i(t)$ - prąd pobierany z sieci (odkształcony)

$$i(t) = i_1(t) + i_D(t)$$

Wzory



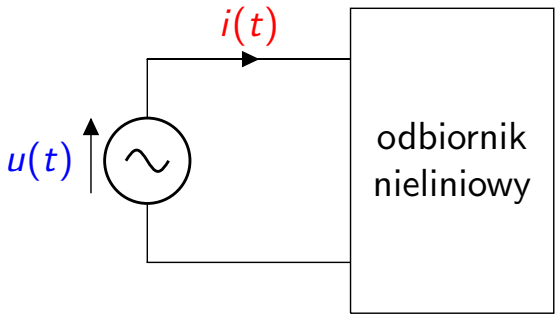


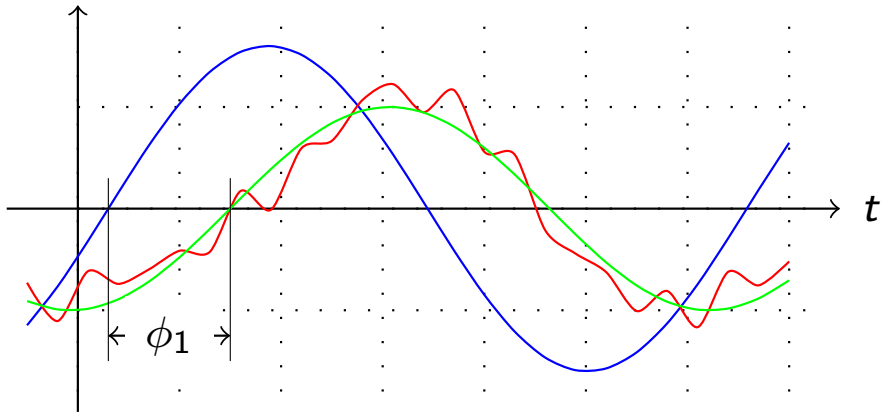
$u(t)$- napięcie zasilania (sinusoidalne)
$i(t)$ - prąd pobierany z sieci (odkształcony)

$$i(t) = i_1(t) + i_D(t)$$

$i_1(t)$ - podstawowa harmoniczna prądu $i(t)$ przesunięta w fazie o ϕ_1 względem napięcia $u(t)$

Wzory



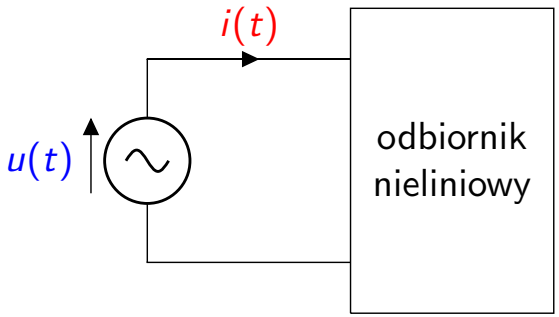


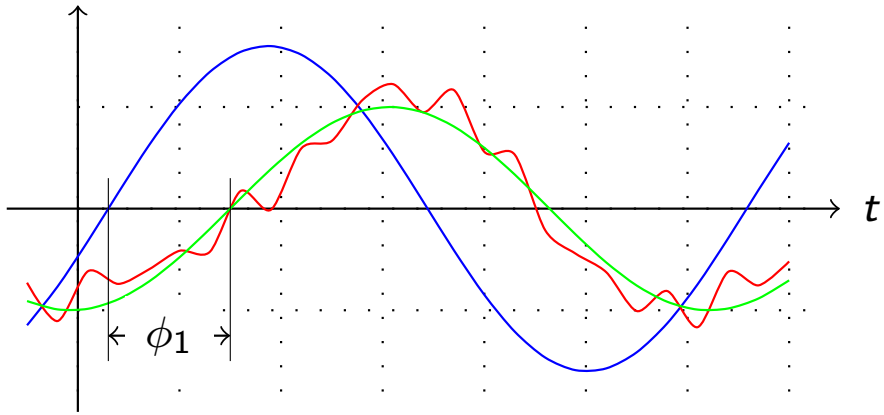
$u(t)$- napięcie zasilania (sinusoidalne)
$i(t)$ - prąd pobierany z sieci (odkształcony)

$$i(t) = i_1(t) + i_D(t)$$

$i_1(t)$ - podstawowa harmoniczna prądu $i(t)$ przesunięta w fazie o ϕ_1 względem napięcia $u(t)$
i_D - pozostałe składowe prądu $i(t)$

Wzory



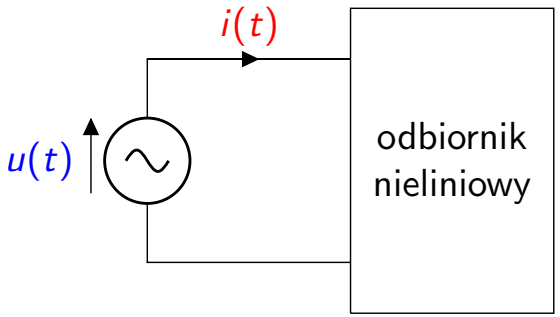


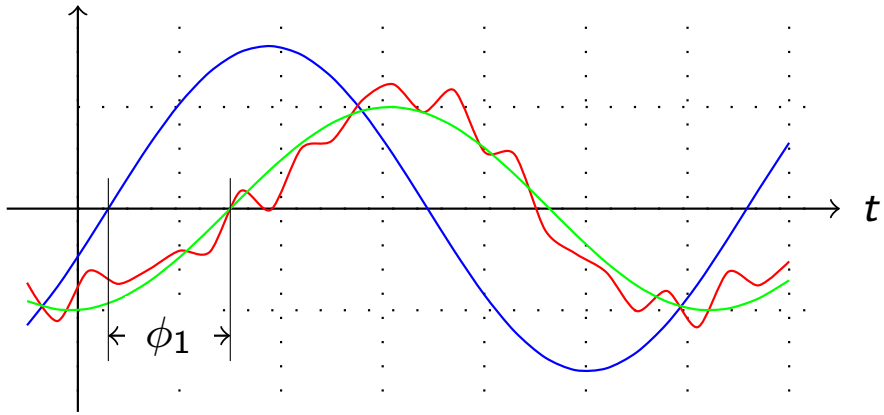
$u(t)$- napięcie zasilania (sinusoidalne)
$i(t)$ - prąd pobierany z sieci (odkształcony)

$$i(t) = i_1(t) + i_D(t)$$

$i_1(t)$ - podstawowa harmoniczna prądu $i(t)$ przesunięta w fazie o ϕ_1 względem napięcia $u(t)$
i_D - pozostałe składowe prądu $i(t)$
U, I, I_1 - wartości skuteczne odpowiednio: $u(t)$, $i(t)$ oraz $i_1(t)$

Wzory





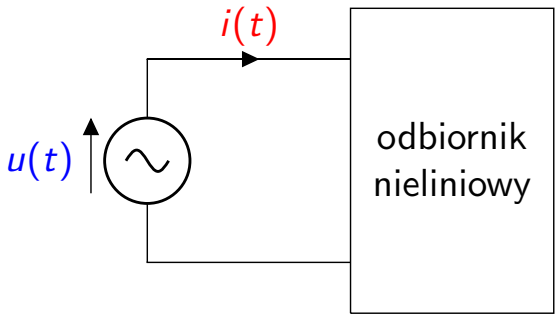
$u(t)$- napięcie zasilania (sinusoidalne)
$i(t)$ - prąd pobierany z sieci (odkształcony)

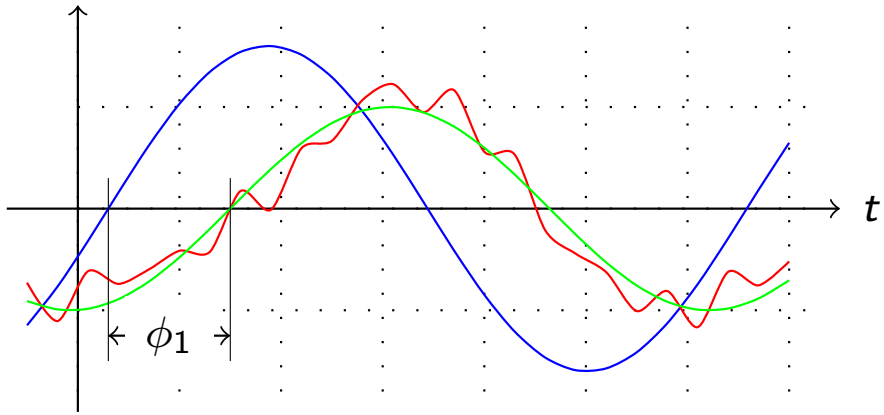
$$i(t) = i_1(t) + i_D(t)$$

$i_1(t)$ - podstawowa harmoniczna prądu $i(t)$ przesunięta w fazie o ϕ_1 względem napięcia $u(t)$
i_D - pozostałe składowe prądu $i(t)$
U, I, I_1 - wartości skuteczne odpowiednio: $u(t)$, $i(t)$ oraz $i_1(t)$

Moc pozorna:

Wzory





$u(t)$- napięcie zasilania (sinusoidalne)
$i(t)$ - prąd pobierany z sieci (odkształcony)

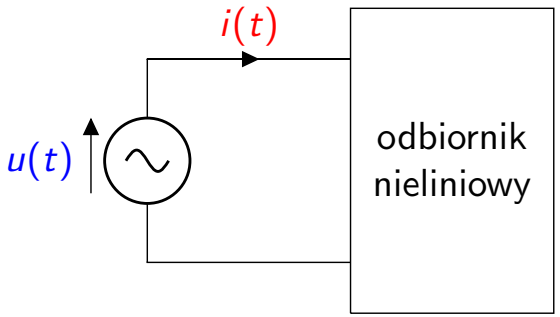
$$i(t) = i_1(t) + i_D(t)$$

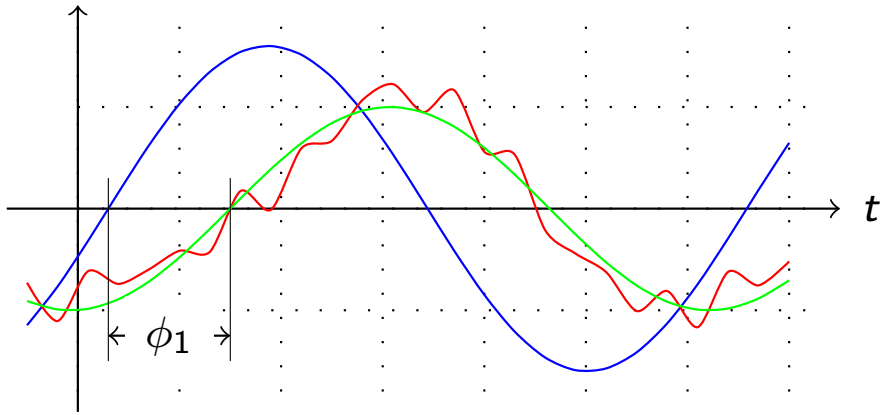
$i_1(t)$ - podstawowa harmoniczna prądu $i(t)$ przesunięta w fazie o ϕ_1 względem napięcia $u(t)$
i_D - pozostałe składowe prądu $i(t)$
U, I, I_1 - wartości skuteczne odpowiednio: $u(t)$, $i(t)$ oraz $i_1(t)$

Moc pozorna:

$$S = UI$$

Wzory





$u(t)$- napięcie zasilania (sinusoidalne)
$i(t)$ - prąd pobierany z sieci (odkształcony)

$$i(t) = i_1(t) + i_D(t)$$

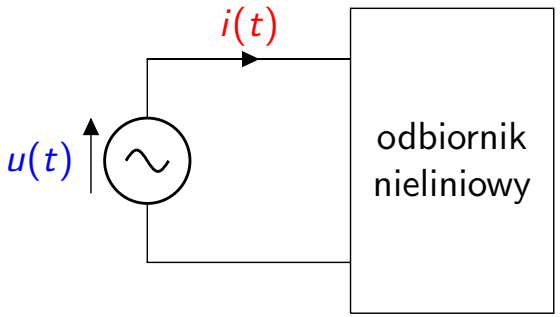
$i_1(t)$ - podstawowa harmoniczna prądu $i(t)$ przesunięta w fazie o ϕ_1 względem napięcia $u(t)$
i_D - pozostałe składowe prądu $i(t)$
U, I, I_1 - wartości skuteczne odpowiednio: $u(t)$, $i(t)$ oraz $i_1(t)$

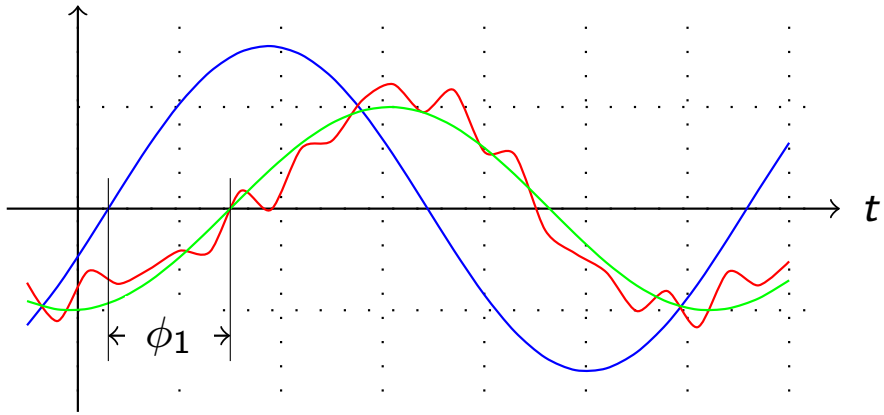
Moc pozorna:

$$S = UI$$

Moc czynna:

Wzory





$u(t)$- napięcie zasilania (sinusoidalne)
$i(t)$ - prąd pobierany z sieci (odkształcony)

$$i(t) = i_1(t) + i_D(t)$$

$i_1(t)$ - podstawowa harmoniczna prądu $i(t)$ przesunięta w fazie o ϕ_1 względem napięcia $u(t)$
i_D - pozostałe składowe prądu $i(t)$
U, I, I_1 - wartości skuteczne odpowiednio: $u(t)$, $i(t)$ oraz $i_1(t)$

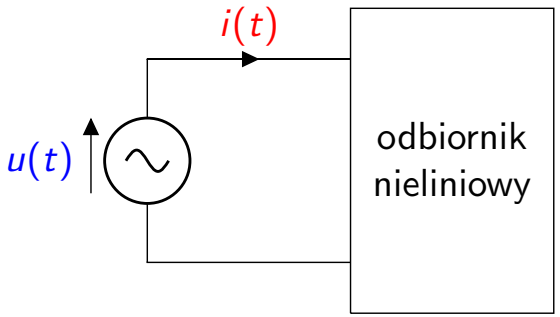
Moc pozorna:

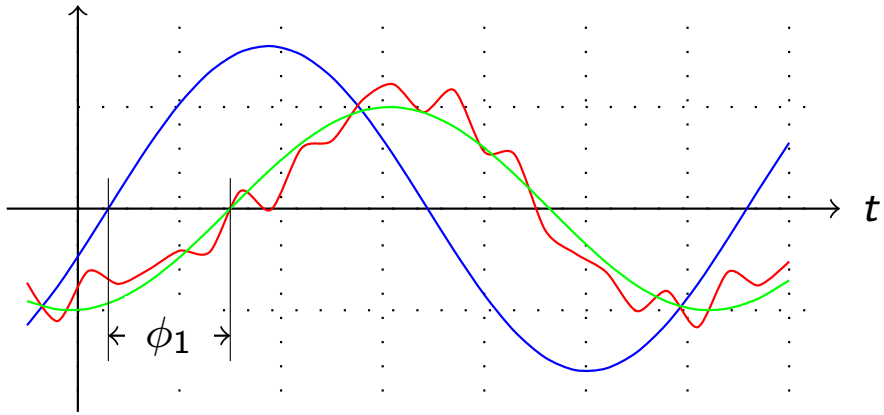
$$S = UI$$

Moc czynna:

$$P = UI_1 cos(\phi_1)$$

Wzory





$u(t)$- napięcie zasilania (sinusoidalne)
$i(t)$ - prąd pobierany z sieci (odkształcony)

$$i(t) = i_1(t) + i_D(t)$$

$i_1(t)$ - podstawowa harmoniczna prądu $i(t)$ przesunięta w fazie o ϕ_1 względem napięcia $u(t)$
i_D - pozostałe składowe prądu $i(t)$
U, I, I_1 - wartości skuteczne odpowiednio: $u(t)$, $i(t)$ oraz $i_1(t)$

Moc pozorna:

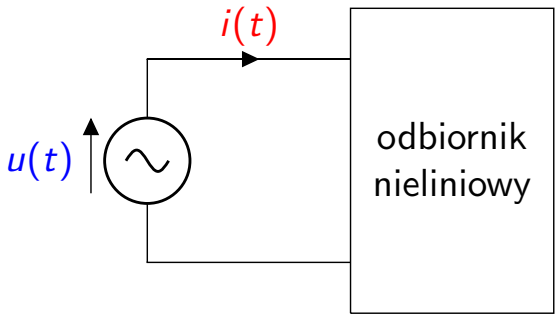
$$S = UI$$

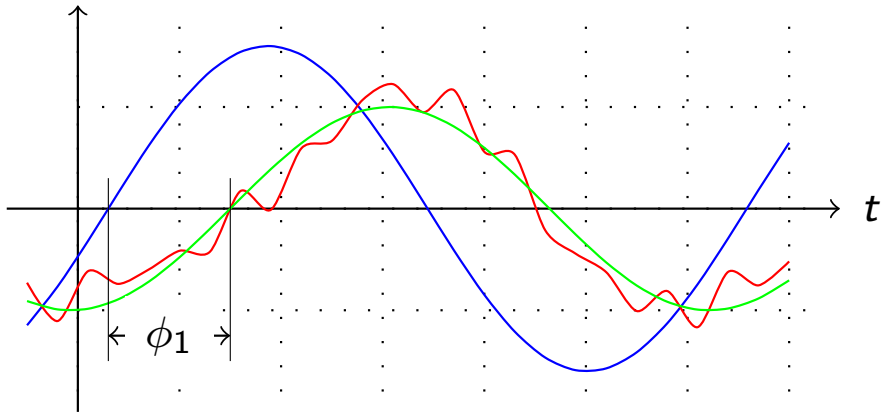
Moc czynna:

$$P = UI_1 cos(\phi_1)$$

Moc bierna:

Wzory





$u(t)$- napięcie zasilania (sinusoidalne)
$i(t)$ - prąd pobierany z sieci (odkształcony)

$$i(t) = i_1(t) + i_D(t)$$

$i_1(t)$ - podstawowa harmoniczna prądu $i(t)$ przesunięta w fazie o ϕ_1 względem napięcia $u(t)$
i_D - pozostałe składowe prądu $i(t)$
U, I, I_1 - wartości skuteczne odpowiednio: $u(t)$, $i(t)$ oraz $i_1(t)$

Moc pozorna:

$$S = UI$$

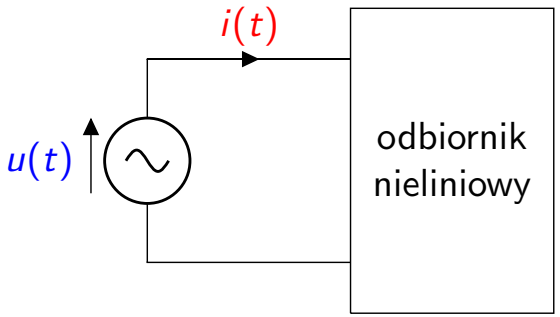
Moc czynna:

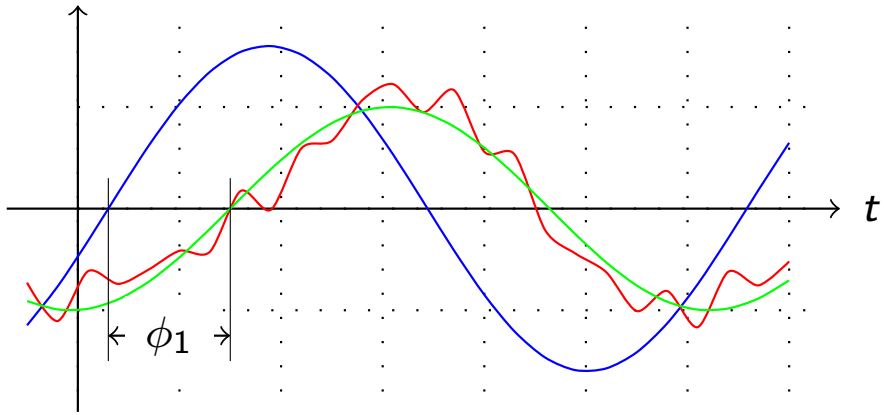
$$P = UI_1 cos(\phi_1)$$

Moc bierna:

$$Q = UI_1 sin(\phi_1)$$

Wzory





$u(t)$- napięcie zasilania (sinusoidalne)
$i(t)$ - prąd pobierany z sieci (odkształcony)

$$i(t) = i_1(t) + i_D(t)$$

$i_1(t)$ - podstawowa harmoniczna prądu $i(t)$ przesunięta w fazie o ϕ_1 względem napięcia $u(t)$
i_D - pozostałe składowe prądu $i(t)$
U, I, I_1 - wartości skuteczne odpowiednio: $u(t)$, $i(t)$ oraz $i_1(t)$

Moc pozorna:

$$S = UI$$

Moc czynna:

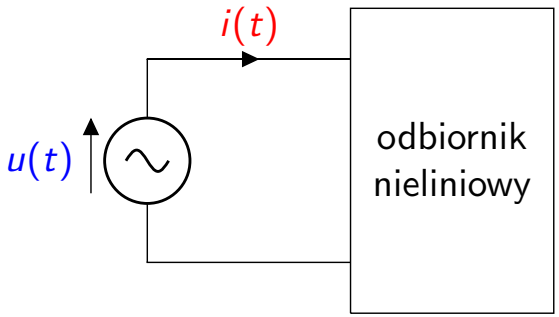
$$P = UI_1 cos(\phi_1)$$

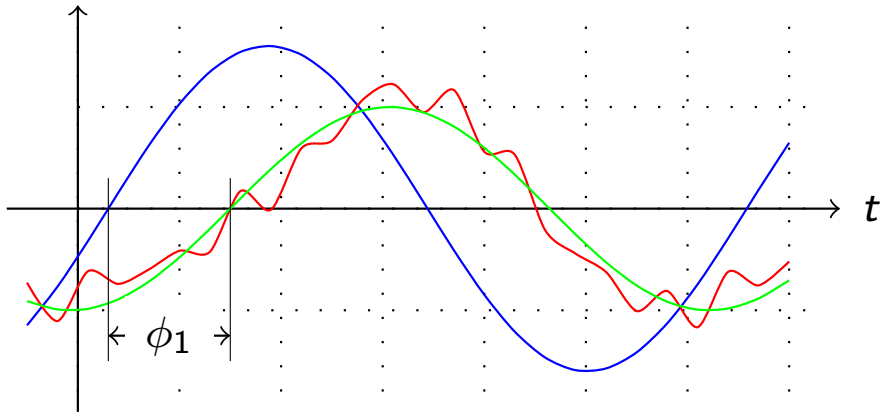
Moc bierna:

$$Q = UI_1 sin(\phi_1)$$

Moc odkształceń:

Wzory





$u(t)$- napięcie zasilania (sinusoidalne)
$i(t)$ - prąd pobierany z sieci (odkształcony)

$$i(t) = i_1(t) + i_D(t)$$

$i_1(t)$ - podstawowa harmoniczna prądu $i(t)$ przesunięta w fazie o ϕ_1 względem napięcia $u(t)$
i_D - pozostałe składowe prądu $i(t)$
U, I, I_1 - wartości skuteczne odpowiednio: $u(t)$, $i(t)$ oraz $i_1(t)$

Moc pozorna:

$$S = UI$$

Moc czynna:

$$P = UI_1 cos(\phi_1)$$

Moc bierna:

$$Q = UI_1 sin(\phi_1)$$

Moc odkształceń:

$$D = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2}$$

Wzory

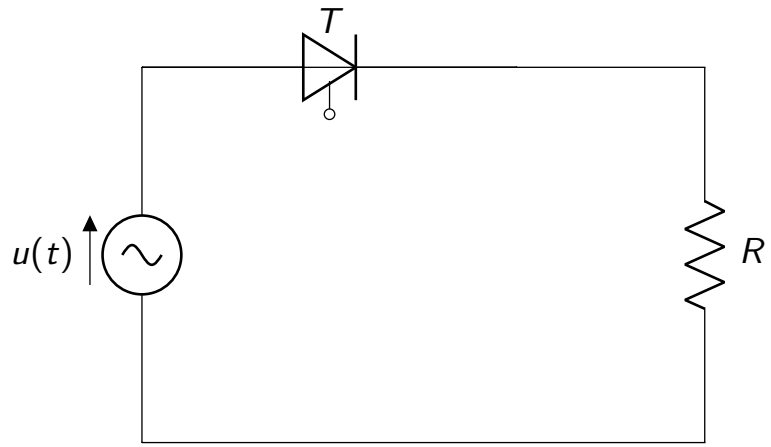
Współczynnik mocy:

$$\lambda = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}}$$

$$\lambda = \frac{P}{S} = \frac{UI_1 cos(\phi_1)}{UI} = \frac{I_1}{I} cos(\phi_1) = \gamma cos(\phi_1)$$

γ - współczynnik odkształceń
$cos(\phi_1)$ - współczynnik przesunięcia fazowego

Czy układ pobiera moc bierną?



Dziękuję za uwagę.