

Przyrządy półprzewodnikowe – część 5

Prof. Zbigniew Lisik

Katedra Przyrządów Półprzewodnikowych
i Optoelektronicznych

pokój: 116

e-mail: zbigniew.lisik@p.lodz.pl

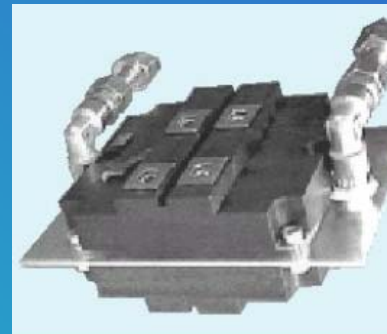
wykład ***30 godz.***

laboratorium ***30 godz***

Przyrządy mocy - przegląd

Podstawowe cechy :

- główne zastosowania – klucze w obwodach DC i AC
- duże wymiary
- wymagają chłodzenia
- duża jednostkowa cena

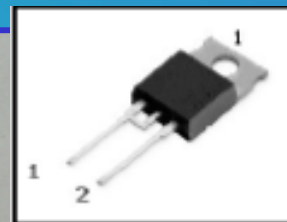
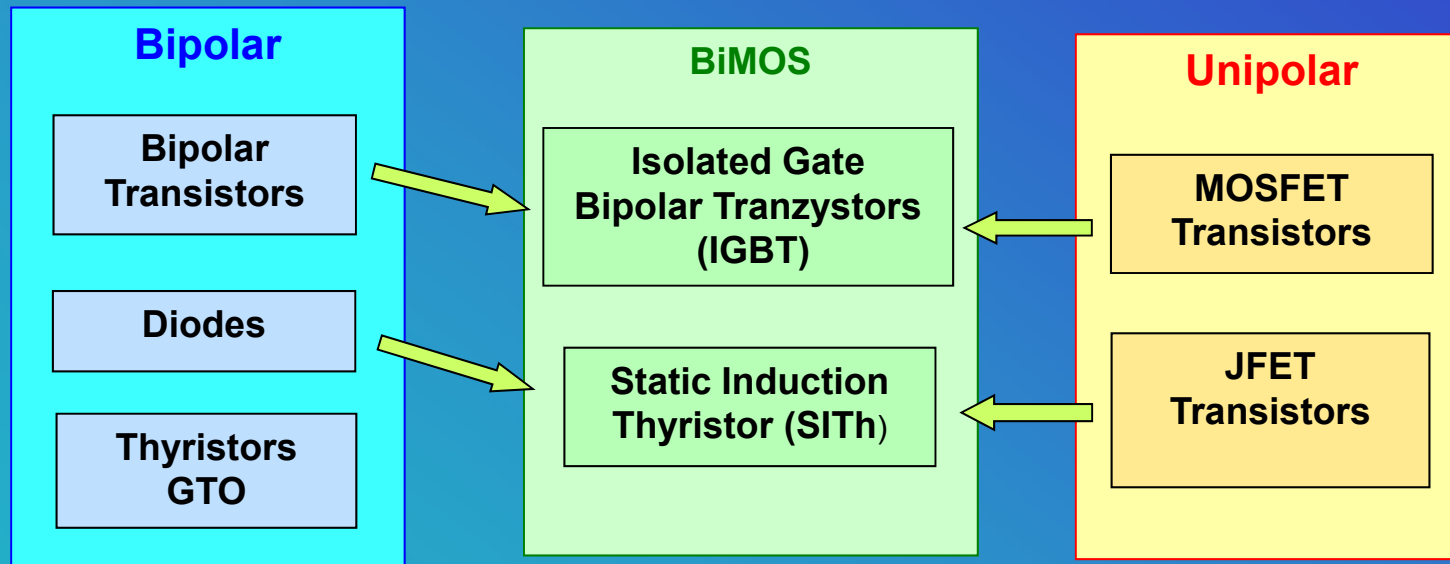


Przyrządy mocy - przegląd

Podstawowe wymagania :

- duży prąd przewodzenia : typowo 40 - 1000 A, **max. 6 kA**
- duże napięcie blokowania : typowo 300V - 2kV, **max. 10 kV**
- duża częstotliwość przełączania : *dla bipolarnych > 10 kHz*
dla unipolarnych > 100kHz
- małe straty mocy ($U_{on}I_{on}$) w stanie przewodzenia
- proste sterowanie

Przyrządy mocy - przegląd



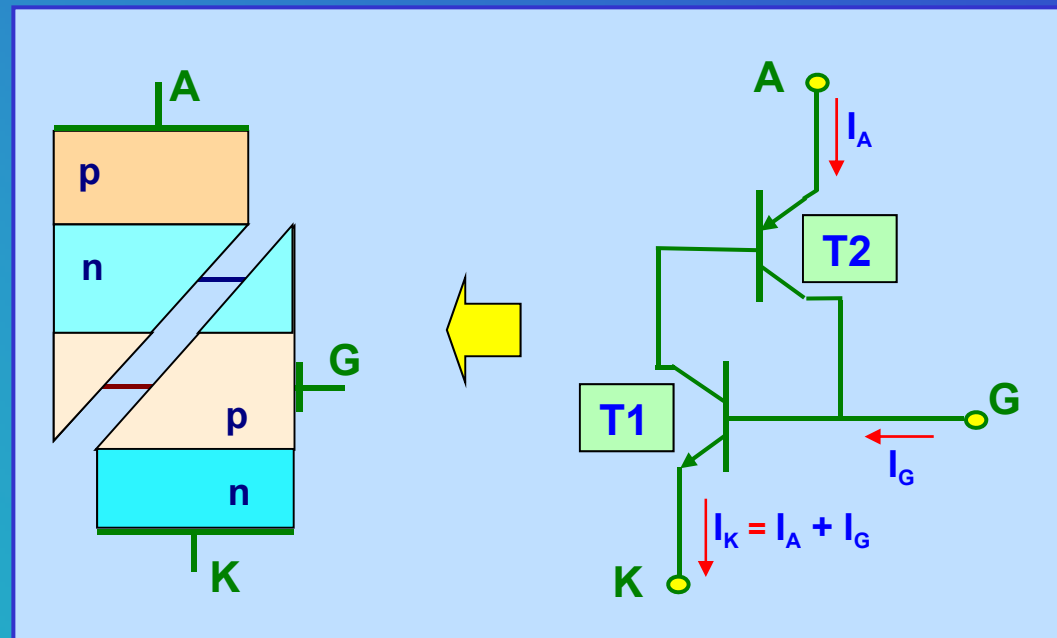
Przyrządy Mocy - Tyrystor

Zasada budowy

Jest to przyrząd 3-złączowy pochodzący od znanego układu dwu-tranzystorowego, tzw. łącznika TT:

- struktura n-p-n-p
- cztery warstwy
- trzy złącza
- three electrodes:

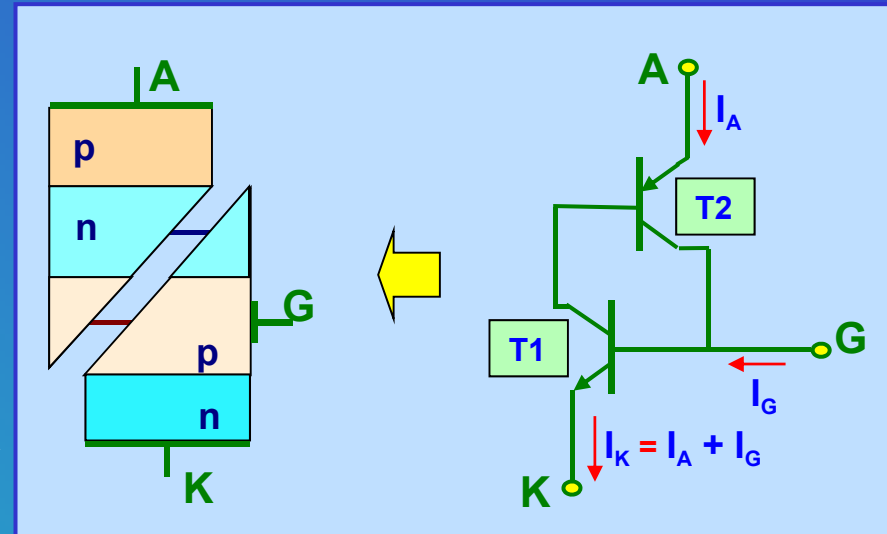
A – anoda
K – katoda
G – bramka



Przyrządy Mocy - Tyrystor

Zasada działania

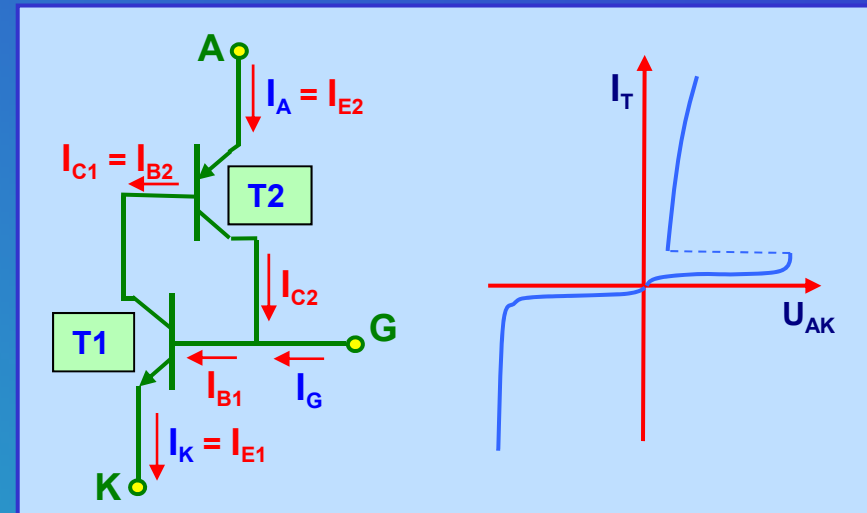
- polaryzacja wsteczna - $U_{AK} < 0$, przyrząd może jedynie blokować napięcie,
- polaryzacja w kierunku przewodzenia - $U_{AK} > 0$, przyrząd blokuje napięcie lub może być przełączony w stan przewodzenia (duży anodowy prąd I_A przy małym spadku napięcia),
- przyrząd jest sterowany prądem bramki I_G , który może go załączyć przy polaryzacji w kierunku przewodzenia,
- w normalnych tyrystorach wyłączenie prądem bramki nie jest możliwe (jest ono możliwe jedynie w tyrystorach GTO).



Przyrządy Mocy - Tyrystor

Załączanie bramkowe

- stan blokowania: $U_{AK} = U_{ext} > 0$,
 $I_G = 0, I_A = 0$
- start załączania : $U_{AK} = U_{ext} > 0$,
 $I_G = I_{G0} > I_{Gmin}, I_{C1} = I_{C2} = 0, I_A = 0$
- stan przejściowy – *dodatnie sprzężenie zwrotne*: $I_A = I_{C1} + I_{C2}$



$$I_{B1} = I_G = I_{G0} \Rightarrow I_{C1} = \beta_1 I_{G0}$$

$$I_{B2} = I_{C1} = \beta_1 I_{G0} \Rightarrow I_{C2} = \beta_2 I_{B2} = \beta_1 \beta_2 I_{G0}$$

$$I'_{B1} = I_{C2} + I_{G0} \Rightarrow I'_{C1} = \beta_1 I'_{B1} = \beta_1 (I_{C2} + I_{G0})$$

$$I'_{B2} = I'_{C1} = \beta_1 (I_{C2} + I_{G0}) \Rightarrow I'_{C2} = \beta_2 I'_{B2} = \beta_1 \beta_2 (I_{C2} + I_{G0})$$

$$I''_{C1} = \dots I''_{C2} = \dots$$

Przyrządy Mocy - Tyrystor

Załączanie bramkowe

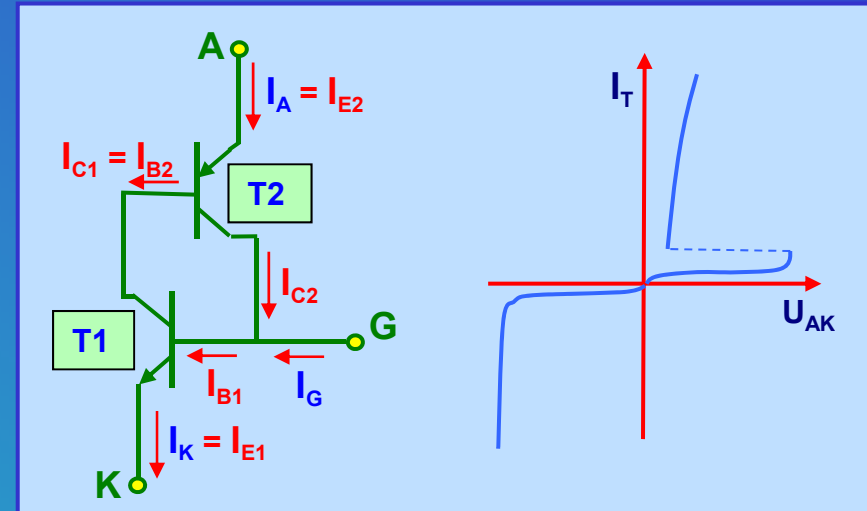
- stan blokowania: $U_{AK} = U_{ext} > 0$,
 $I_G = 0, I_A = 0$
- start załączania : $U_{AK} = U_{ext} > 0$,
 $I_G = I_{G0} > I_{Gmin}, I_{C1} = I_{C2} = 0, I_A = 0$
- stan przejściowy – *dodatnie sprężenie zwrotne*: $I_A = I_{C1} + I_{C2}$

$$I_{B1} = I_G = I_{G0} \Rightarrow I_{C1} = \beta_1 I_{G0}$$

$$I_{B2} = I_{C1} = \beta_1 I_{G0} \Rightarrow I_{C2} = \beta_2 I_{B2} = \beta_1 \beta_2 I_{G0}$$

- stan przewodzenia: $I_G = 0, I_A = I_K$

$$I_A = I_K \quad U_{AK} = U_T = 1,6 \div 2 \text{ V}$$

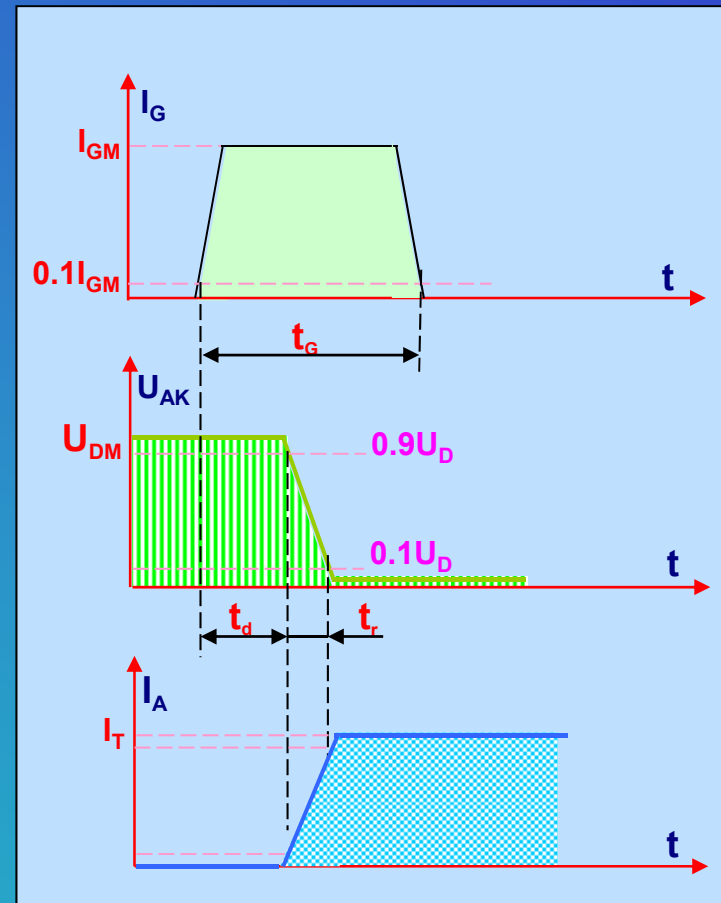


$$I'_{C1} = \dots\dots I'_{C2} = \dots\dots$$

Załączanie bramkowe

- I_{GM} – amplituda prądu bramki
- U_D – napięcie blokowania
- I_T – prąd przewodzenia tyrystora
- t_G – czas trwania impulsu prądu bramki
- t_d – czas opóźnienia
- t_r – czas narastania

$$t_{on} = t_d + t_r$$



Charakterystyka bramkowa

A – obszar niemożliwych przełączeń tyrystora

B – obszar niepewnego wyzwiania

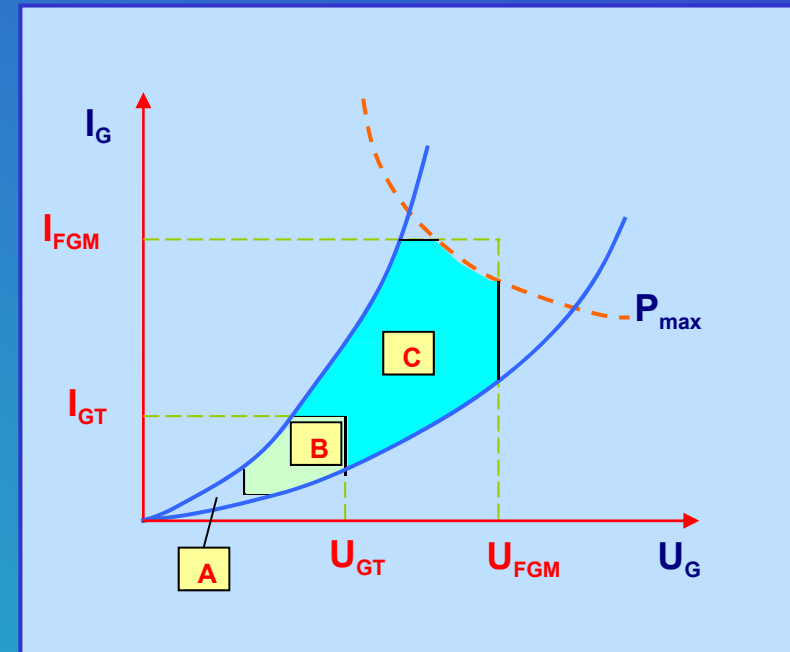
C – obszar pewnego wyzwiania

I_{GT} – prąd przełączający bramki

U_{GT} – napięcie przełączające bramki

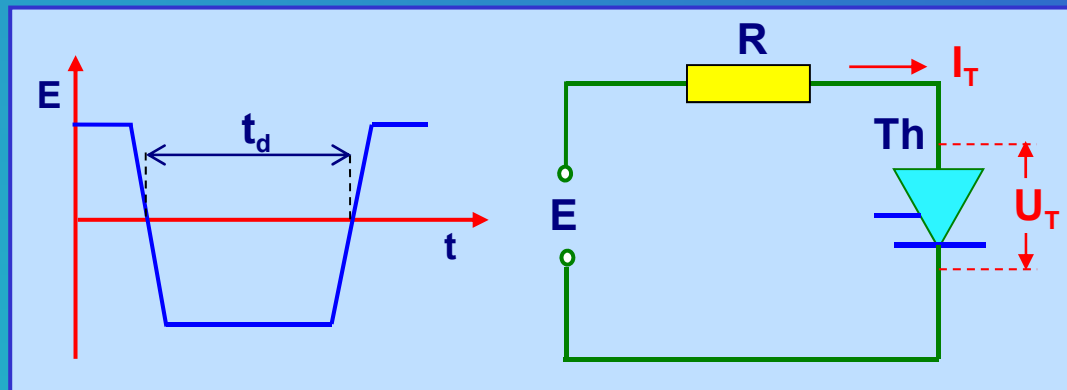
I_{FGM} – szczytowy prąd przewodzenia bramki

U_{FGM} – szczytowe napięcie przewodzenia bramki



Wyłączanie wymuszone

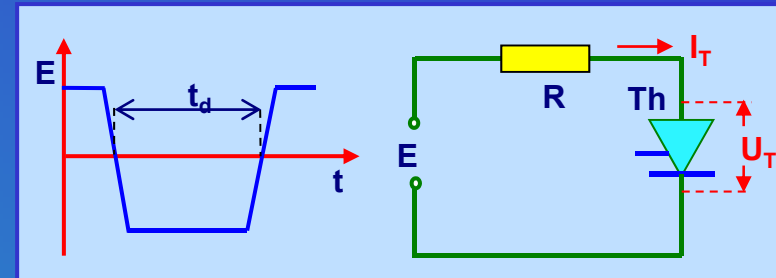
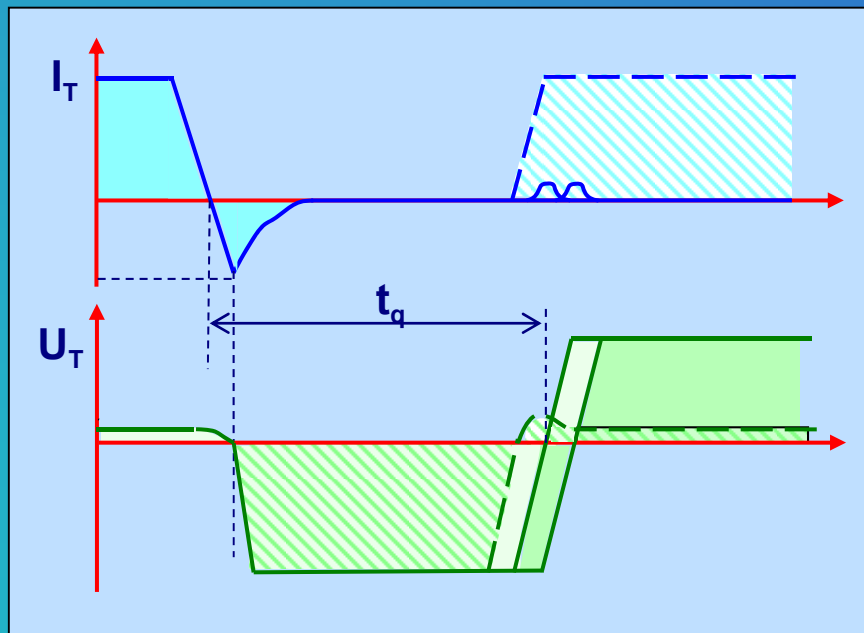
- obwód wyłączania wymuszonego



t_d – **czas dysponowany** – określony przez obwód zewnętrzny

Wyłączanie wymuszone

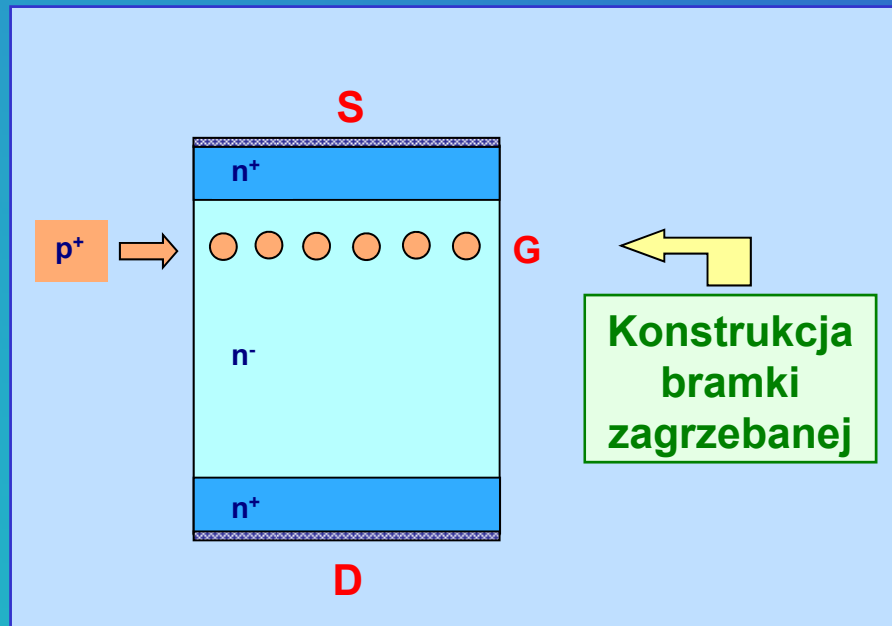
- Proces wyłączania



t_q – **czas wyłączania**, określony przez zjawiska wewnątrz tyrystora prowadzące do odzyskania zdolności blokowania napięcia

Wywodzący się z idei JFET

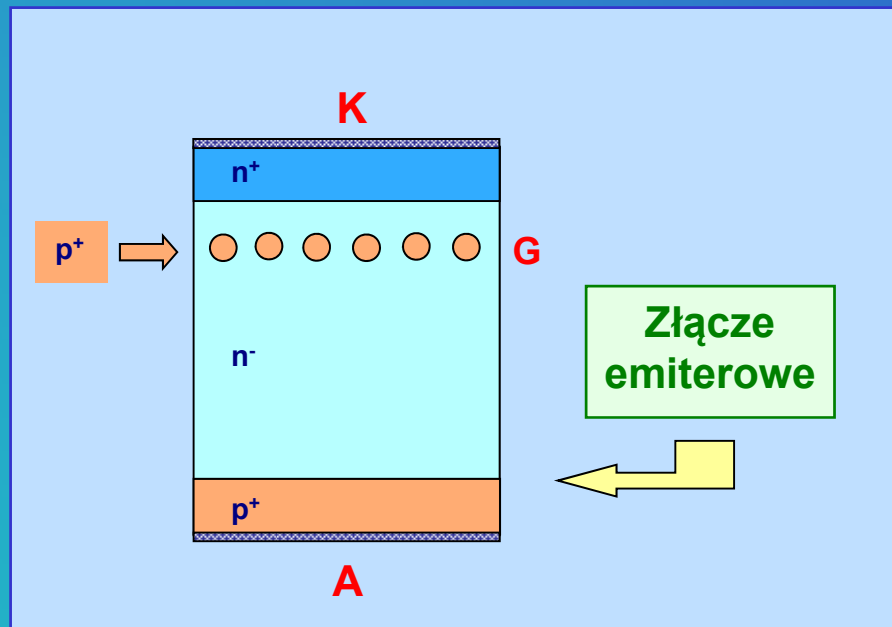
- **Static Induction Transistor SIT** (*unipolarny*)



Konstrukcja SIT
jest wzorowana
na idei lampy
elektronowej
„triody”

Wywodzący się z idei JFET

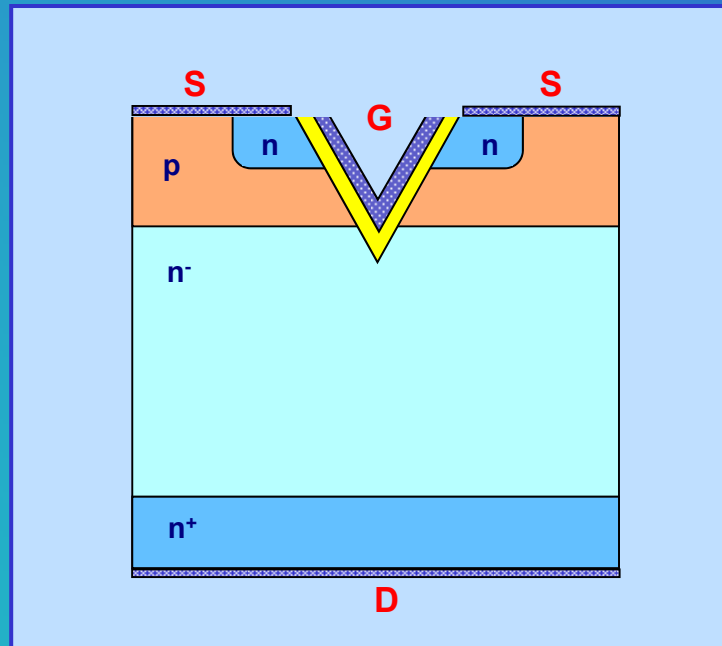
- **Static Induction Thyristor STh** (*Bi-MOS*)



Konstrukcja STh
jest wzorowana
na idei lampy
elektronowej
„triody”

Wywodzący się z idei MOSFET

- **Vertical MOS VMOS** (*unipolarny*)

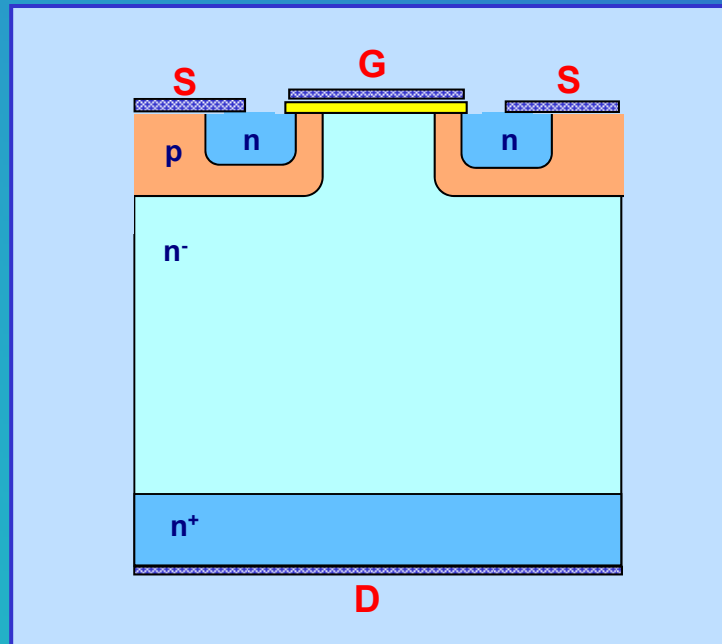


Pojedyncza
komórka
przyrząd składa
się z tysięcy
takich komórek

Identyczność komórek MOS
jest uzyskiwana dzięki
jednorodności procesu
suchego trawienia

Wywodzący się z idei MOSFET

- **Vertical Double Diffusion VDMOS** (*unipolarny*)

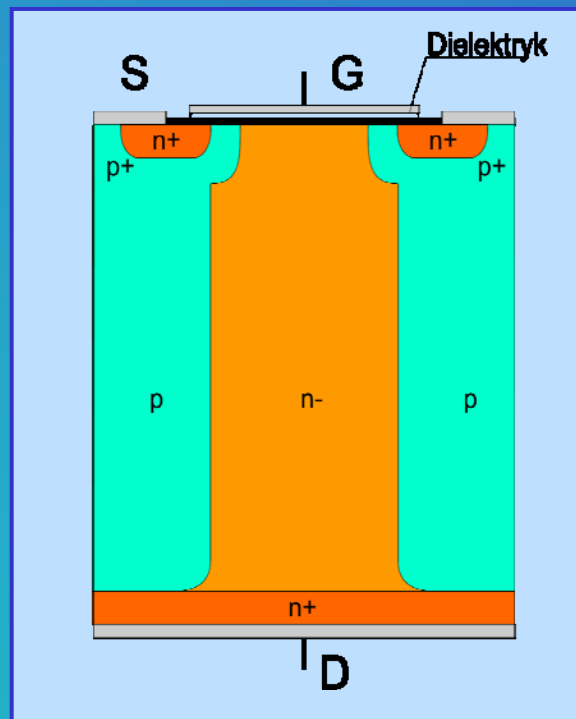


Pojedyncza
komórka
przyrząd składa
się z tysięcy
takich komórek

Identyczność komórek MOS
jest uzyskiwana dzięki
jednorodności procesu
podwójnej dyfuzji (jedna
maska dla wysp n i p)

Wywodzący się z idei MOSFET

- **CoolMOS** (*unipolarny*)



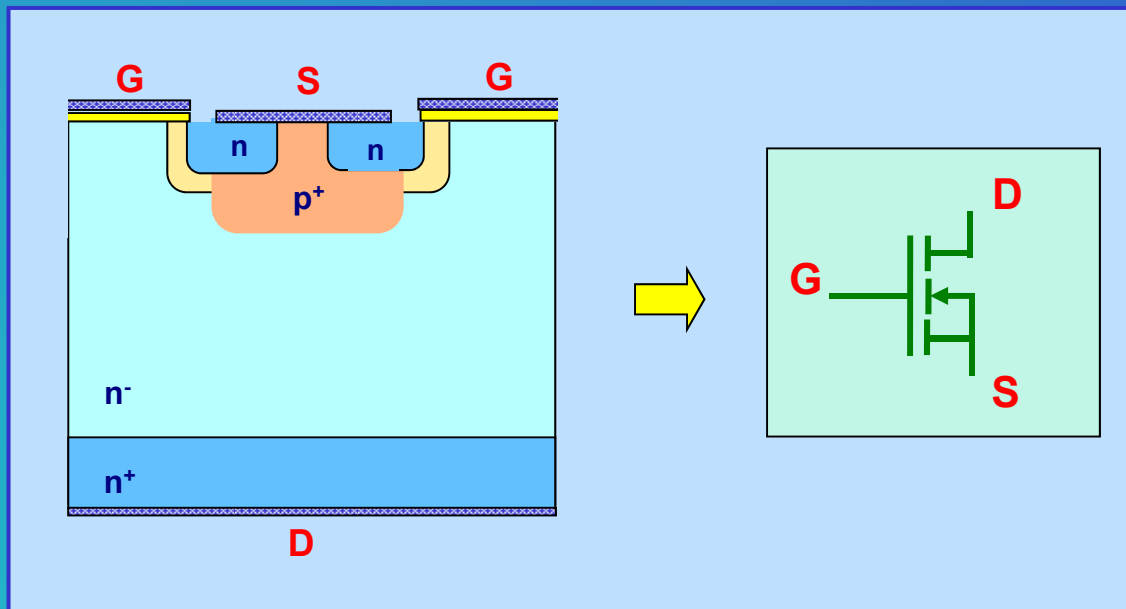
Pojedyncza
komórka
przyrząd składa
się z tysięcy
takich komórek

Identyczność komórek jest
uzyskiwana m.in. dzięki
jednorodności procesu
podwójnej dyfuzji (jedna
maska dla wysp n i p)

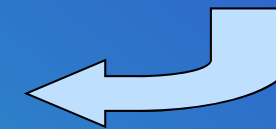
Przyrządy Mocy – Tyrystory Sterowane Polowo

Wywodząca się z idei tranzystora bipolarnego

- Integrated **G**ate **B**ipolar **T**ransistor **IGBT** (*Bi-MOS*)

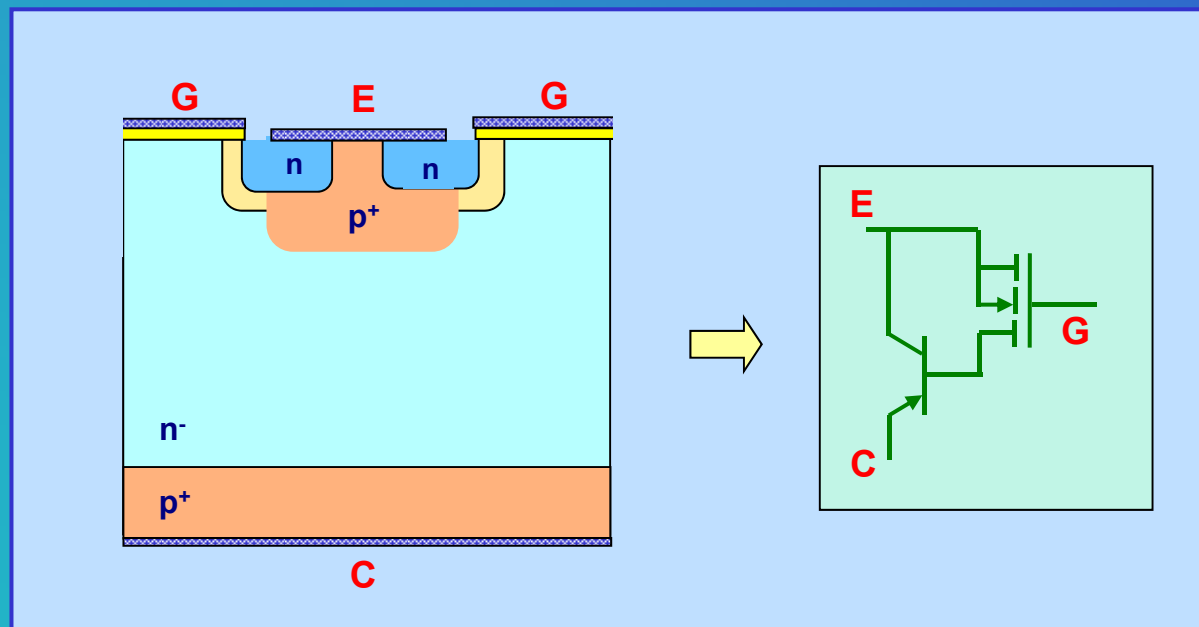


Wyjściowa
struktura MOS



Descended from bipolar transistor idea

- Integrated **G**ate **B**ipolar **T**ransistor **IGBT** (*Bi-MOS*)



Zmodyfikowana
struktura MOS
struktura IGBT

Przyrządy Mocy - IPM

IPM – Inteligent Power Module

