



## Фотодиоди

1



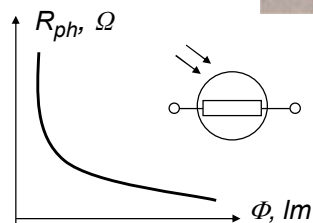
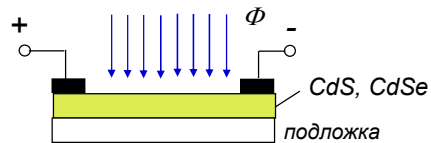
Електронни прибори, които преобразуват лъчистата енергия в електрическа се наричат фотодетектори.

Действието им се основава на генериране на двойка токоносителни под въздействие на светлинно лъчение с подходяща дължина на вълната.

**Видове** – фоторезистори, фотодиоди, фототранзистори, фототиристори

2

## Фоторезистор

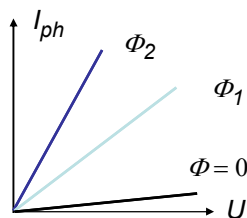
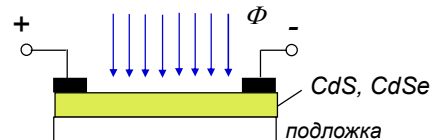


**Фоторезисторите** са полупроводникови елементи, чието съпротивление намалява при увеличаване на осветеността върху повърхността му.

Типично приложение – светломер

3

## Фоторезистор – волт амперна характеристика



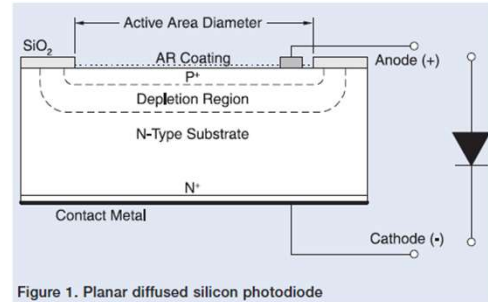
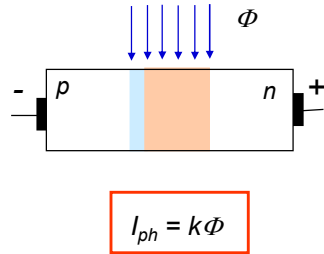
Фоторезисторът има линейна волтамперна характеристика.

$$I_{ph} = k\Phi U$$

$k$  – специфична интегрална чувствителност,  $mA/V.lm$

4

## Фотодиод



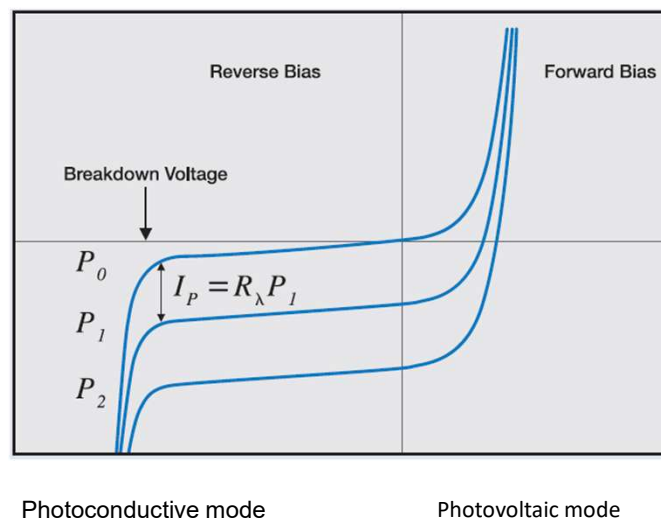
Принципът на действие на фотодиода се основава на увеличаване на обратния ток на *pn* прехода при осветяването му.

Допълнителната енергия от облъчването довежда до разкъсване на ковалентни връзки, при което се генерират електрони и дупки, които увеличават обратния ток.

Големината на тока зависи от количеството на токоносителите, но не и от приложеното напрежение.

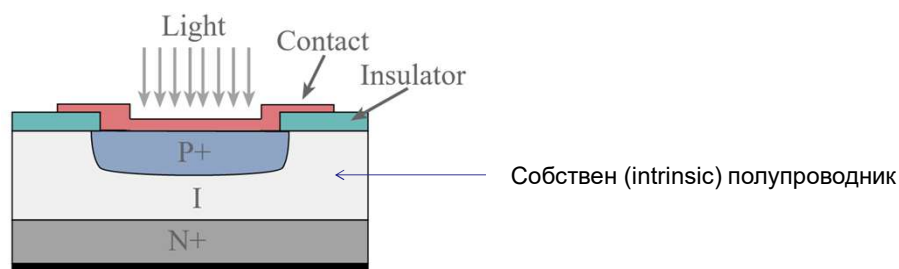
5

## Фотодиод – волт амперна характеристика



6

## PIN Фотодиод



Едно от ключовите изисквания за фотодиод е подходяща зона за събиране на светлината. В стандартния PN преход тази зона е малка, но може да се увеличи с помощта на PIN диод. Добавянето на собствен полупроводник увеличава обема на PN прехода и създава значително по-голяма област за събиране на светлина, което прави PIN фотодиода по-ефективен.

Лавинни фотодиоди (avalanche photodiodes) – PIN фотодиод, който работи в област на лавинен пробив ( $U_r=100-200V$ ). Имат висока ефективност, но и висок собствен шум.

7

## Фотодиоден режим / photoconductive mode

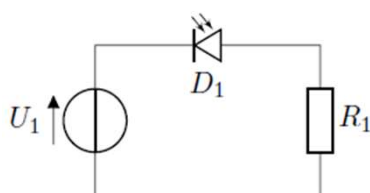
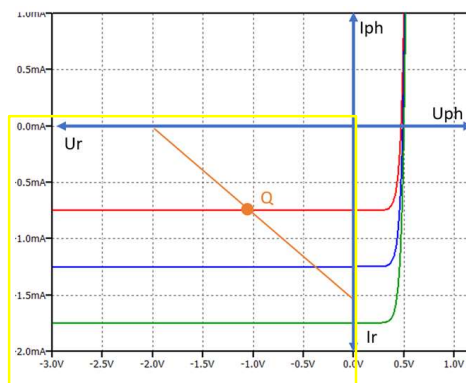


Схема на свързване



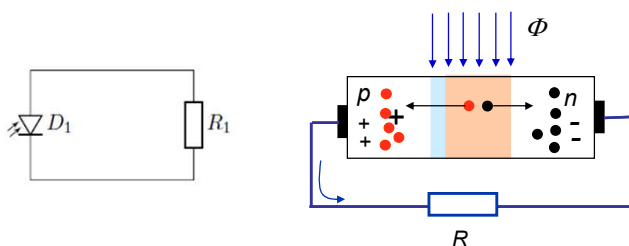
VA характеристика на фотодиод във фотодиоден режим

Фототокът е значително по-голям от топлинния ток на прехода, поради което при облъчване даже при напрежение нула през диода тече ток.

Фотодиодът се характеризира с **най-голямо бързодействие** от всички фотоприемници ( $10^{-9} - 10^{-11}$  s).

8

## Фотогенераторен режим / photovoltaic mode



Фотодиодите могат да бъдат използвани като преобразуватели на светлинна енергия в електрическа. Този режим на работа се нарича **фотогенераторен режим** – без външен източник на напрежение.

При облъчване се генерират двойки токоносители. Полето на PN прехода ги разделя и те се натрупват в двата края на полупроводника, създавайки фото електродвижещо напрежение. При затваряне на веригата през нея протича ток.

9

## Фотогенераторен режим / photovoltaic mode

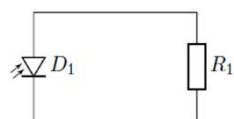
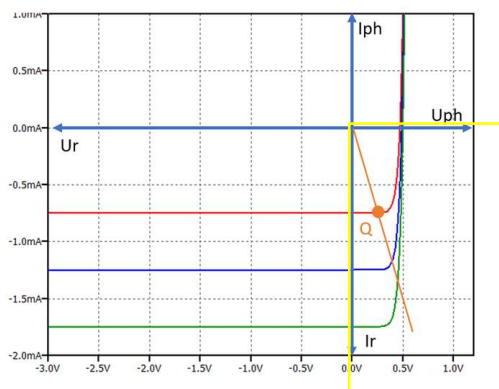


Схема на свързване

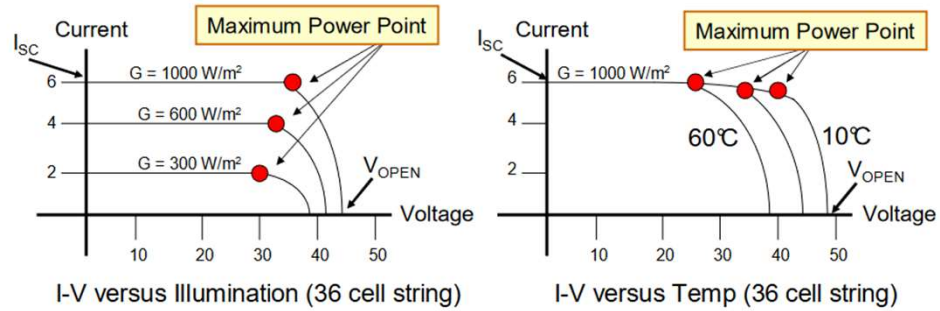


VA характеристика на фотодиода във фотогенераторен режим

Фотоволтаичните модули се изграждат от свързването на множество индивидуални слънчеви клетки, за да се достигнат необходимите нива на напрежение и ток. Те директно преобразуват слънчевата светлина в електричество като ефективността при преобразуването е 20% - 50%.

10

### Solar cell's output continually varies with LIGHT and TEMP



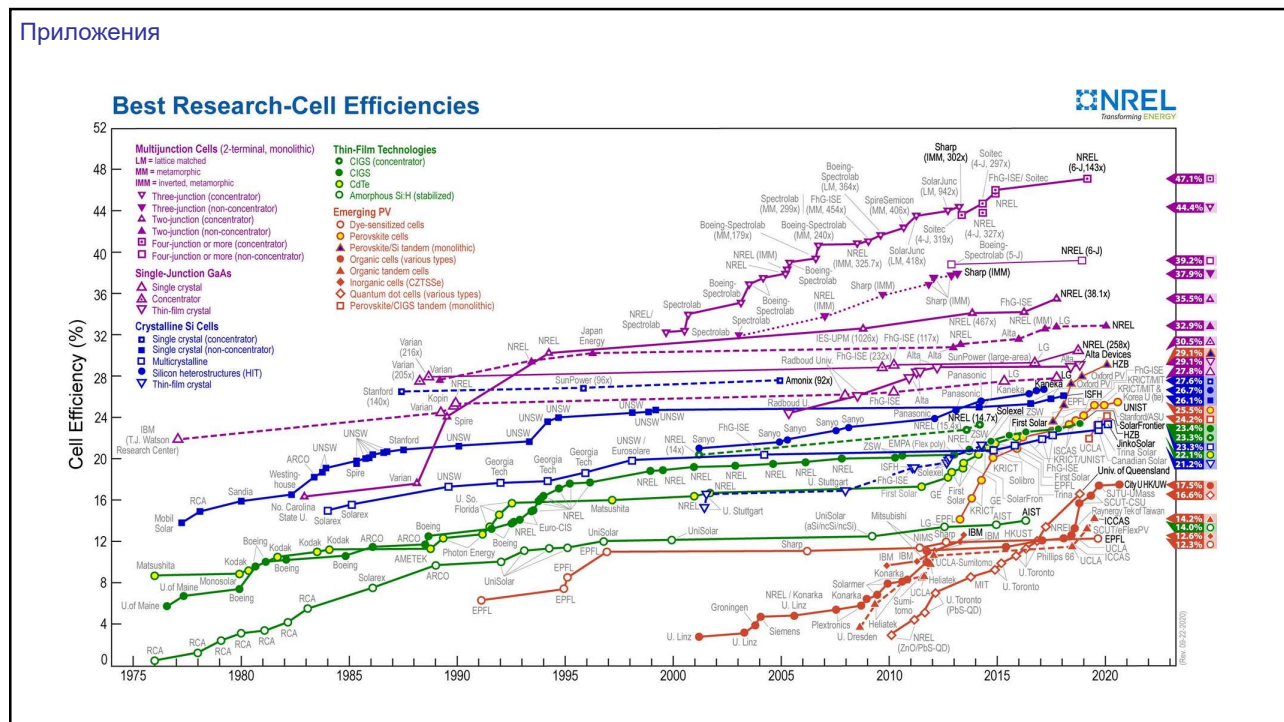
11

### Приложения



12

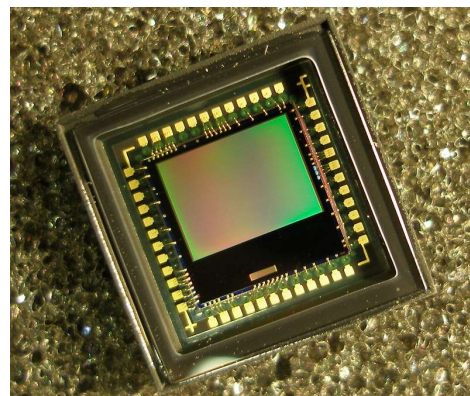
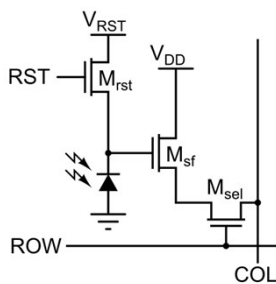
## Приложения



13

## Фотодиоды в сензори за изображения

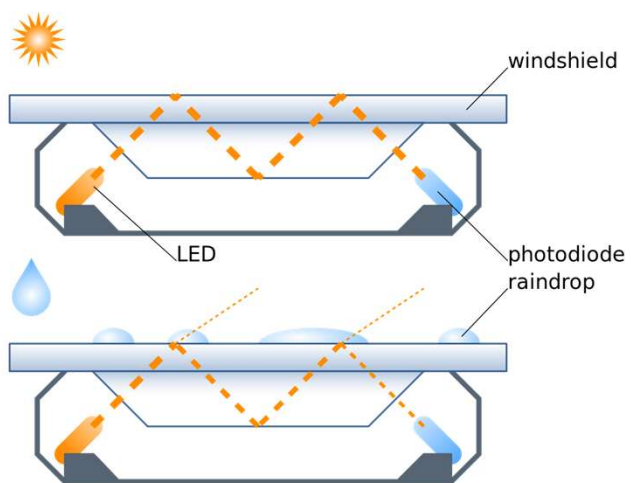
## CMOS сензори



14



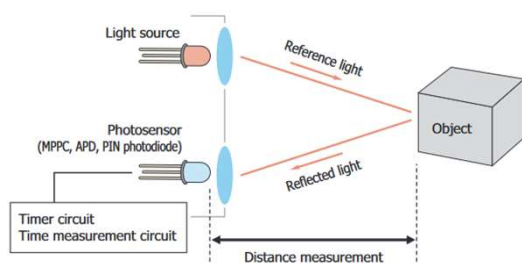
### Приложения на фотодиоди – сензор за дъжд



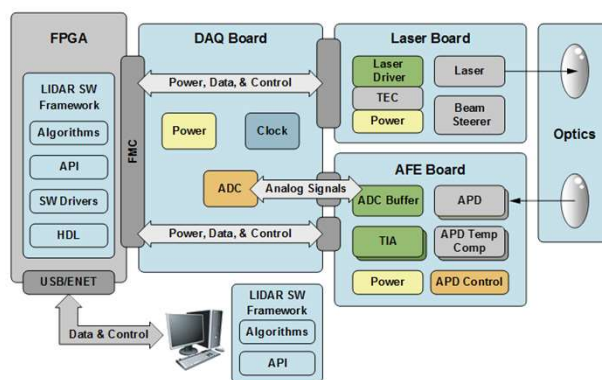
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rain\\_sensor\\_en.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rain_sensor_en.svg)

15

### Приложения на фотодиоди – LIDAR



TOF – Time of Flight



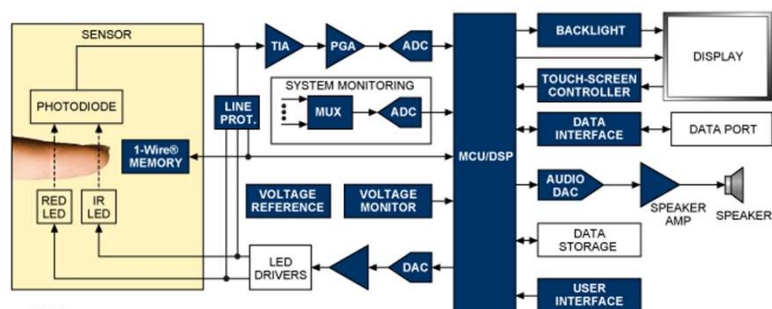
LIDAR - Light Detection and Ranging

16



## Приложения

Pulse Oximeter



17

## Приложения

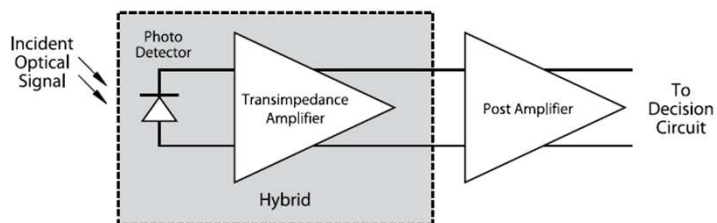
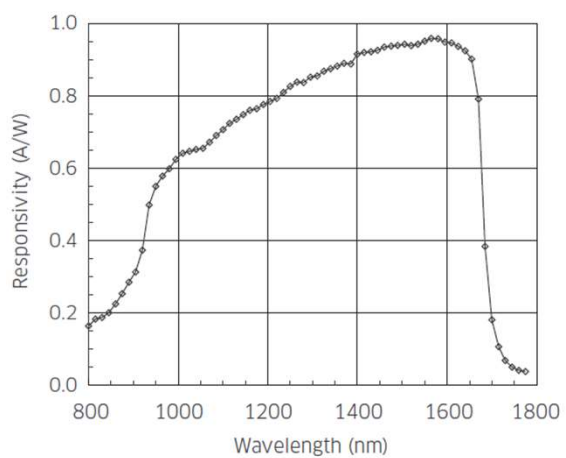


Figure 2.1. Optical Receiver. Functional Block Diagram.

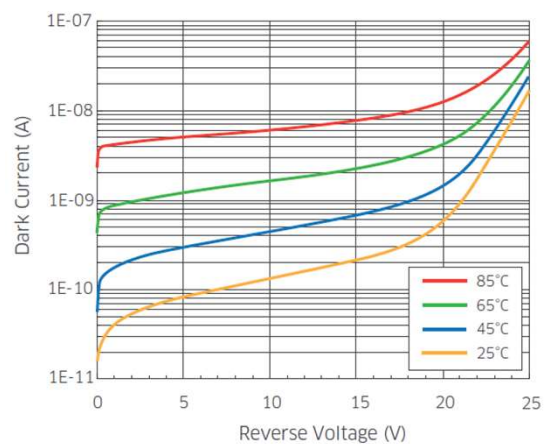


Една от най-критичните части в оптичната комуникационна система е приемникът на оптичен сигнал. Оптичният приемник определя производителността на цялата система, тъй като в тази точка сигналът е най-слаб.

18



Спектрална характеристика

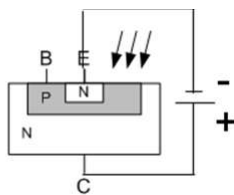
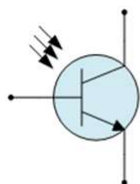


Волт-амперна характеристика

EPM 6xx

19

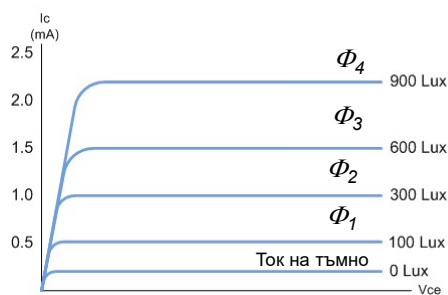
## Фототранзистор



Фототранзисторът има отворена база, която се облъчва. Генерираните токоносителни в прехода преминават в колектора и формират колекторния ток. Неговата големина зависи от интензитета на светлинния поток.

20

### Фототранзистор – волт амперна характеристика



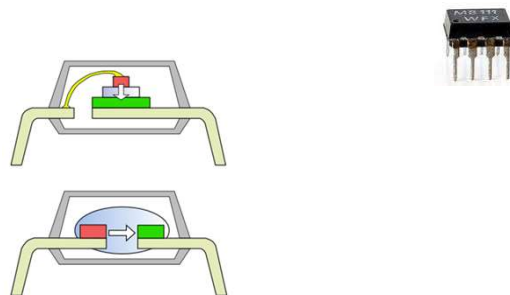
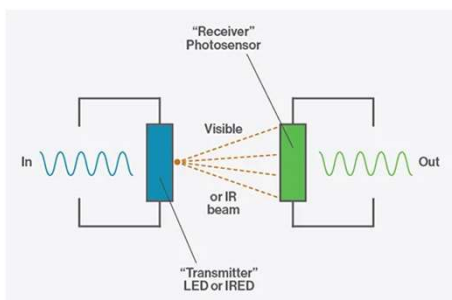
$$I_C = (\beta + 1)(I_{ph} + I_{CBO}) \approx (\beta + 1)I_{ph}$$

Волтамперната характеристика на фототранзистора е като изходната характеристика на транзистор в схема ОЕ с тази разлика, че тук фототранзисторът се управлява от светлинен поток, а не от базовия ток.

Интегралната чувствителност на фототранзистора е  $(1 + \beta)$  пъти по-голяма от тази на фотодиода.

21

### Оптрони / Optocouplers / Optoisolators

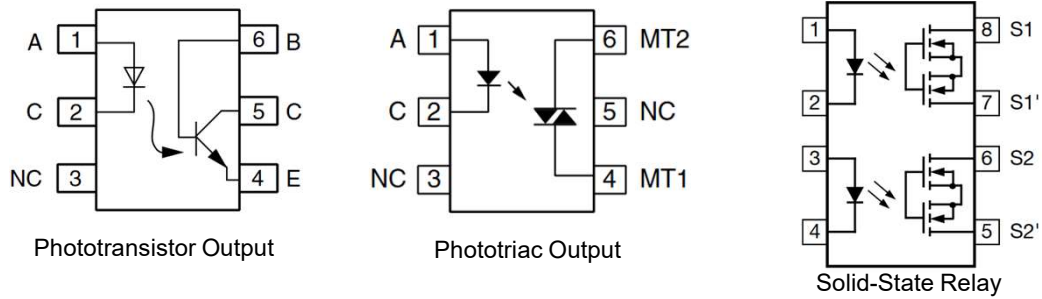


**Оптроните** са полупроводникови елементи, които обхващат в една конструкция източник на светлина и фотоприемник.

- **Излъчвател** – инфрачервен светодиод (преобразува ел. сигнал в светлинен)
- **Оптична среда** – въздушна междина, световод (предава светлинния сигнал)
- **Фотоприемник** – фотодиод, фототранзистор, фототиристор (преобразува обратно светлинния сигнал в електрически)

22

## Оптрони – типове



23

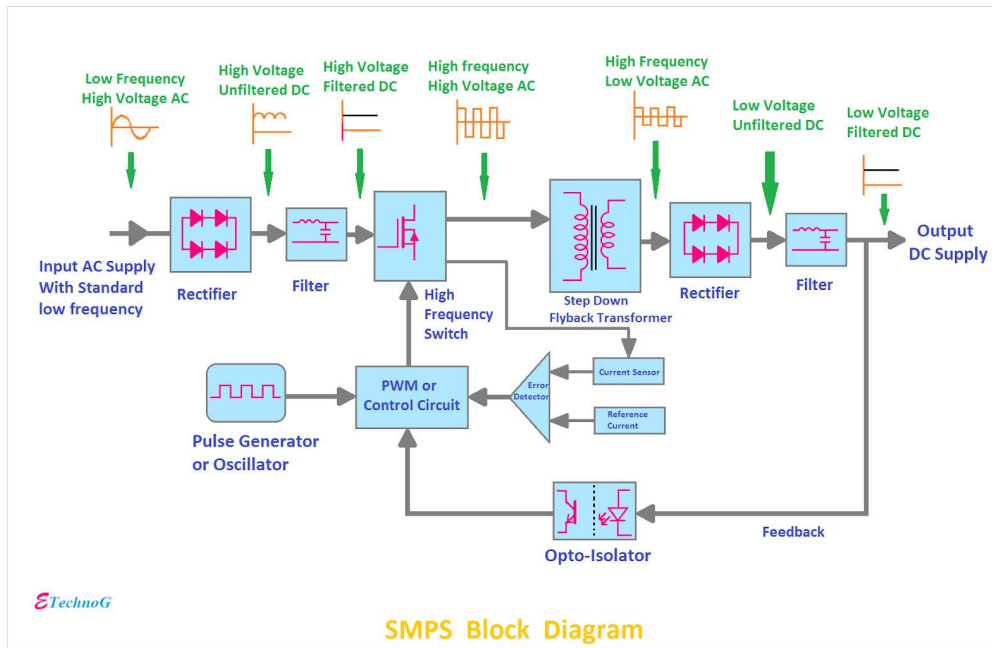
## Оптрони - приложения

- Възможност за галванично разделяне на електрически вериги (>5000V)
  - Еднопосочност на потока информация и липса на обратно въздействие на фотоприемника върху източника на излъчване
  - Широка лента на пропускане в честотен обхват (от 0 до  $10^{13} - 10^{14}$  Hz)
- 
- Telecom
  - Industrial controls
  - Battery powered equipment
  - Office machines
  - Programmable controllers

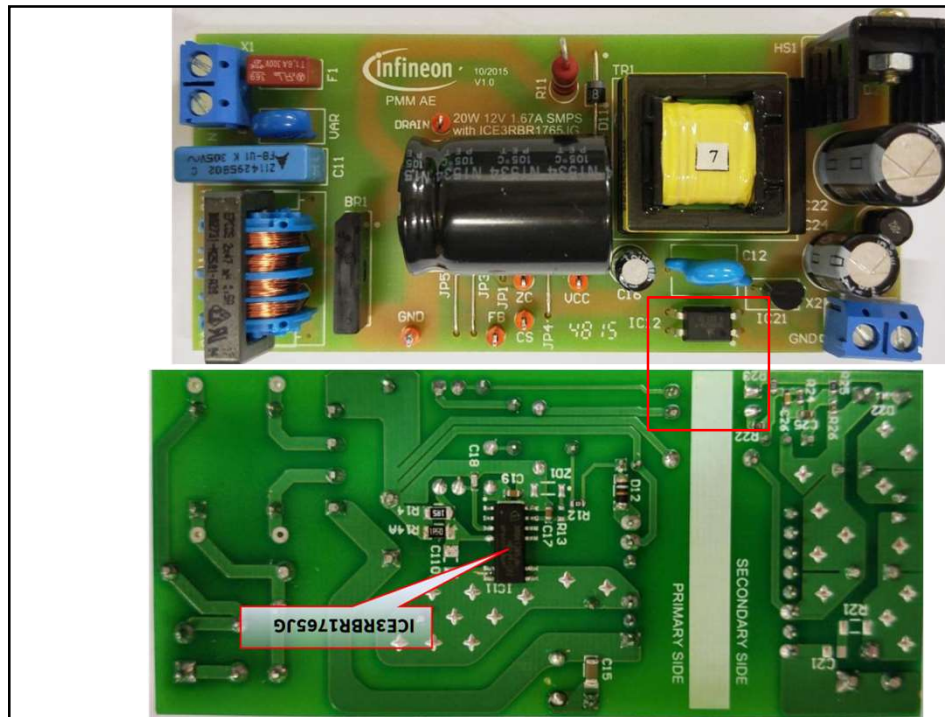
24

## Оптрони – приложения

## Switched Mode Power Supply (SMPS)



25



26

## Оптрони – приложения - solid state relays

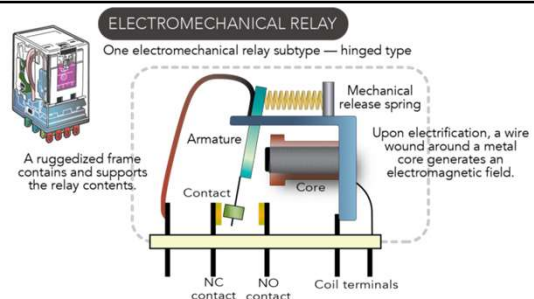


## Предимства на SSR

- Висока скорост на превключване
- В променливо-токови вериги изключват когато токът е нула (zero-current turn off) – избягва се образуването на ел. дъга
- Висока надеждност
- Управлява се с слаб ток (по-сравнение с електро-механичните релета)
- Не представлява индуктивен товар за управляващата верига
- Безшумна работа

## Недостатъци на SSR

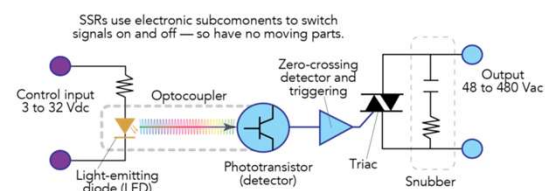
- Висока цена
- Болшинството SSR предлагат само NC или NO контакти
- Отделят повече топлина от EMR
- Относително високо Ron



The electromagnetic field from the core causes the armature to pivot on its fulcrum and open and close the NC and NO contacts. An attached spring returns the armature to its original position.

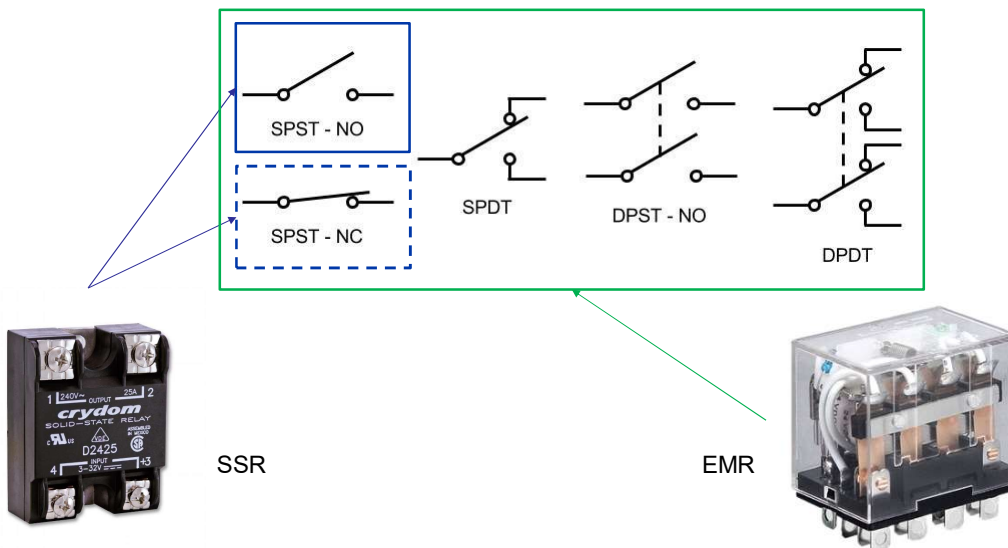
**SOLID-STATE RELAY (SSR)**

One SSR subtype — photocoupler type



27

## Оптрони – приложения



SP and DP refer to single pole and double pole, ST and DT refer to single throw and double throw.

28

## Оптрони – характеристики

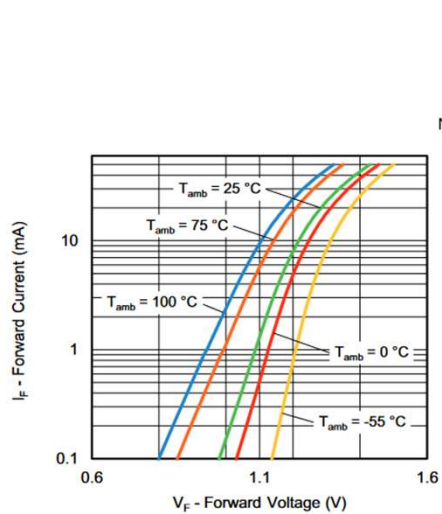


Fig. 5 - Forward Current vs. Forward Voltage

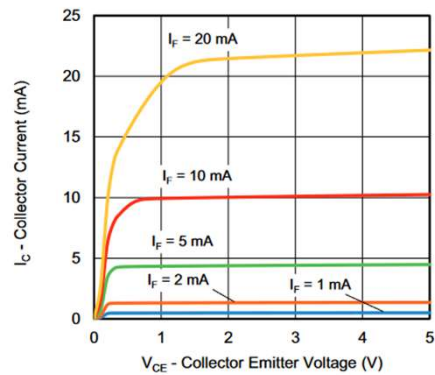
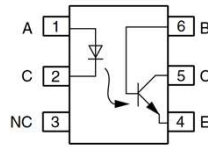


Fig. 6 - Collector Current vs. Collector Emitter Voltage (non-saturated)

29

## Оптрони – характеристики

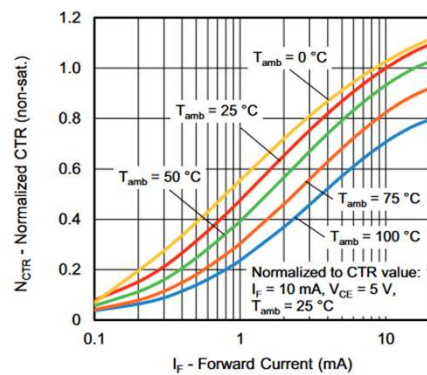


Fig. 11 - Normalized CTR vs. Forward Current (non-saturated)

CTR – current transfer ratio

30