

# Power Converter Systems

---

## Graduate Course EE8407

**Bin Wu** PhD, PEng

**Professor**  
ELCE Department  
Ryerson University

### Contact Info

Office: ENG328

Tel: (416) 979-5000 ext: 6484

Email: [bwu@ee.ryerson.ca](mailto:bwu@ee.ryerson.ca)

<http://www.ee.ryerson.ca/~bwu/>



**Ryerson Campus**

# ШИМ Выпрямители источника тока



**ШИМ CSI fed MV drive**

# ШИМ Выпрямители источника тока

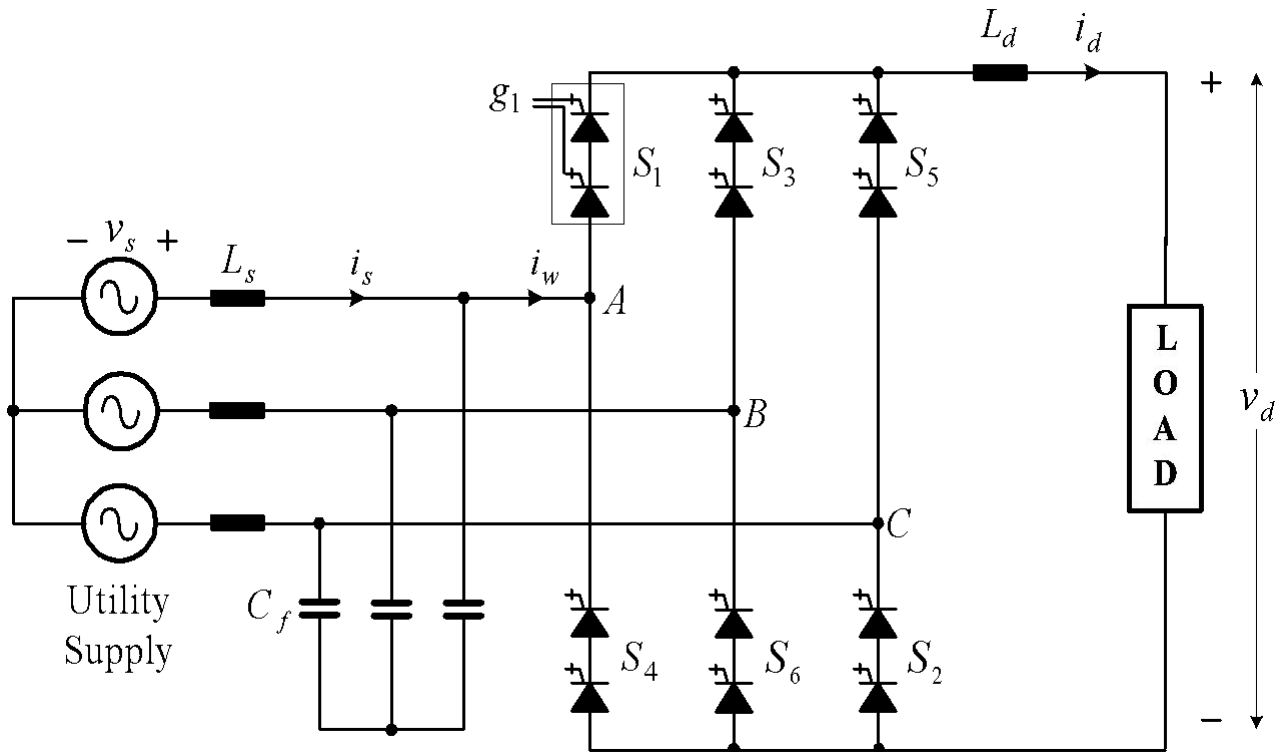
---

## Темы лекции

- **Одноместный мостовой выпрямитель**
- **Двойной мостовой выпрямитель**
- **Контроль коэффициента мощности**
- **LC резонанс и активное демпфирование**

# Одноместный мостовой выпрямитель

## • Схема преобразователя

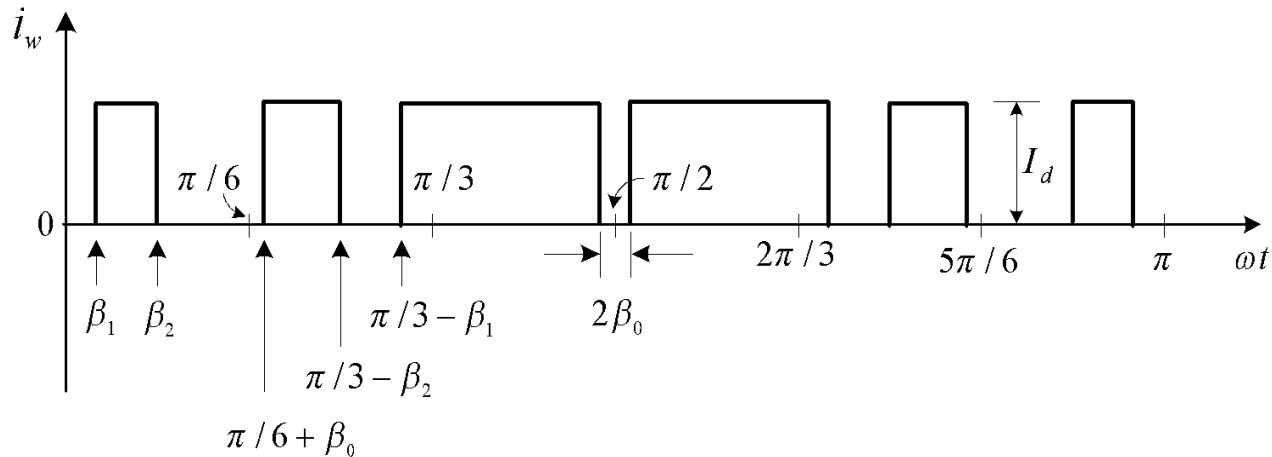


- коммутационные устройства:  
Симметричный GCT  
(коммутируемый по затвору тиристор)

- функции  $C_f$ :  
Помощь GCT переключаться;  
Для уменьшения линии тока.

# Одноместный мостовой выпрямитель

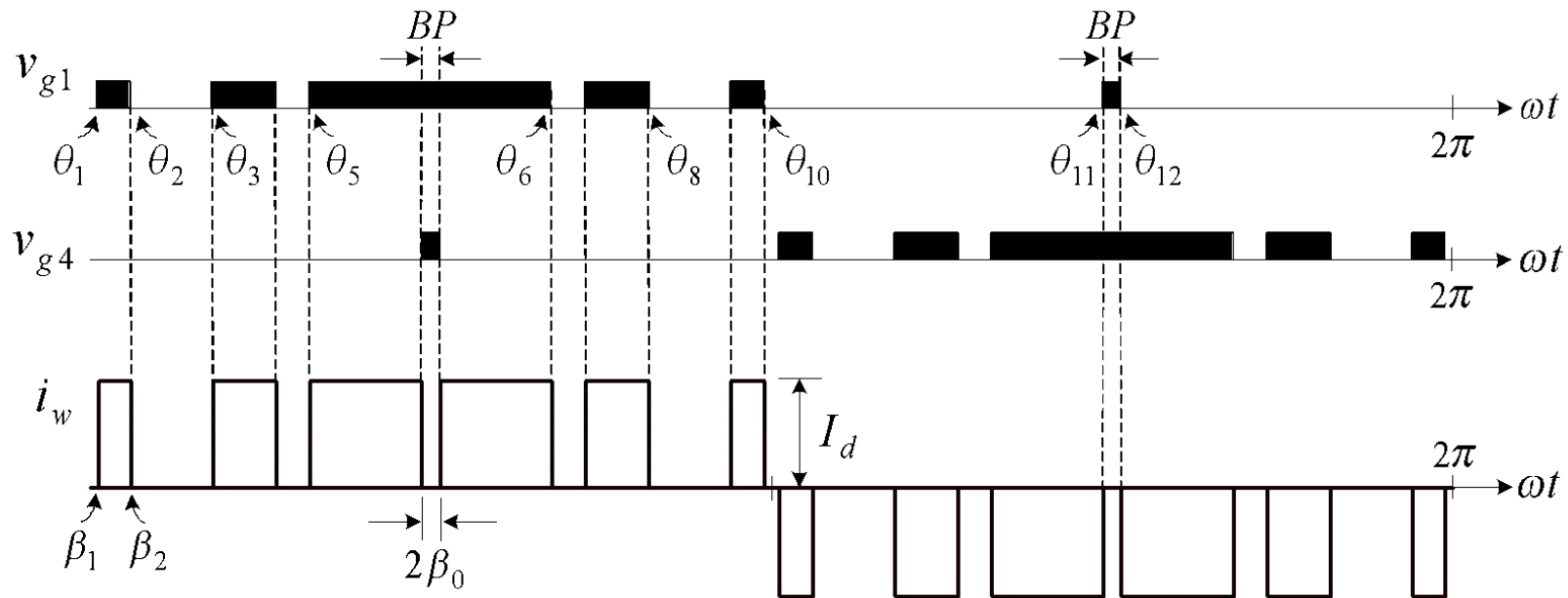
## • Выпрямитель входного сигнала тока



- Ограничения переключения в исходной схеме:
  - постоянный ток  $i_d$  не должен прерываться
  - форма сигнала  $i_w$  должна быть четко определена
- Для устранения двух гармоник необходимы 3 независимых угла и индекс модуляции должен быть регулируемым

# Одноместный мостовой выпрямитель

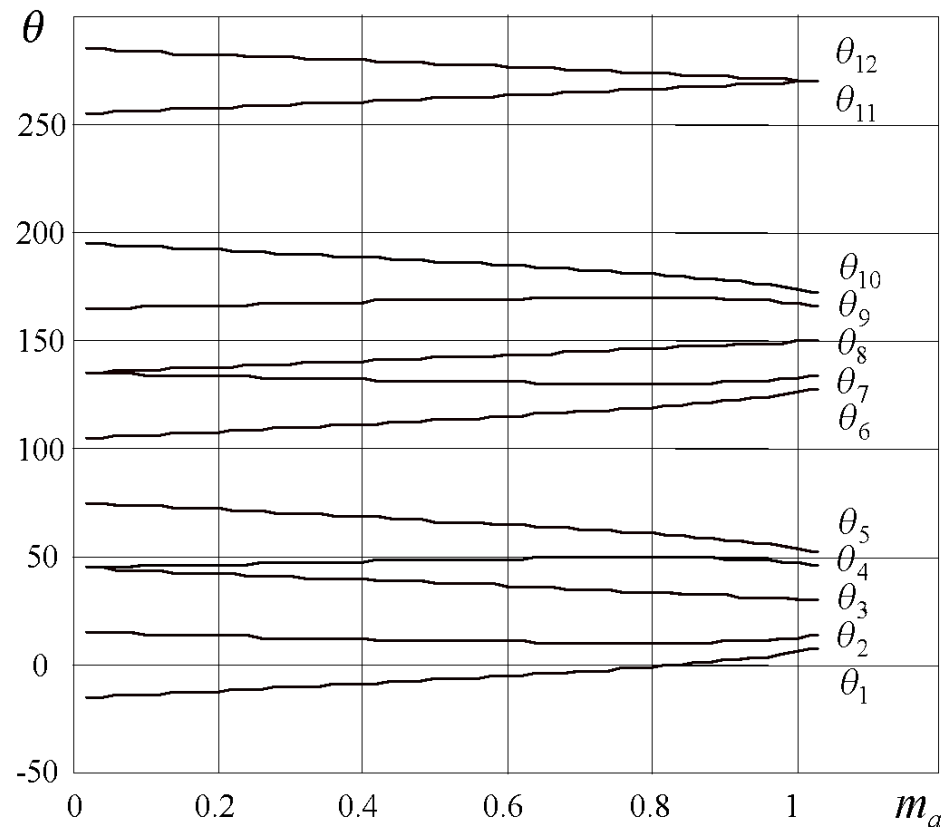
## • Переключение углов



- **Обходной (пренебрегаемый) импульс (BP)**  
- позволяет регулировать  $i_w$

# Одноместный мостовой выпрямитель

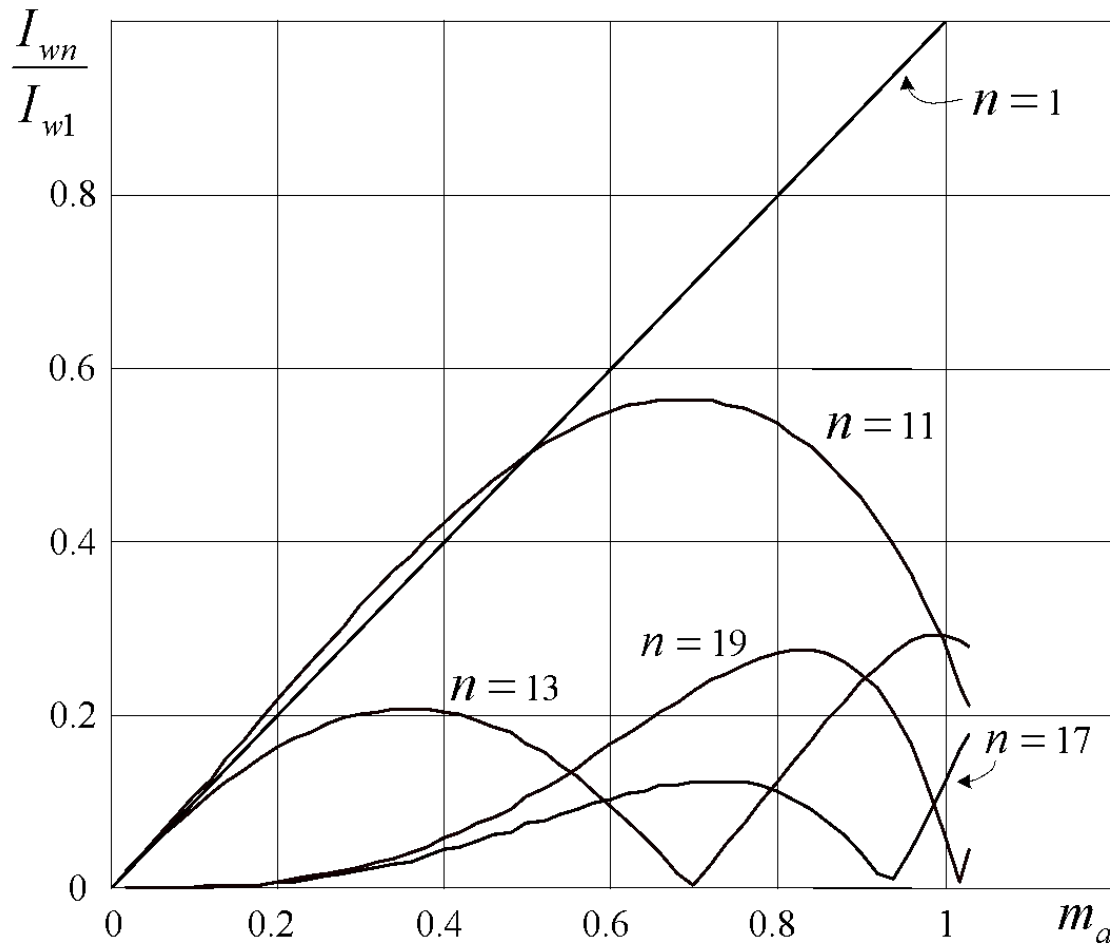
- углы переключения в зависимости  $m_a$



(избавление от 5<sup>ой</sup> и 7<sup>ой</sup> гармоника)

# Одноместный мостовой выпрямитель

- распределение гармоник

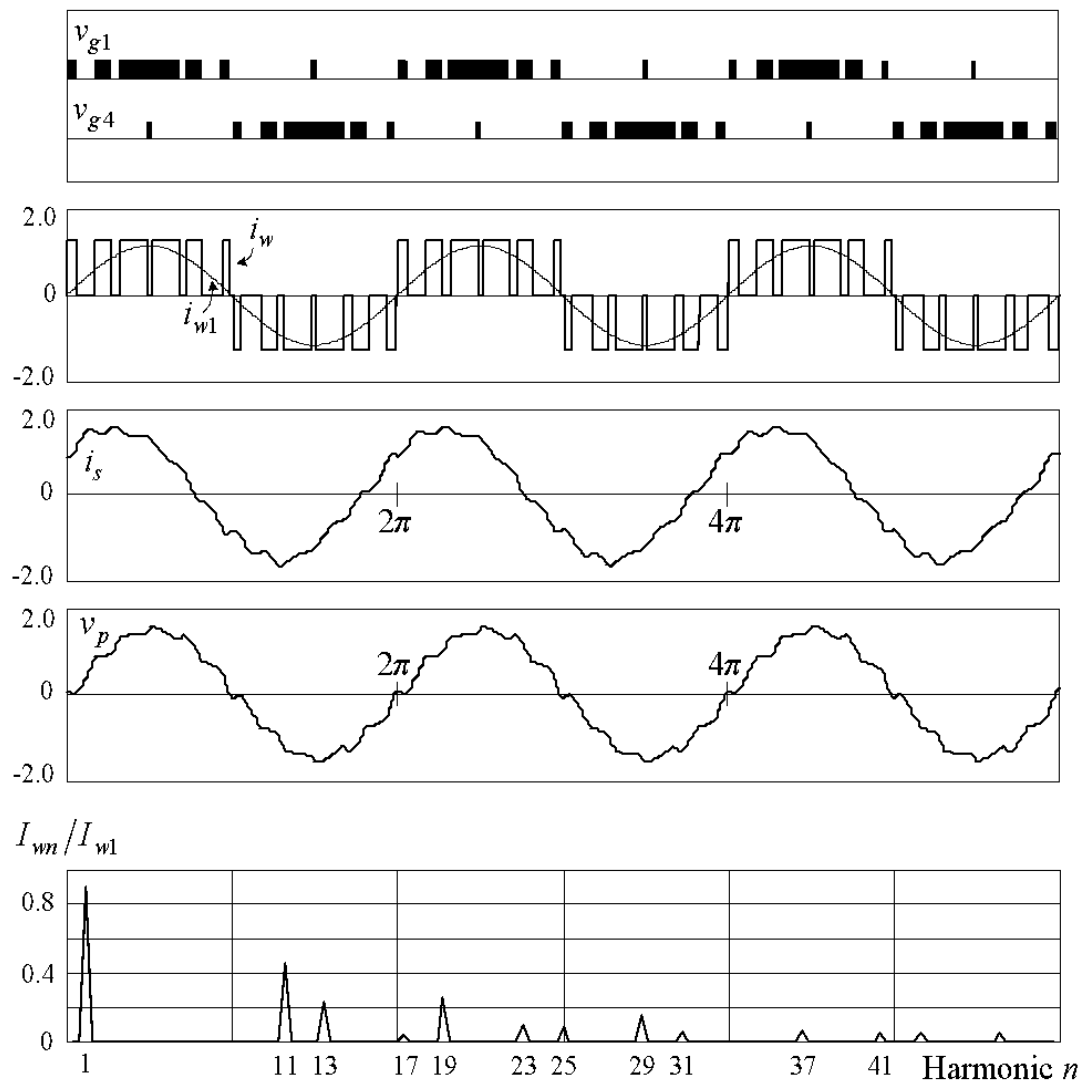


(избавление от 5<sup>ой</sup> и 7<sup>ой</sup> гармоники)



# Одноместный мостовой выпрямитель

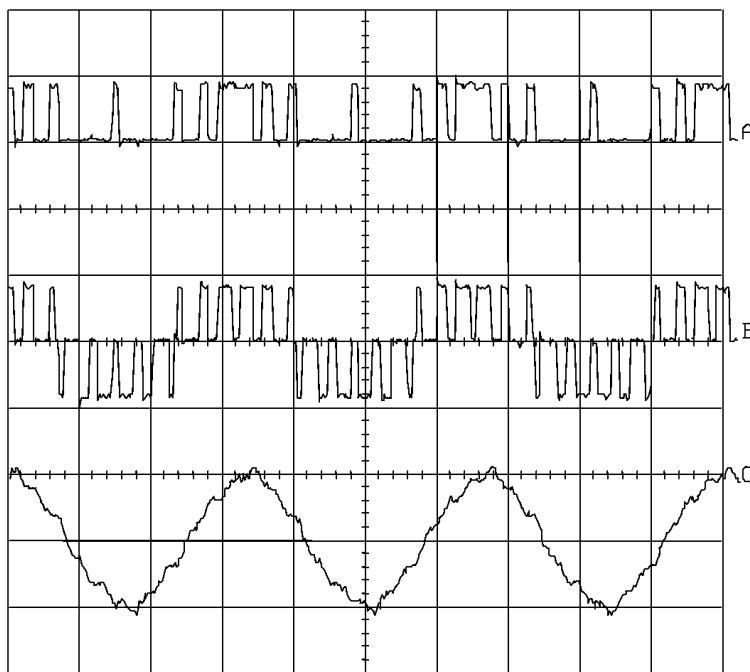
## • Графики сигналов



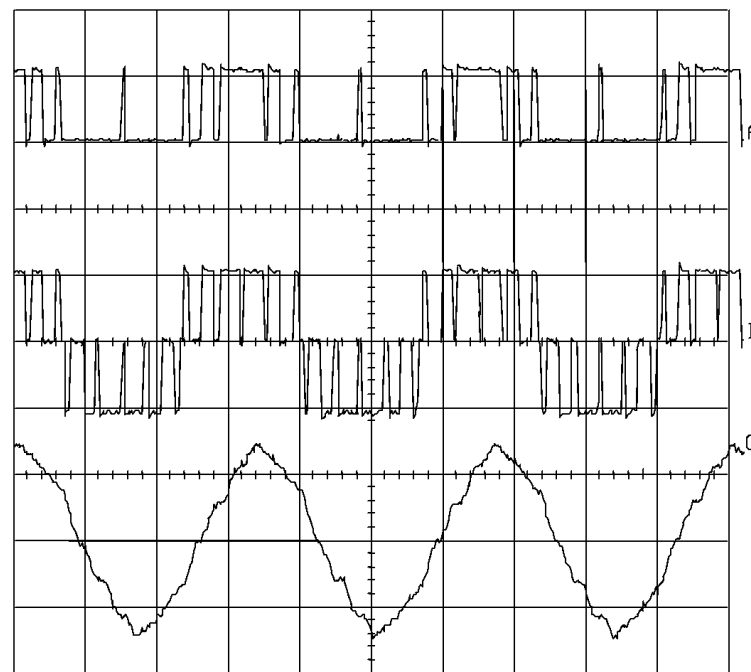
(избавление от 5<sup>ой</sup> и 7<sup>ой</sup> гармоника)

# Одноместный мостовой выпрямитель

## • Экспериментальные данные



$$m_a = 0.7$$



$$m_a = 0.95$$

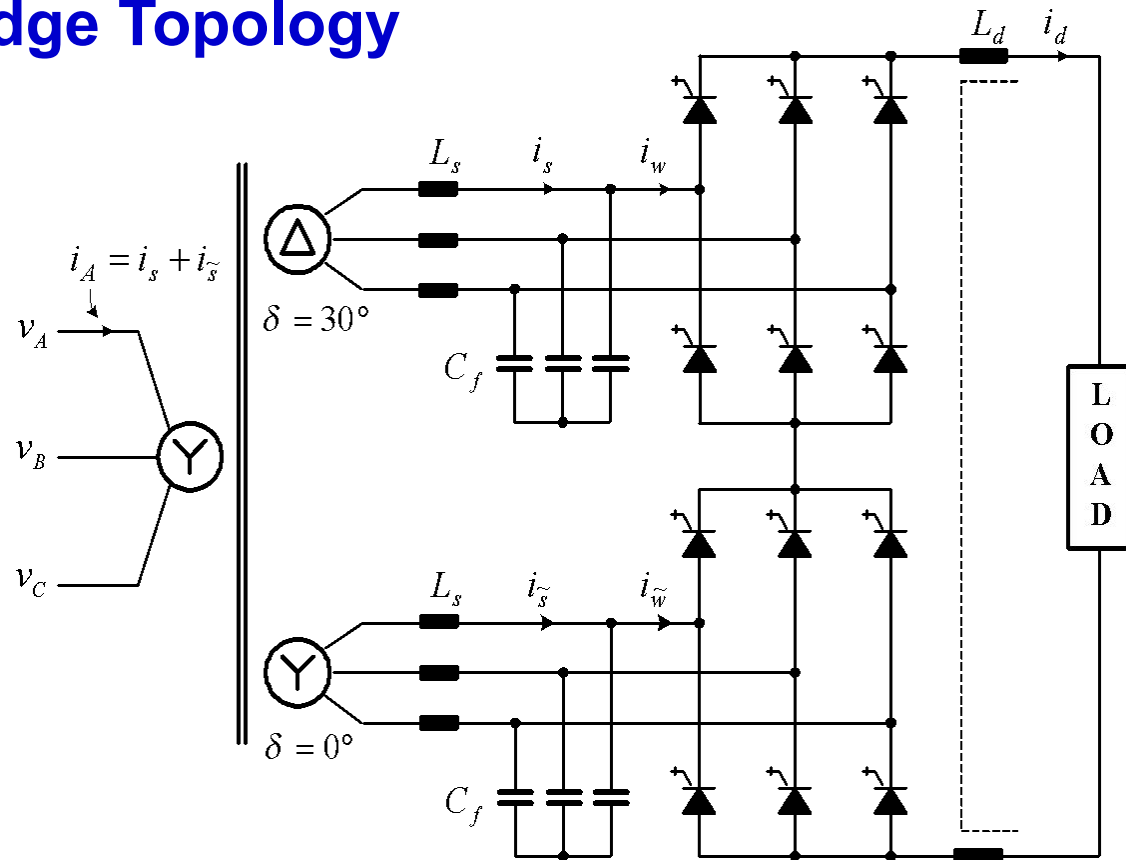
график А: ток в переключатель S1

график В: выпрямитель входного тока  $i_w$

график С: график тока  $i_s$

# Single Bridge Rectifier

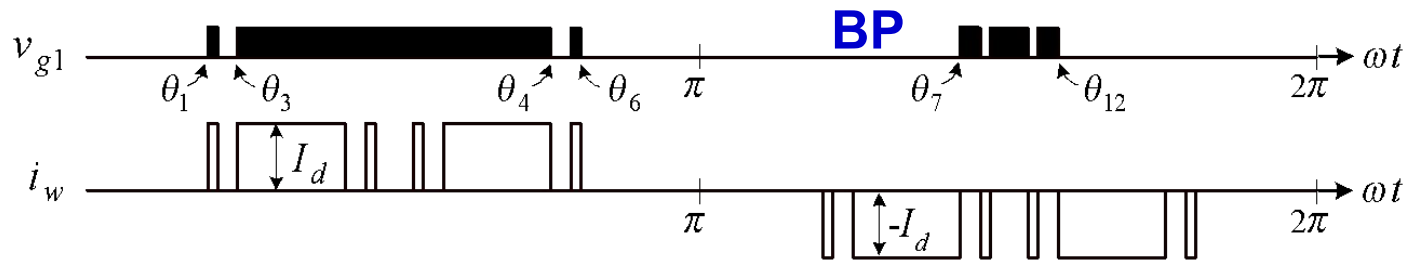
## • Dual-Bridge Topology



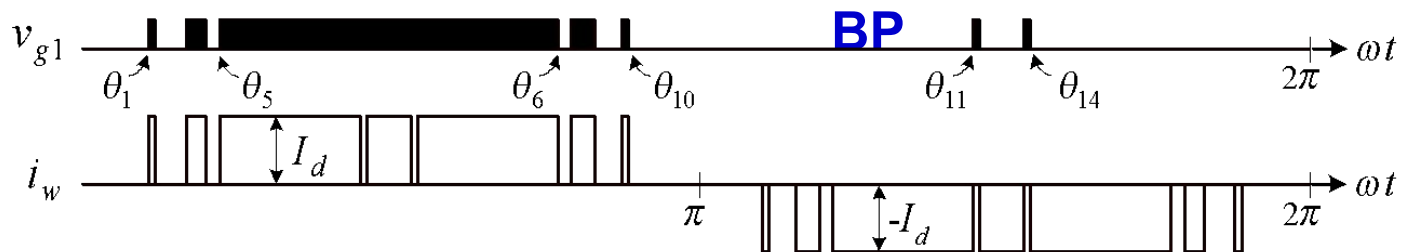
- Use 12-pulse transformer to cancel the 5<sup>th</sup> and 7<sup>th</sup> harmonics
- Use PWM to eliminate the 11<sup>th</sup> and 13<sup>th</sup> harmonics
- The lowest harmonic in the line current is the 17<sup>th</sup>
- Very low line current harmonic distortion

# Одноместный мостовой выпрямитель

## • углы переключения



(a) Switching pattern A for a low  $m_a$

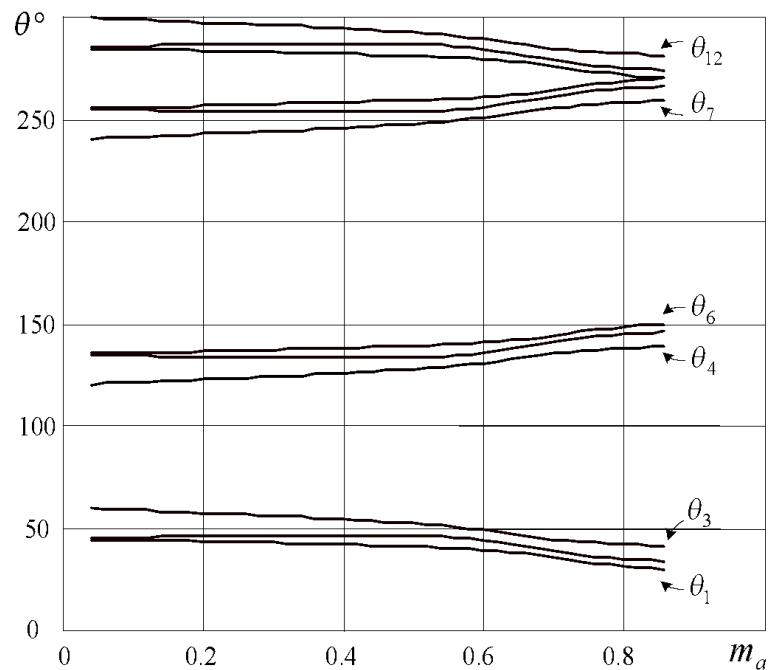


(b) Switching pattern B for a high  $m_a$

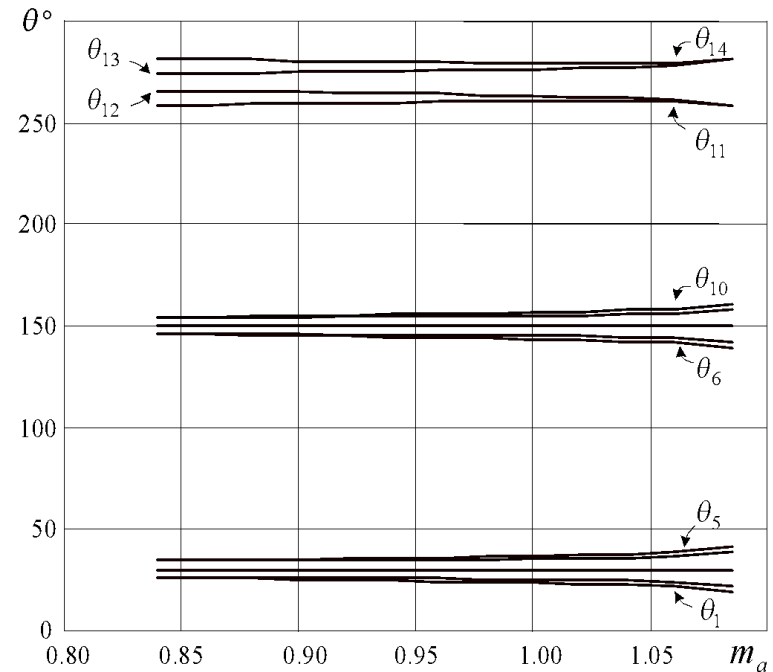
- **Обходной (пренебрегаемый) импульс (BP)**
  - позволяет регулировать  $i_w$
- селективная модуляция ШИМ – ликвидирует
- $11^{ю}$  and  $13^{ю}$  гармоники

# Dual Bridge Rectifier

## • Switching Angles *versus* $m_d$



Switching pattern A

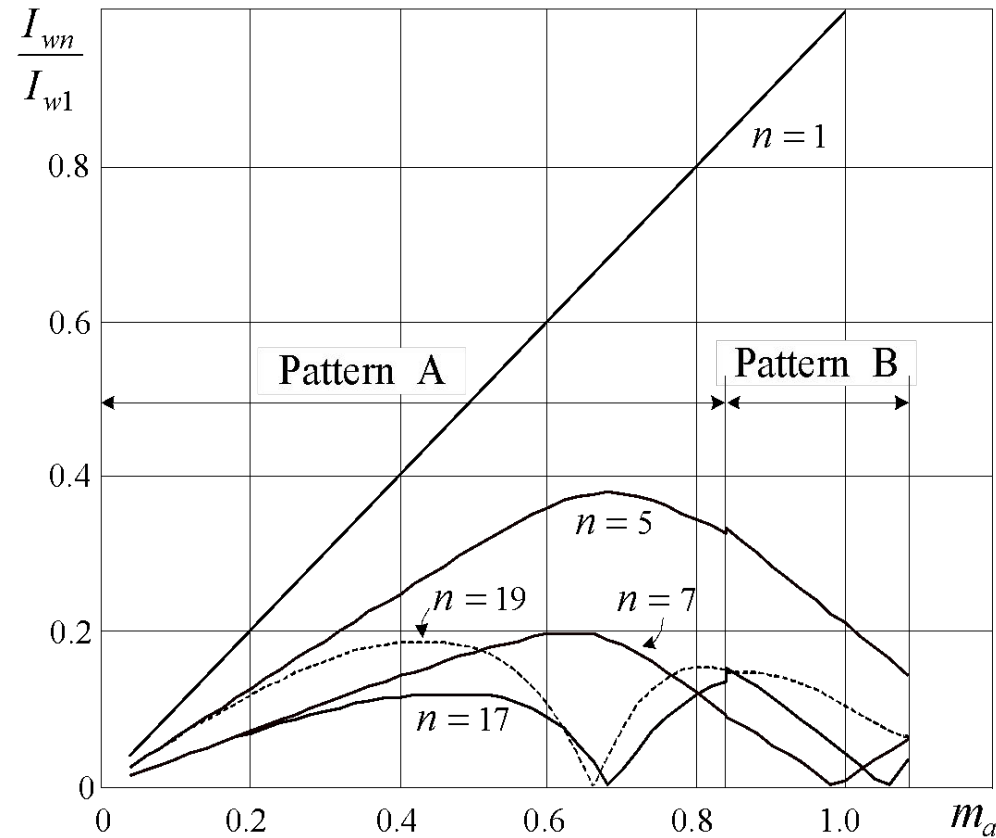


Switching pattern B

(11<sup>th</sup> and 13<sup>th</sup> harmonic elimination)

# Dual Bridge Rectifier

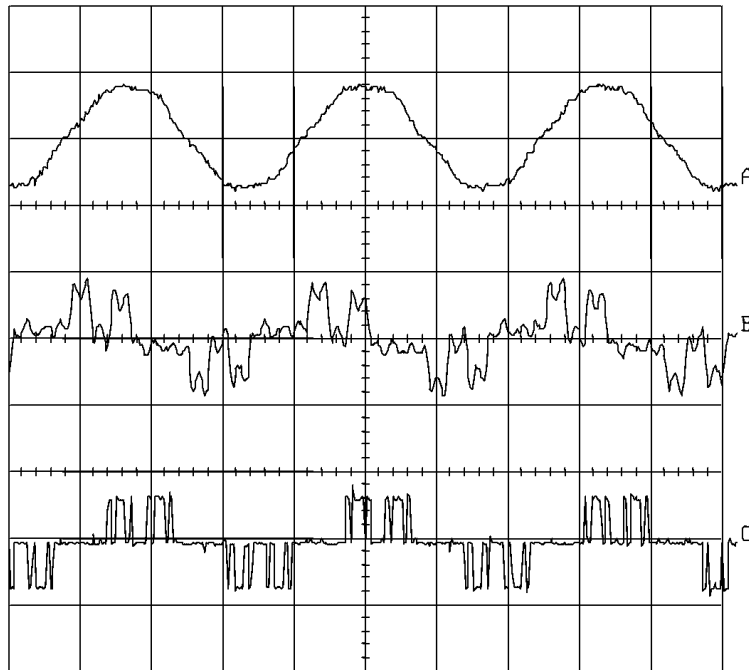
## • Harmonic Profile



**(11<sup>th</sup> and 13<sup>th</sup> harmonic elimination)**

# Dual Bridge Rectifier

## • Experimental Waveforms

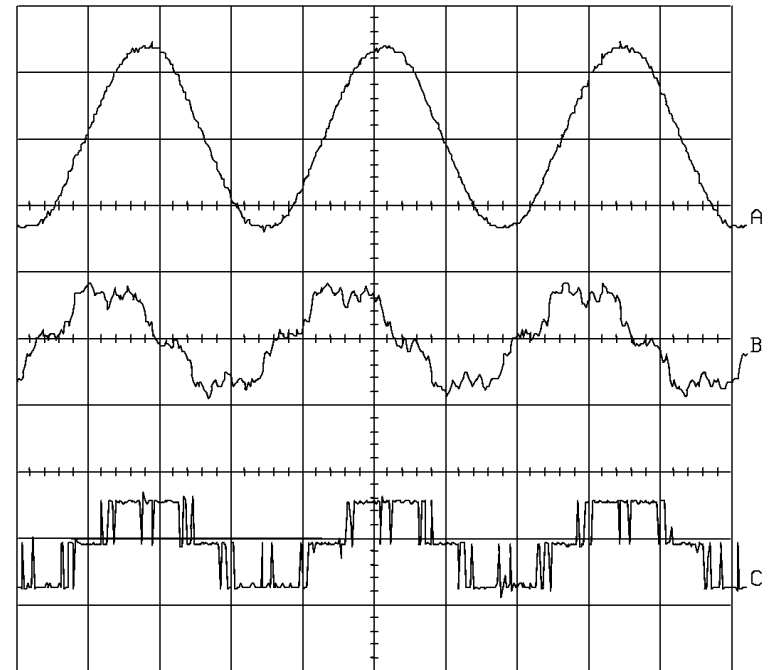


**Modulation index: 0.5**

**Trace A:  $i_A$  - line current on transformer primary side**

**Trace B:  $i_s$  - line current on transformer secondary side**

**Trace C:  $i_w$  - rectifier input current**



**Modulation index: 0.9**

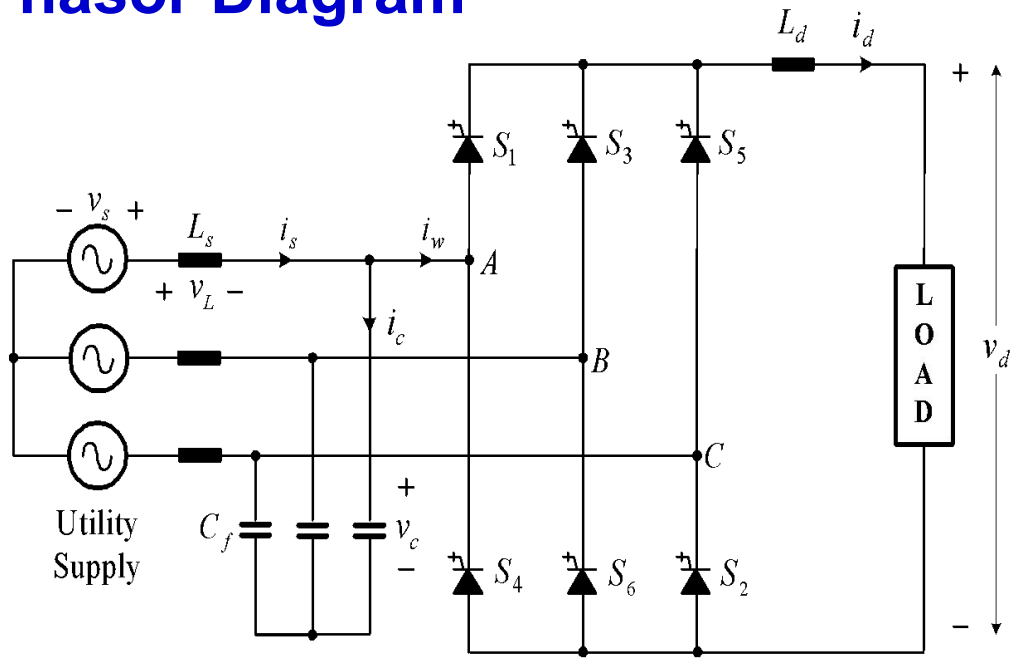
**Trace A:  $i_A$  - line current on transformer primary side**

**Trace B:  $i_s$  - line current on transformer secondary side**

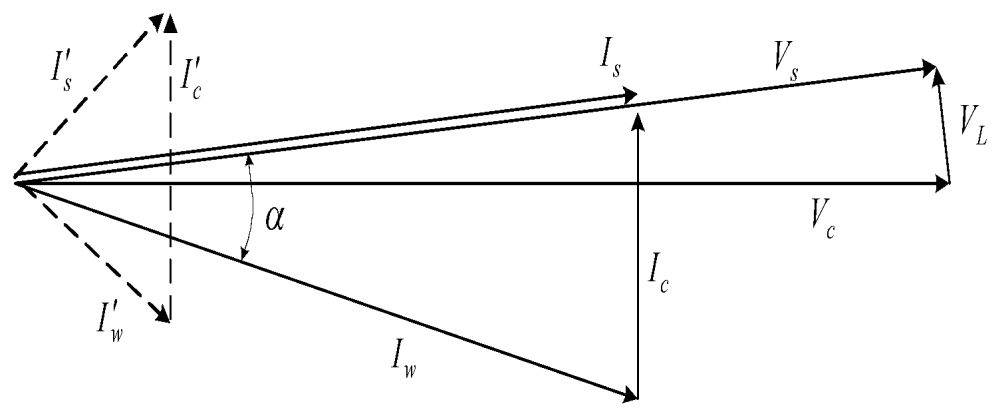
**Trace C:  $i_w$  - rectifier input current**

# Power Factor Control

## • Phasor Diagram



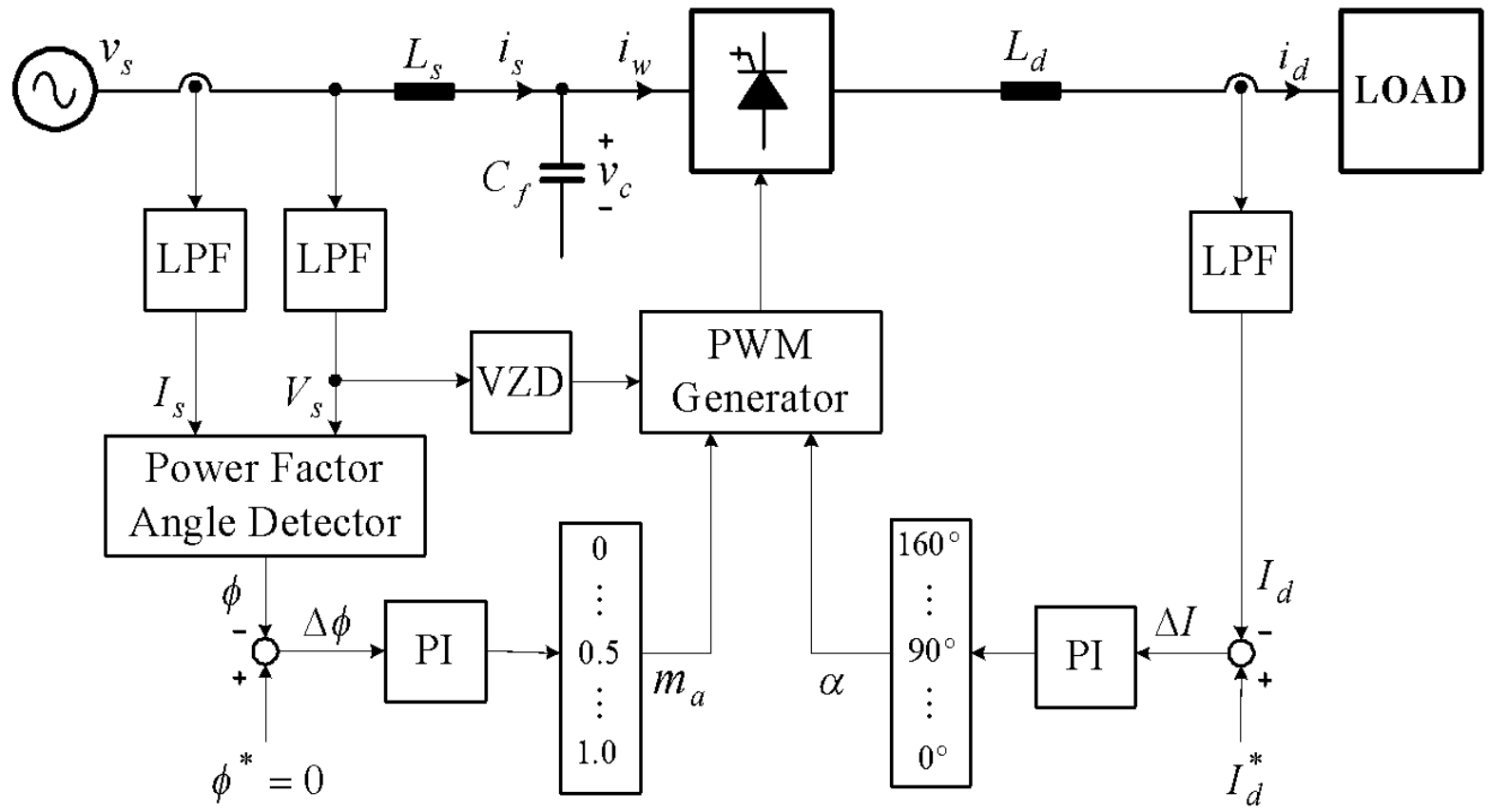
- $C_f$  produces leading PF
- Delay angle control produces lagging PF
- To improve PF, use  $m_a$  and delay angle control simultaneously





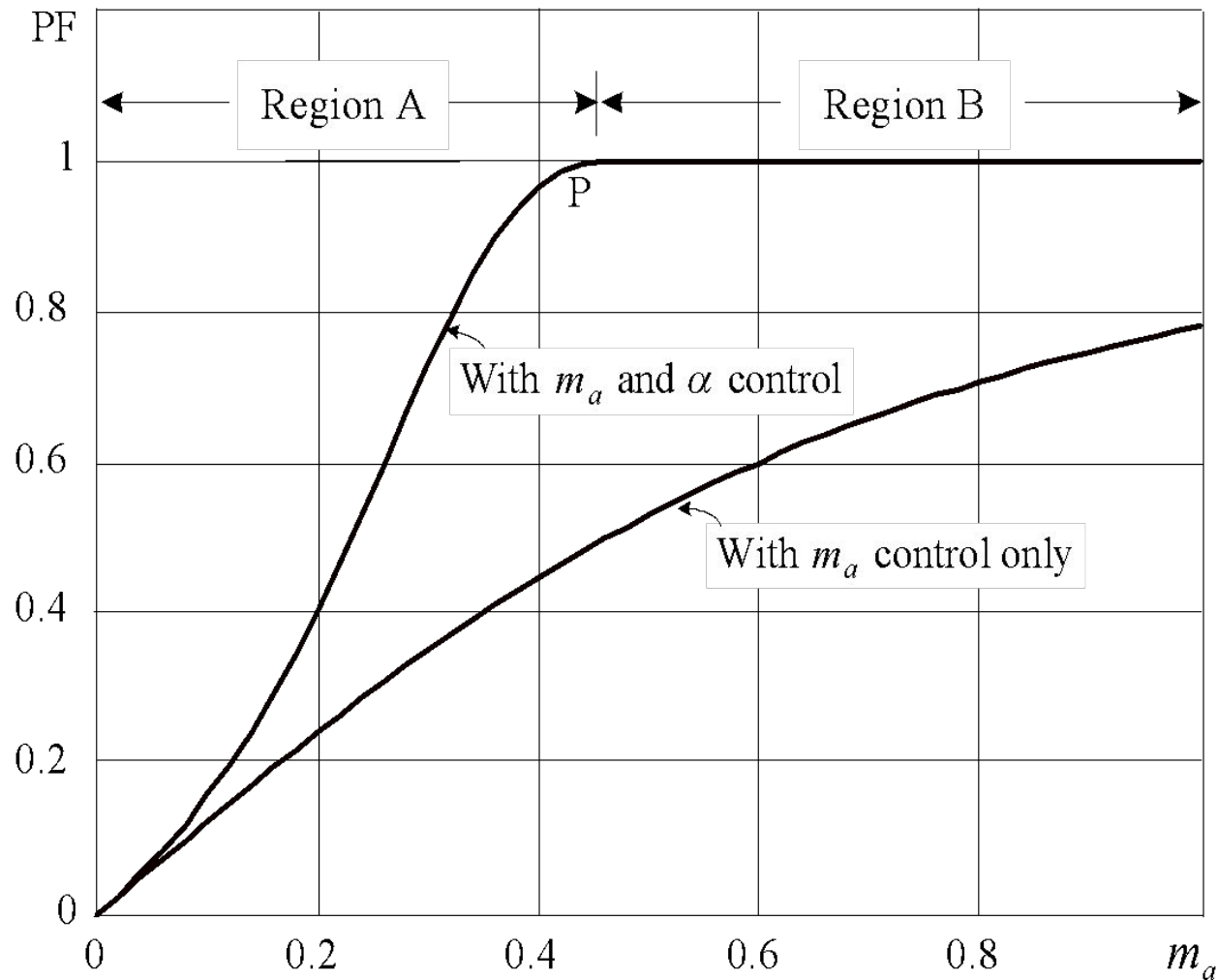
# Power Factor Control

## • Block Diagram



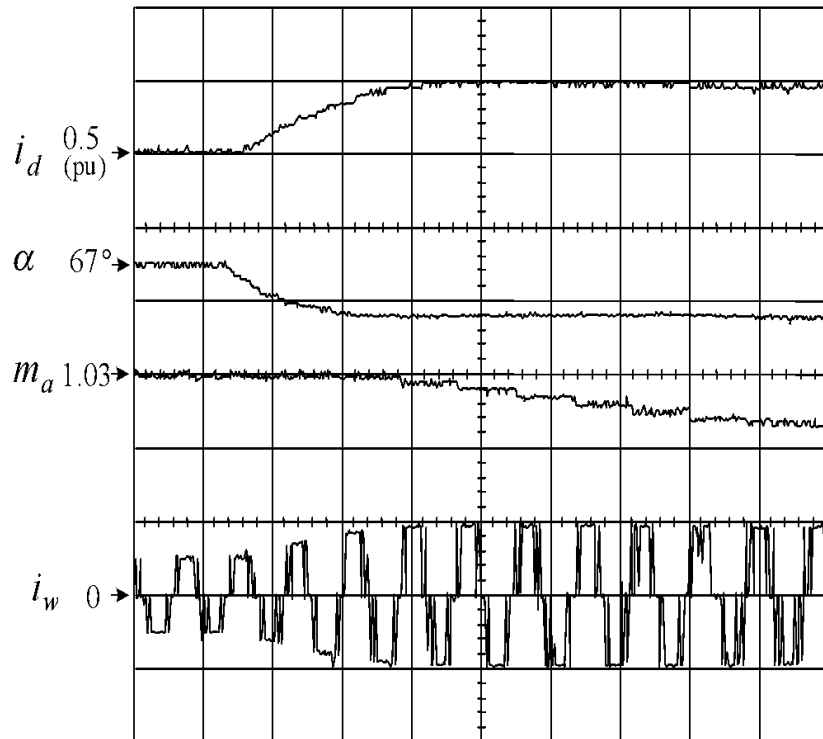
# Power Factor Control

- Power Factor Profile

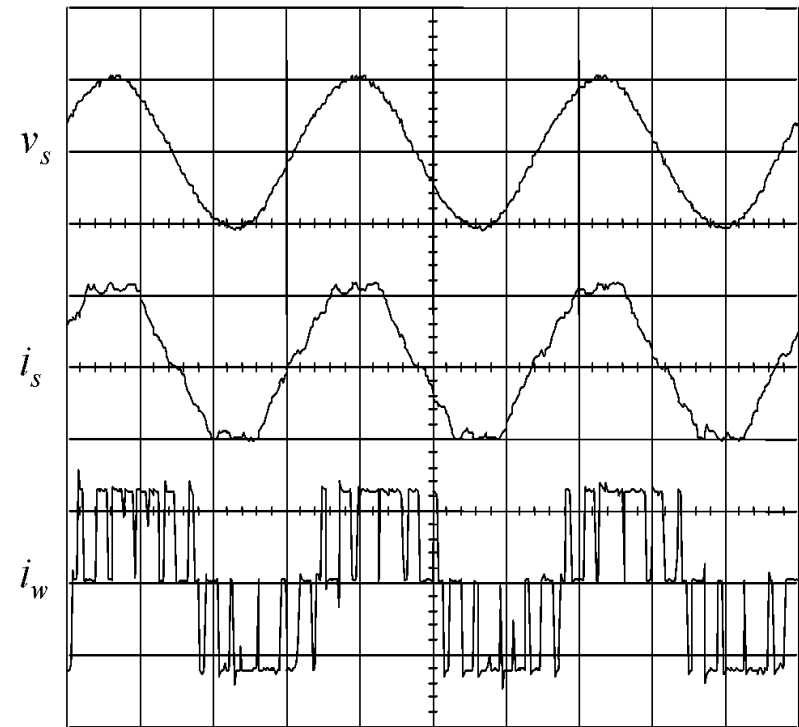


# Power Factor Control

## • Experiments



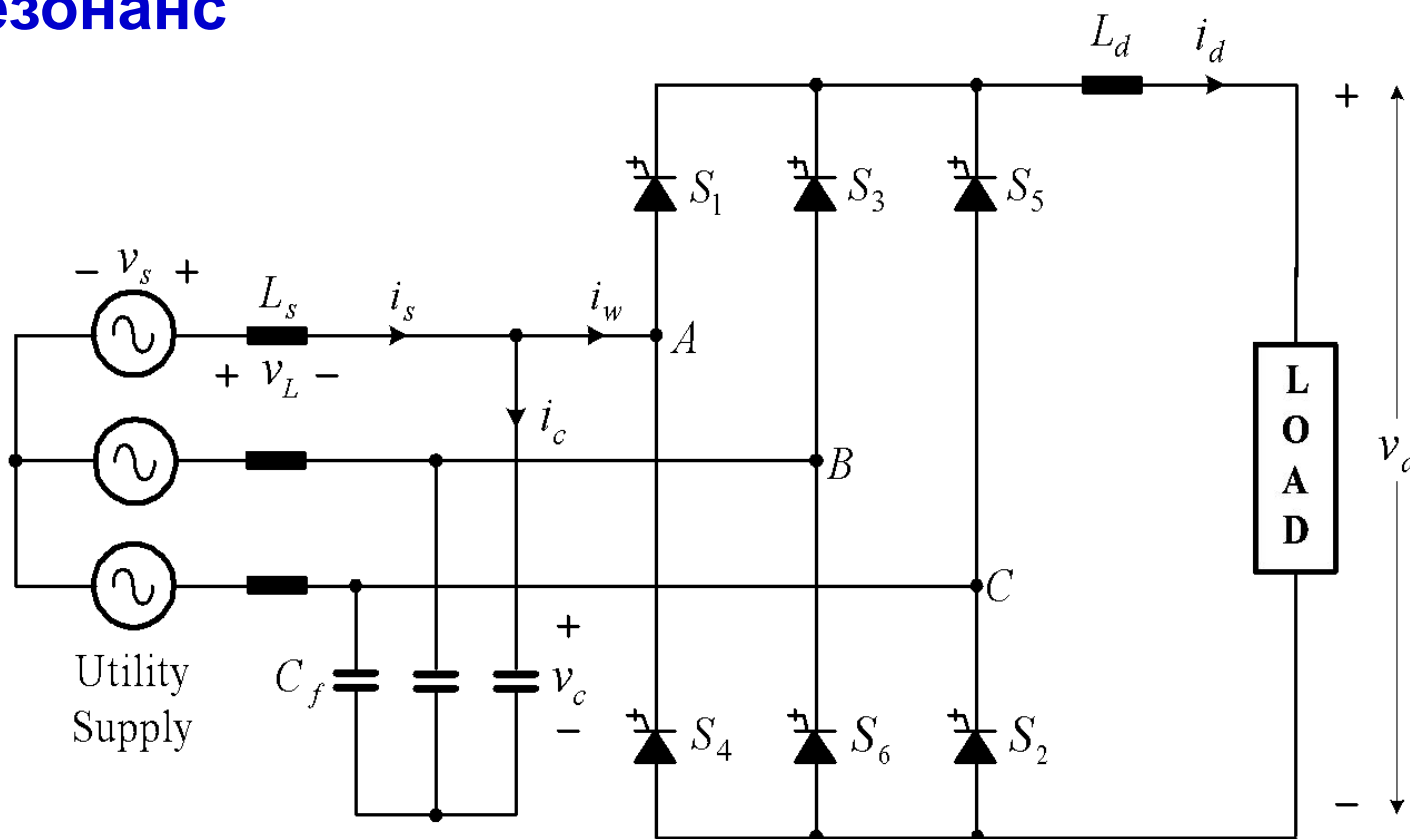
(a) Transient response



(b) Steady state waveforms  
(PF = 1)

# LC резонанс и активное демпфирование

## • LC Резонанс



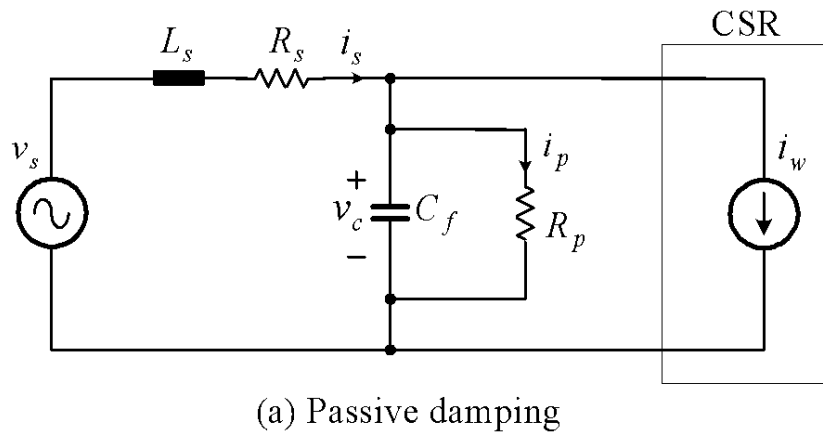
Резонансный режим: 
$$\omega_{рез} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_s C_f}}$$

Резонанс может быть получен:

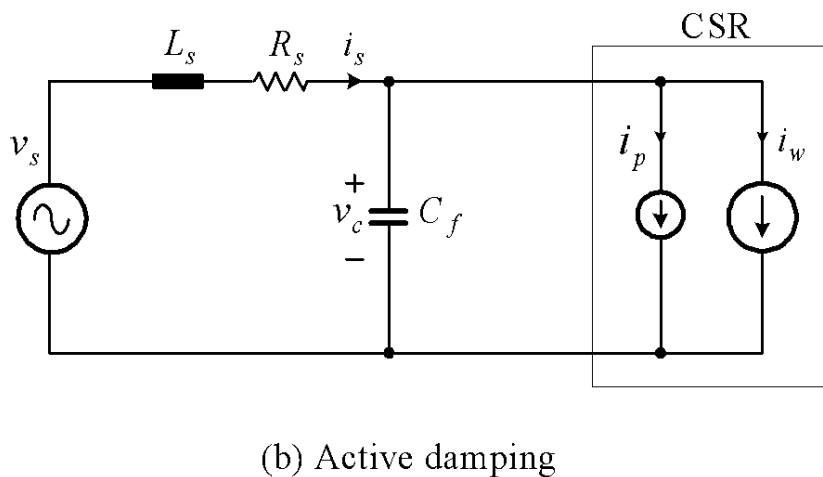
- Гармониками питающего напряжения
- Гармониками выпрямленного тока

# LC резонанс и активное демпфирование

## • Пассивное и активное демпфирование



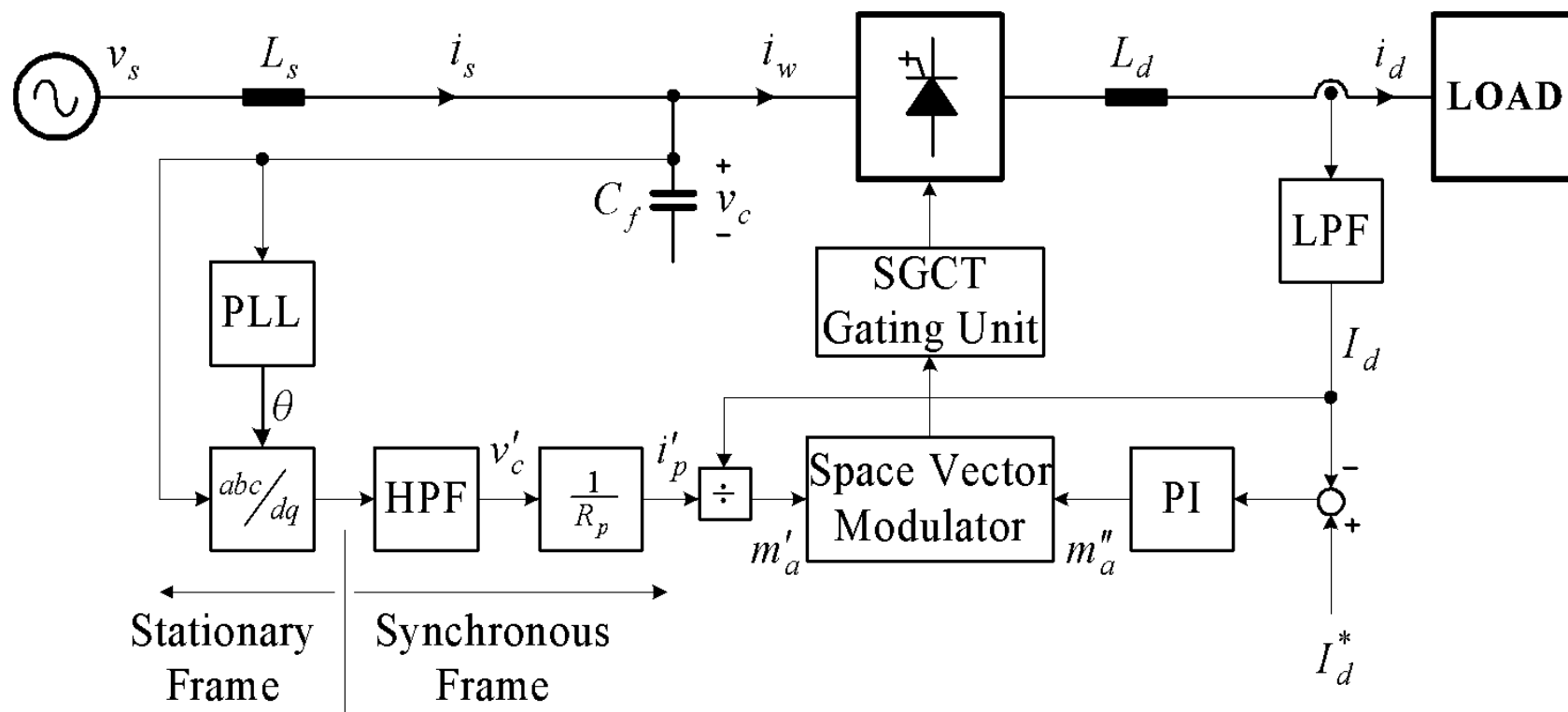
- Пассивное демпфирование:  
 $R_p$  – Демпфирующее сопротивление



- Активное демпфирование:
  - Без сопротивления
  - Демпфирующий ток  $i_p$  создается CSR через  $m_a$  управление
  - Ток  $i_p$  находится в фазе с  $V_c$

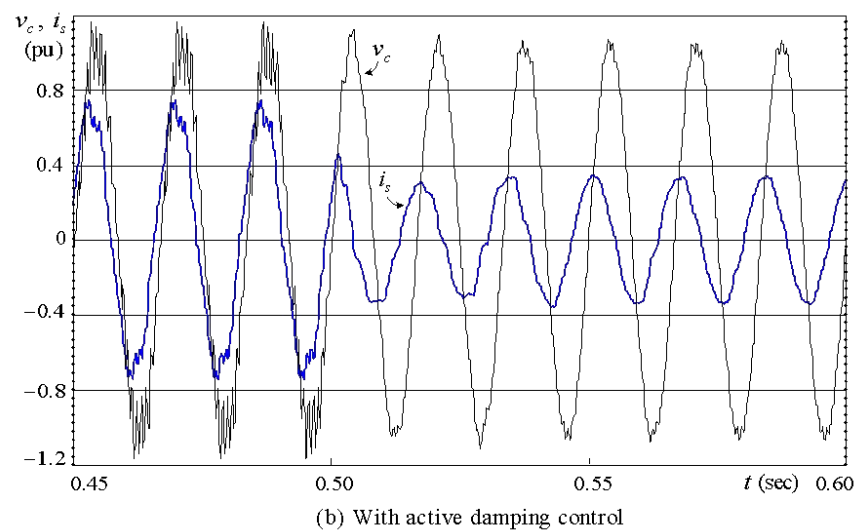
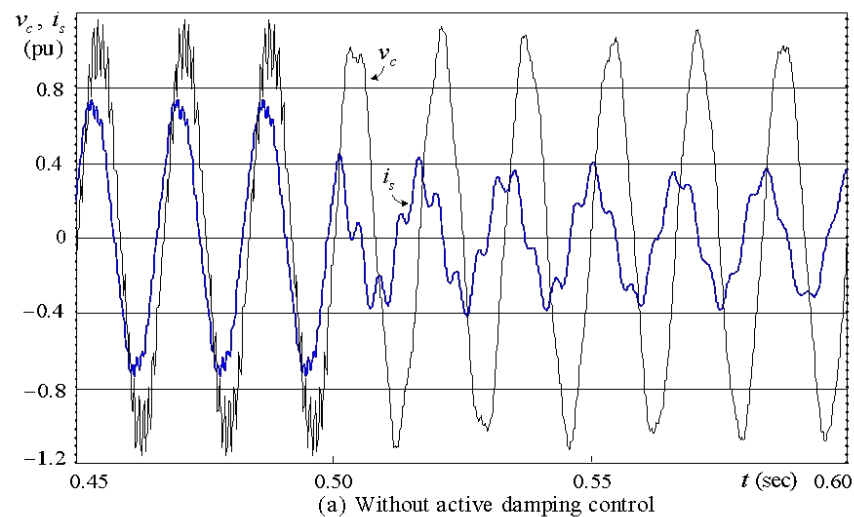
# LC резонанс и активное демпфирование

## • Блок-схема управления активным демпфером



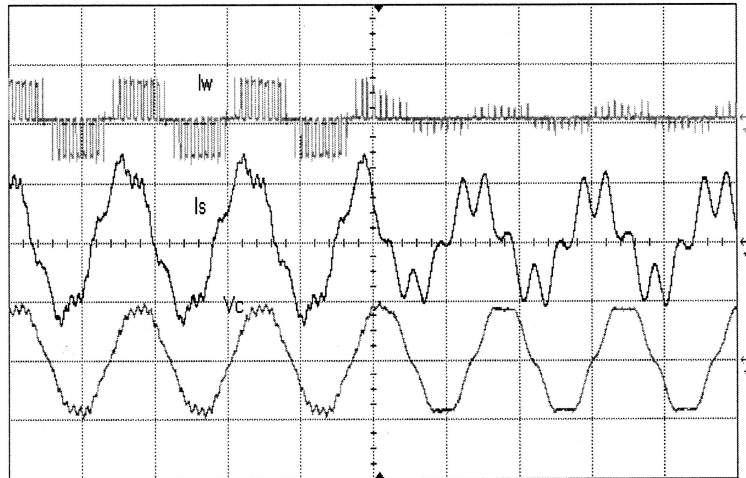
# LC резонанс и активное демпфирование

- Смоделированные осциллограммы напряжения  $v_c$  и тока  $i_s$



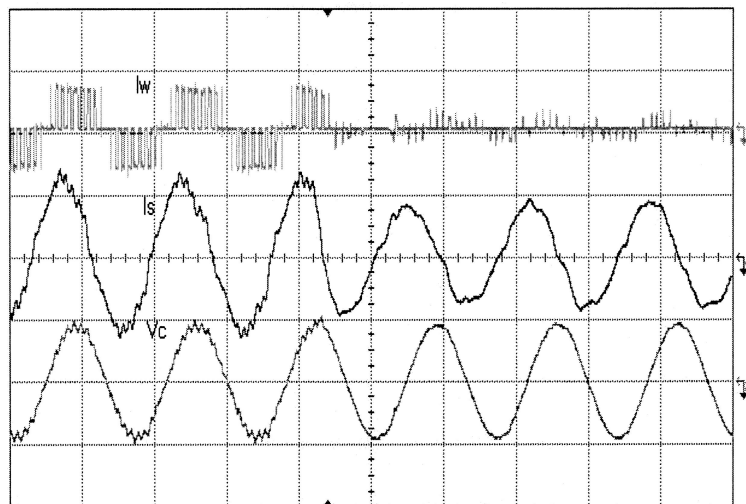
# LC резонанс и активное демпфирование

## • Реальные измеренные осциллограммы



### Без активного демпфера

- Выпрямленный входной ток
- Линейный ток
- Напряжение конденсатора



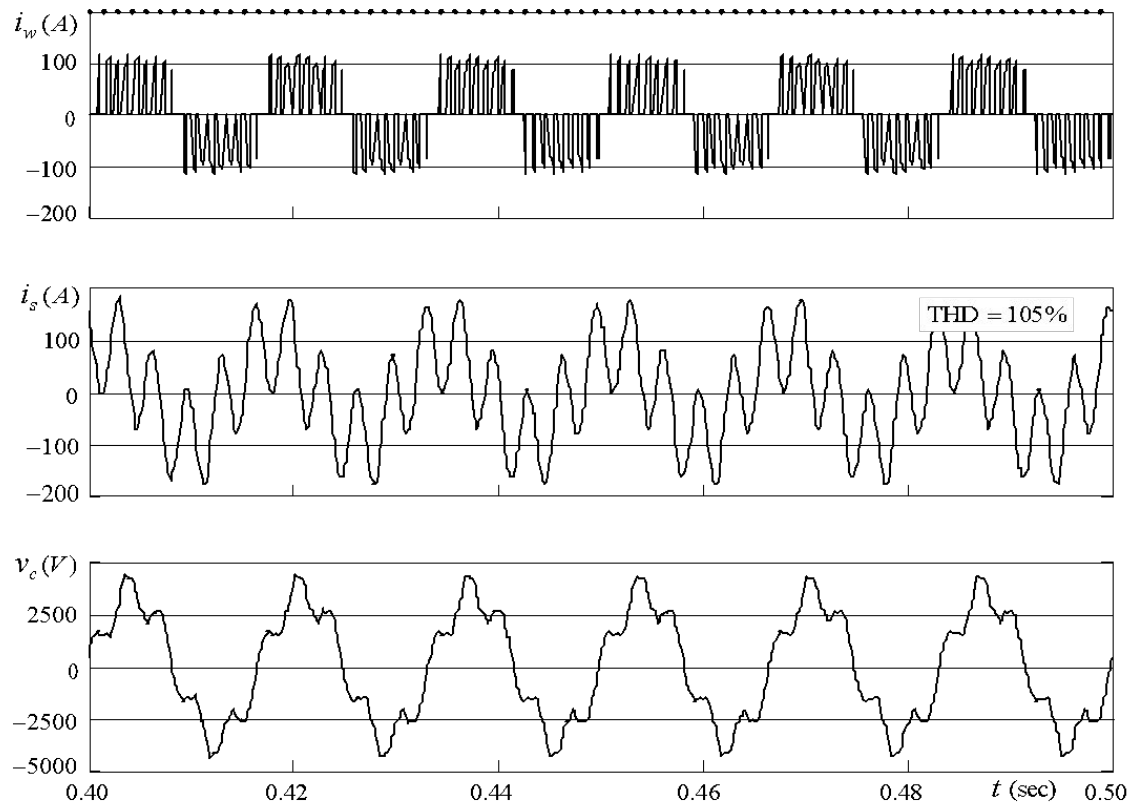
### С активным демпфером

- Выпрямленный входной ток
- Линейный ток
- Напряжение конденсатора



# LC резонанс и активное демпфирование

- Стационарные осциллограммы без активного демпфирования

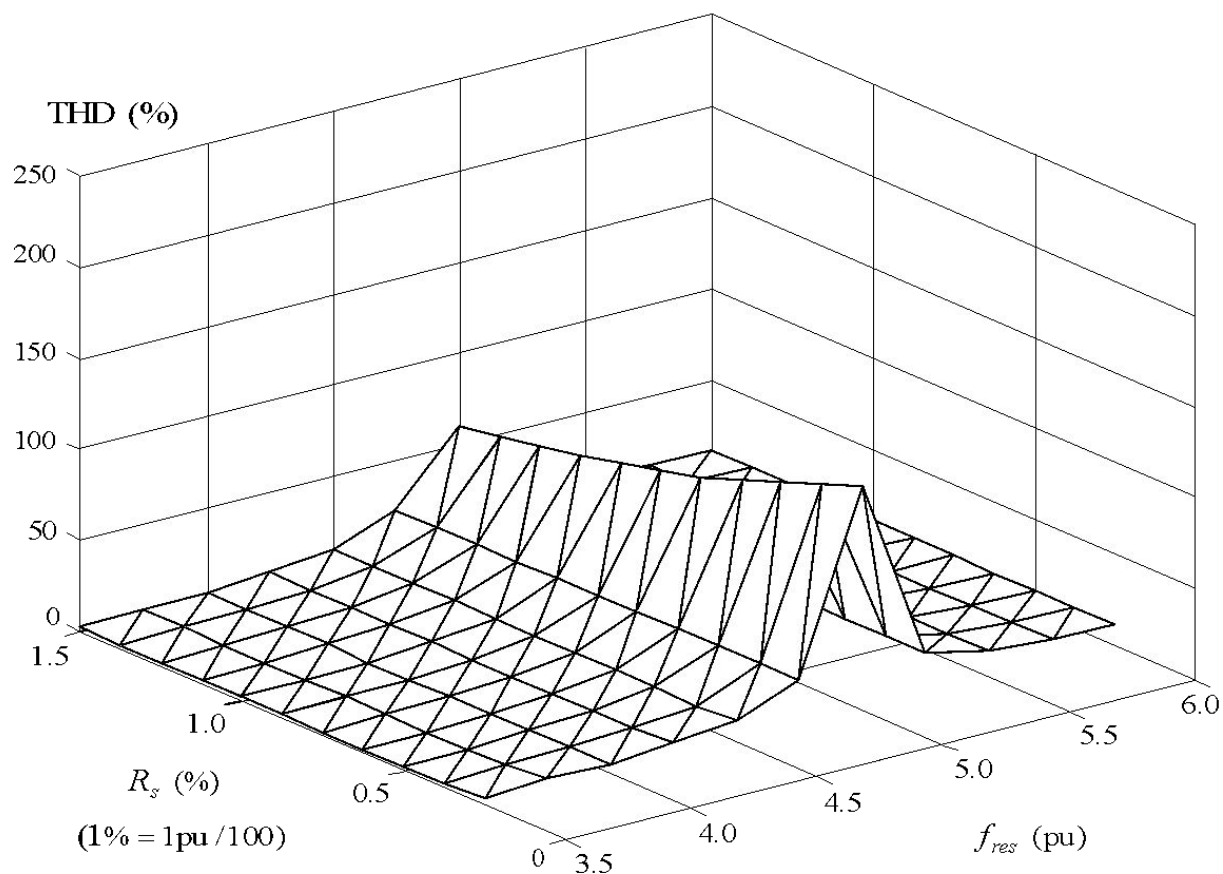


**Без управления активным демпфером**

**LC резонанс настроен именно на пятую гармонику (в худшем случае)**

# LC резонанс и активное демпфирование

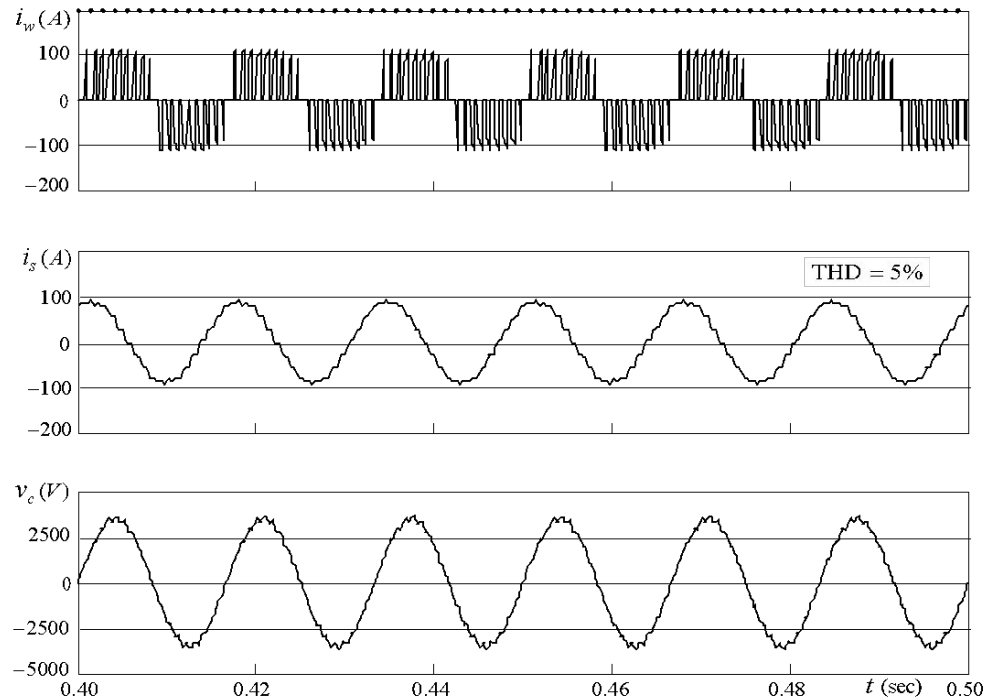
- **Линейный ток THD**



**Без управления активным демпфером**

# LC резонанс и активное демпфирование

## • Стационарные осциллограммы с активным демпфированием

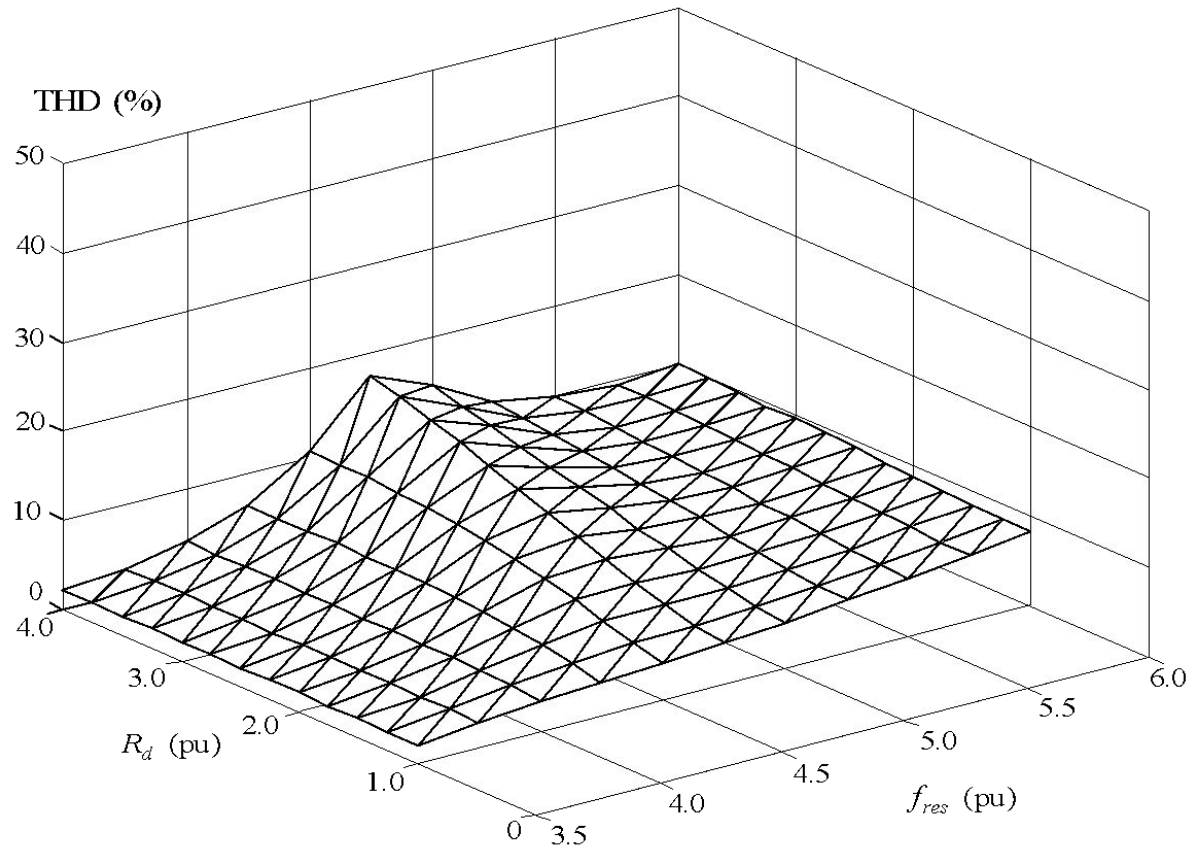


С управлением активным демпфером

LC резонанс настроен именно на пятую гармонику (в худшем случае)

# LC резонанс и активное демпфирование

- **Линейный ток THD**



## С управлением активным демпфером



Спасибо!