

LISTEN.  
THINK.  
SOLVE.®

# Высоковольтный привод серии PowerFlex6000 (обзор и характеристики)

**Леонид Микоша**

Менеджер по продукции высоковольтный электропривод  
АПСС-Сибирь 2015



Allen-Bradley • Rockwell Software

**Rockwell  
Automation**

# Бизнес среднего напряжения

**Rockwell  
Automation**

- Штаб-квартира в г.Кембридж, округ Онтарио, Канада
- Продажи в 2013 составили – около \$300 млн USD
- Глобальная мировая поддержка и сервис для продуктов среднего напряжения ЧРП, УПП и ячеек
- 4-е завода по производству оборудования среднего напряжения и инжинирингу в Северной Америке, Азии, Европе и Южной Америке



Кембридж, Канада, Штаб-квартира



Завод в Канаде – Производственный цех

# Заводы и технические центры

- Канада – Кембридж, Онтарио
  - 37,000 м<sup>2</sup> завод и испытательный стенд по производству оборудования для Заказчиков из стран Северной и Латинской Америки
- Китай - Харбин
  - 37,000 м<sup>2</sup> завод и испытательный стенд по производству оборудования для Заказчиков из Китая и Азии
- Польша - Катовице
  - 7,400 м<sup>2</sup> завод и испытательный стенд по производству оборудования для Заказчиков из Европы, СНГ, Ближнего востока и Африки
- Бразилия – Сан Паоло
  - 6,500 м<sup>2</sup> завод и испытательный стенд по производству оборудования для Заказчиков из Бразилии и Южной Америки



Канада



Китай



Польша



Бразилия

# Вехи производства оборудования среднего напряжения

**Rockwell  
Automation**



Первый высоковольтный  
Стартер Allen-Bradley



1931



Первый ВВ ЧРП  
Allen-Bradley 1557



1989



Бестрансформаторный  
Direct-to-Drive ВВ ЧРП

**Rockwell  
Automation**

2004



ВВ ЧРП 10 кВ  
PowerFlex 6000

**Rockwell  
Automation**

2012



Первый Allen-Bradley  
ВВ вакуумный контактор



**Rockwell  
Automation**

Третья генерация  
ВВ ЧРП – PowerFlex 7000



**Rockwell  
Automation**

ВВ ЧРП большой  
мощности с тепловыми  
трубами Flex 7000 VFD



# Бизнес среднего напряжения

**Rockwell  
Automation**

## ■ Rockwell Automation

- Мировой лидер
- ВВ ЧРП производится серийно с 1989
- Установлено более 8,000 ВВ ЧРП\*
- Установленная мощность более 8,200 MW\*
- Годовые продажи превышают \$1.7 млрд USD\*
  - 54% Северная Америка
  - 14% Латинская Америка
  - 15% EMEA
  - 17% Азия



\* На конец ноября 2013 г.

# Линейка приводов среднего напряжения PowerFlex

**Rockwell  
Automation**

- PowerFlex 7000: 2.3кВ, 3.3кВ, 4.16кВ и 6.6кВ основные ЧРП
- PowerFlex 6000: 3/3.3кВ, 6/6.6кВ и 10/11кВ расширяющая серия ЧРП



**PowerFlex 7000 MV VFDs**



**PowerFlex 6000 MV VFDs**

# PowerFlex6000 высоковольтный ЧРП

**Rockwell  
Automation**

Простой. Надежный. Легко устанавливать и обслуживать.



# PowerFlex 6000 линейка продукта

- Топология: Инвертор напряжения (VSI) - многоуровневый
- Выходные напряжения и мощности:
  - 3/3.3 кВ (до 380А)
    - 315 – 1600 кВт @ 3 кВ / 315 – 1720 кВт @ 3.3 кВ
  - 6/6.6 кВ (до 420А)
    - 200 – 3360 кВт @ 6 кВ / 200 – 3720 кВт @ 6.6 кВ
  - 10 кВ (до 420А)
    - 200 – 5600 кВт @ 10 кВ


**3/3.3 кВ**

**6/6.6 кВ**

**10/11 кВ**

# PowerFlex 6000 Габариты оборудования

**Rockwell  
Automation**

## Configurations

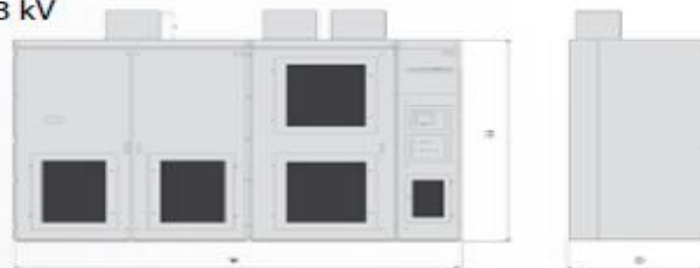
Rockwell Automation offers three basic configurations based on input voltage - 3/3.3 kV, 6/6.6 kV, 10 kV and 11 kV. Refer to the following chart for approximate kW ratings and dimensions.

| Input Voltage                | Typical Motor Rating (kW) | Dimensions (W x D x H) mm <sup>(2)</sup> |
|------------------------------|---------------------------|------------------------------------------|
| 3/3.3 kV                     | 320 - 800                 | 3780 x 1362 x 2400                       |
|                              | 801 - 1600                | 4400 x 1362 x 2400                       |
| 6/6.6 kV                     | 200 - 1200                | 4000 x 1362 x 2400                       |
|                              | 1201 - 1600               | 4600 x 1362 x 2400                       |
|                              | 1601 - 2800               | 5930 x 1362 x 2400                       |
|                              | 2801 - 3720               | 5930 x 1562 x 2400                       |
| 10 kV                        | 200 - 1120                | 4400 x 1362 x 2400                       |
|                              | 1121 - 2000               | 4600 x 1362 x 2400                       |
|                              | 2001 - 2800               | 6540 x 1362 x 2400                       |
|                              | 2801 - 4000               | 7290 x 1562 x 2400                       |
|                              | 4001 - 5600               | 7890 x 1562 x 2400                       |
| 11 kV: 3.3 kV <sup>(1)</sup> | 360 - 890                 | 3780 x 1362 x 2400                       |
|                              | 891 - 1720                | 4400 x 1362 x 2400                       |
| 11 kV: 6.6 kV <sup>(1)</sup> | 220 - 890                 | 4000 x 1362 x 2400                       |
|                              | 891 - 1360                | 4200 x 1362 x 2400                       |
|                              | 1361 - 1800               | 4600 x 1362 x 2400                       |
|                              | 1801 - 2800               | 5930 x 1362 x 2400                       |
|                              | 2801 - 3720               | 5930 x 1562 x 2400                       |

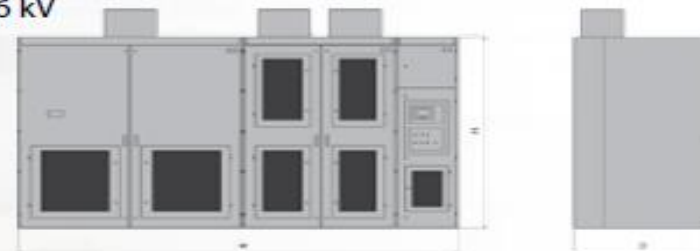
<sup>(1)</sup> Rated output voltage

<sup>(2)</sup> Height dimensions exclude top mounted cooling fan (approx. 330 mm in most cases).

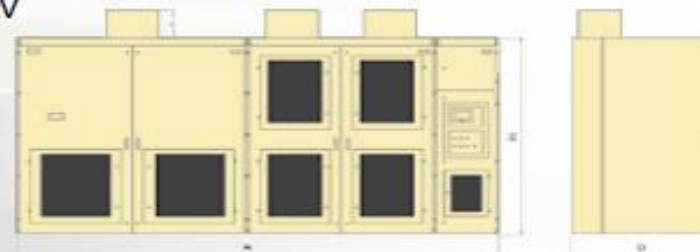
3/3.3 kV



6/6.6 kV



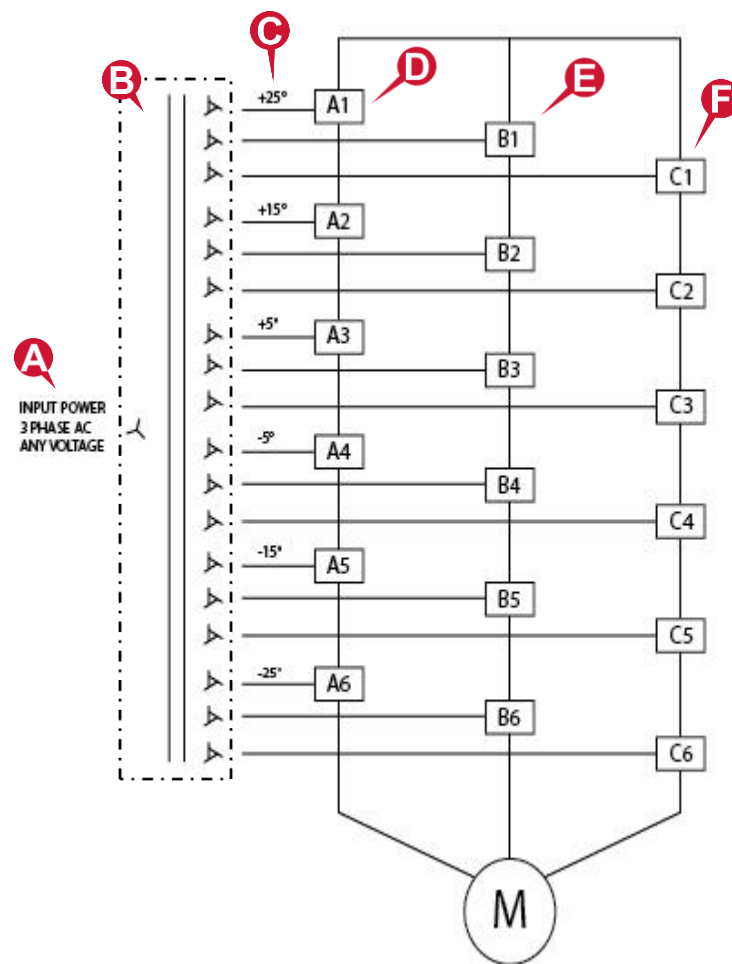
10 kV



# PowerFlex 6000 – Топология

## ■ Основные компоненты ЧРП:

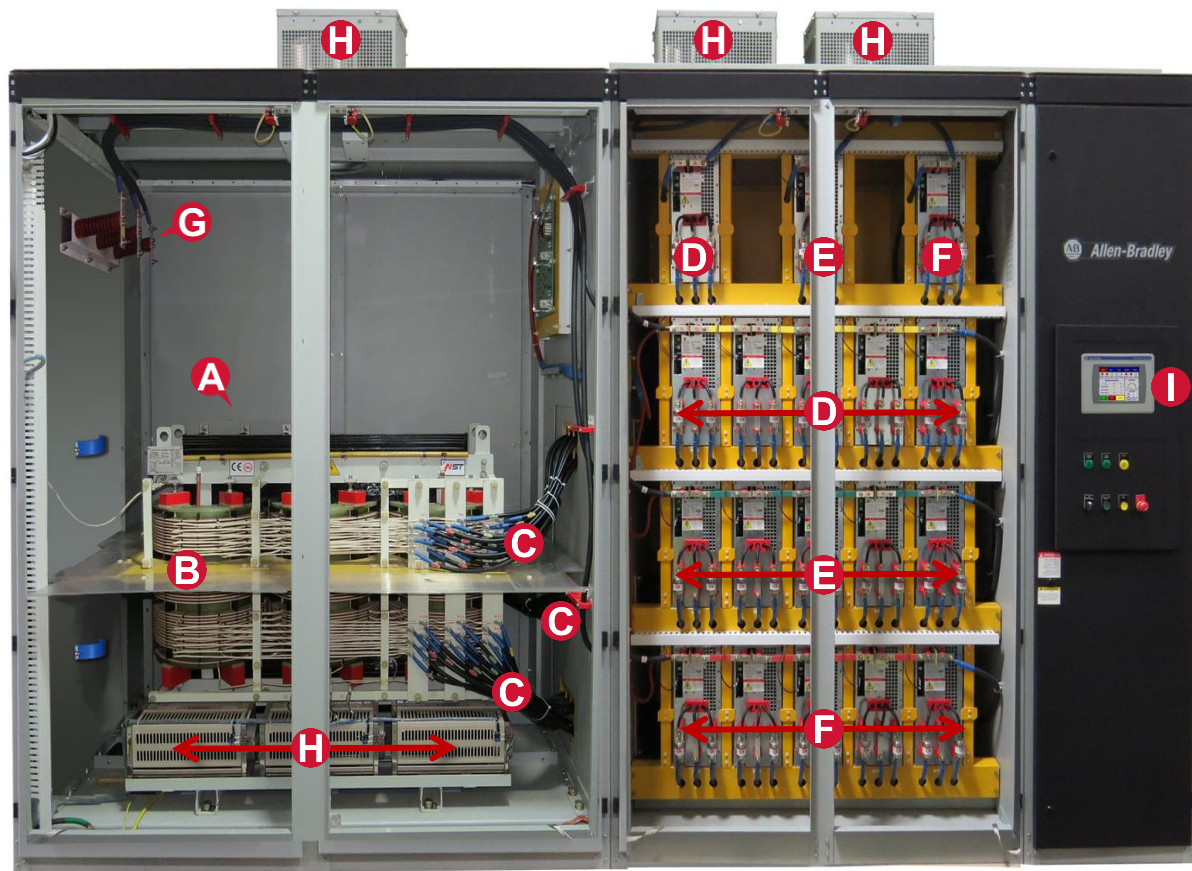
- Встроенный согласующий многообмоточный трансформатор **B**
- Трансформатор может быть рассчитан на любое входное напряжение и обеспечивает две следующие функции:
  - многоуровневый инвертор обеспечивает на выходе форму напряжения близкую к синусоидальной, что позволяет использовать стандартные двигатели.
  - сдвиг по фазе вторичных обмоток обеспечивает снижение уровня гармоник на стороне сети.



Cascaded "H" Bridge (CHB) Topology

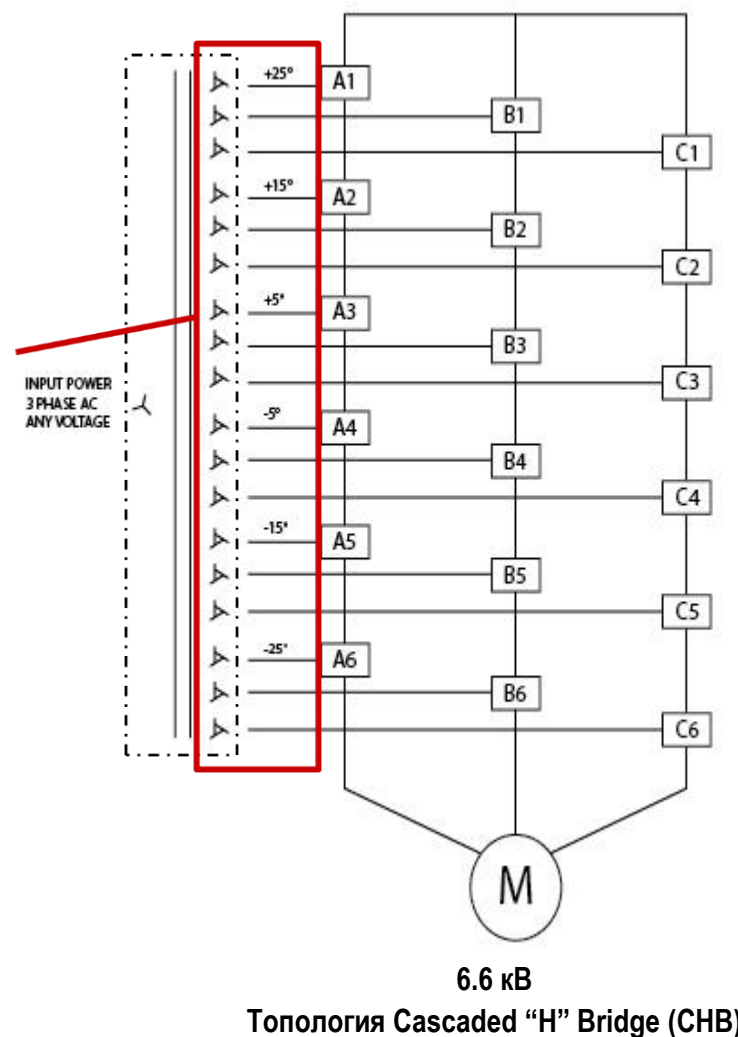
# PowerFlex 6000 Топология

- A. Подключение ВВ ввода (L1, L2, L3)
- B. Согласующий трансформатор
- C. Соединение вторичных обмоток с силовыми модулями
- D. Силовые модули (Фаза U)
- E. Силовые модули (Фаза V)
- F. Силовые модули (Фаза W)
- G. Выходной кабель к двигателю (U, V, W)
- H. Вентиляторы охлаждения
- I. Панель оператора

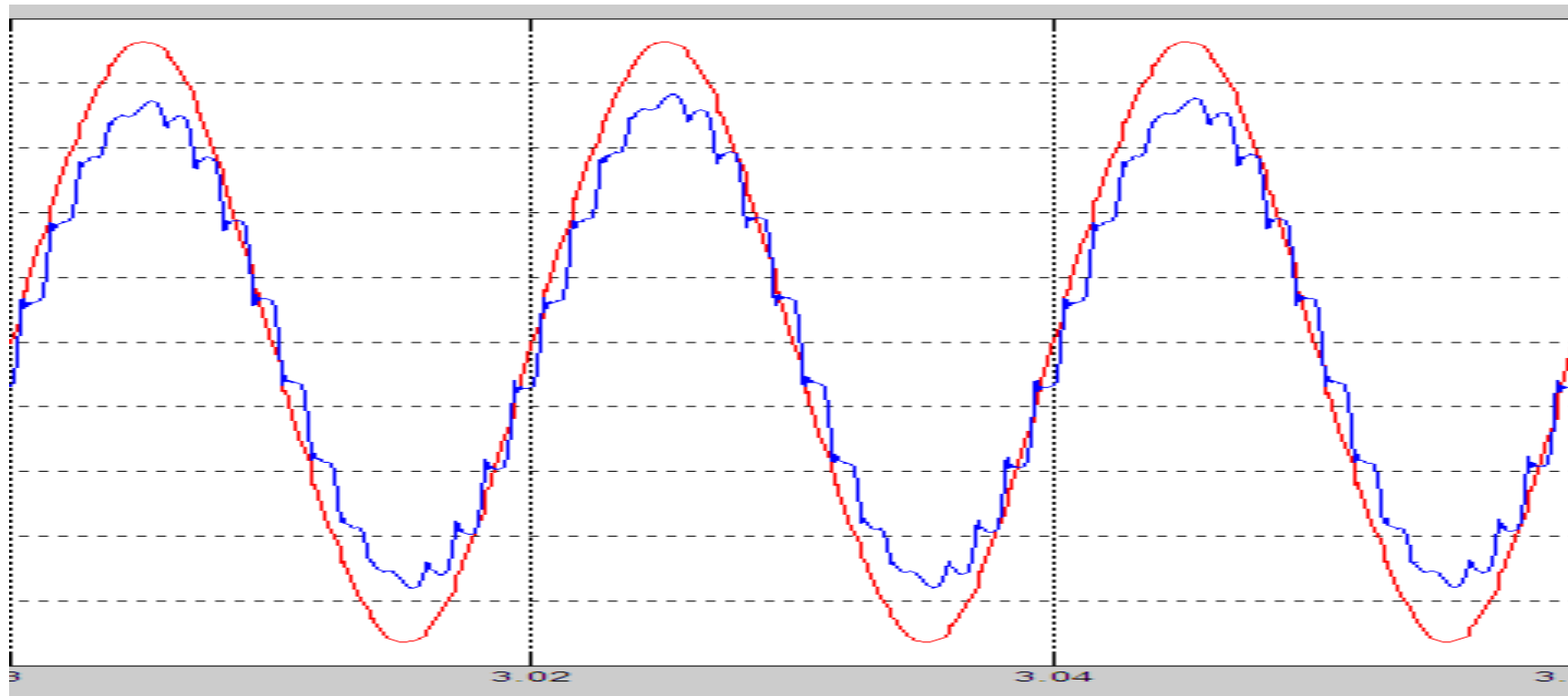


# PowerFlex 6000 Топология

- Для различных выходных напряжений предлагаются 3-и типа выпрямителей:
  - 18-пульсный (9 силовых модулей) для 3/3.3 кВ
  - 36-пульсный (18 силовых модулей) для 6/6.6 кВ
  - 54-пульсный (27 силовых модулей) для 10 кВ
- Для снижения влияния на сеть оптимальный фазовый сдвиг между вторичными обмотками вычисляется по следующей формуле:
  - $\text{фазовый сдвиг} = 60^\circ / \text{число вторичных обмоток}$
  - т.е. – для 36-пульсного выпрямителя (6 вторичных обмоток), фазовый сдвиг должен быть  $60/6 = 10^\circ$



# PowerFlex 6000 Влияние на сеть 3 кВ



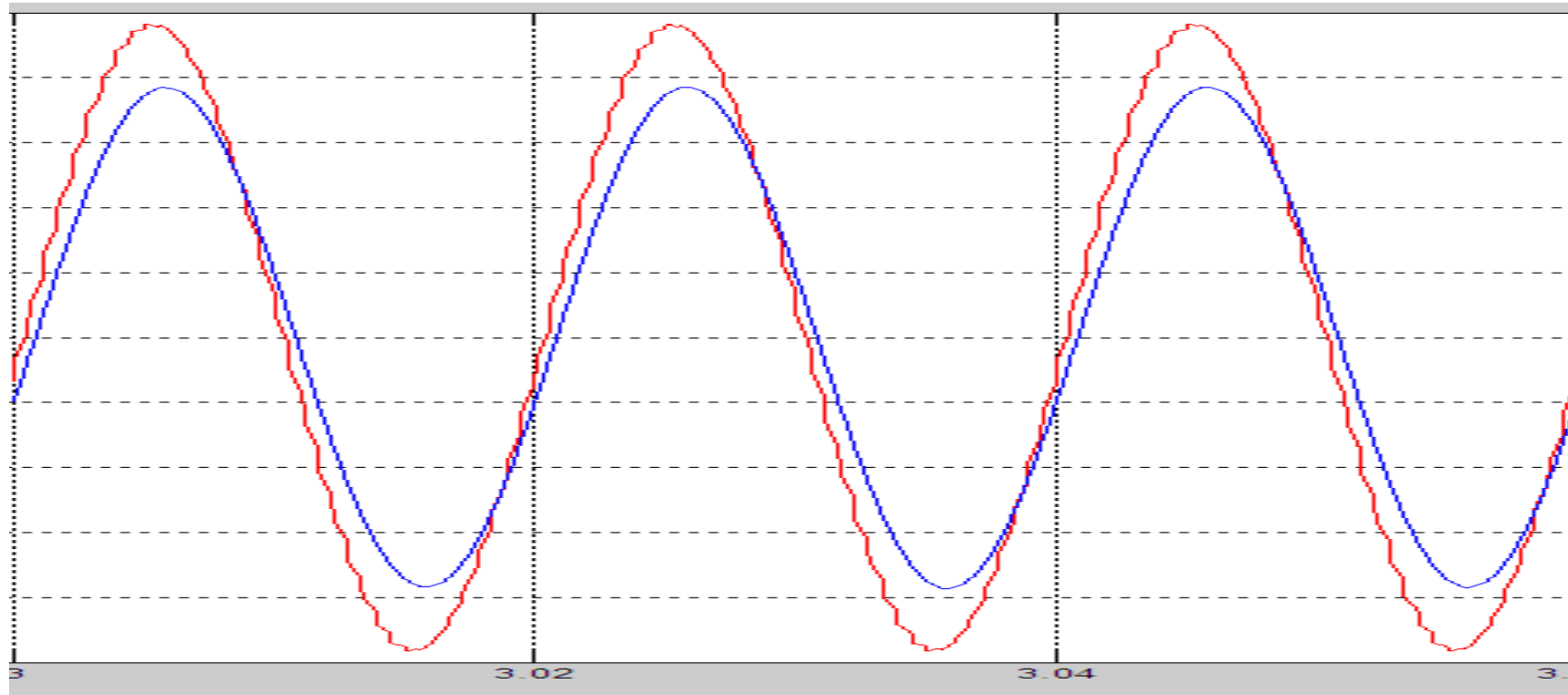
18-пульсный выпрямитель (9 силовых модулей) THD = 5.28%

THD = 2.05%

■ Ток

■ Напряжение

# PowerFlex 6000 Влияние на сеть 6 кВ



36-пульсный выпрямитель (18 силовых модулей)

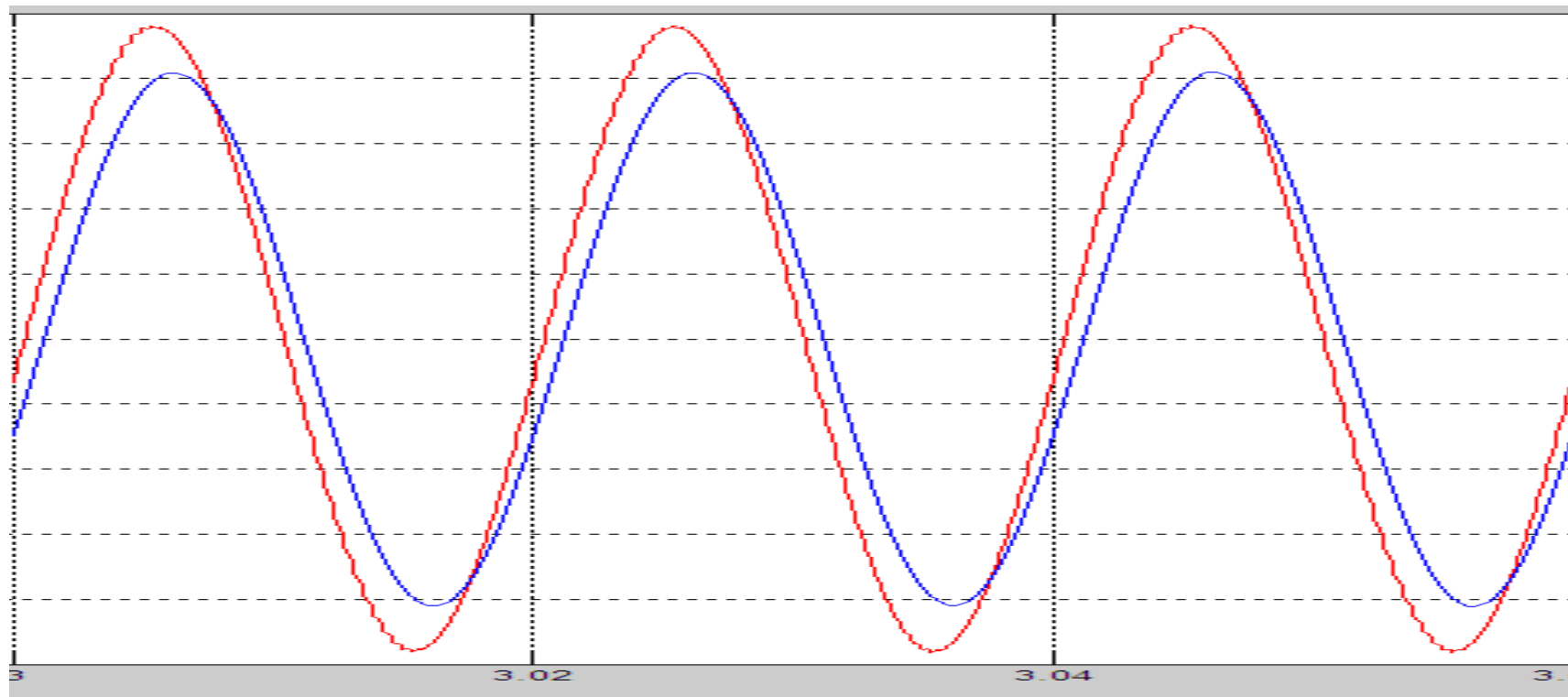
THD = 0.39%

THD = 1.86%

■ Ток

■ Напряжение

# PowerFlex 6000 Влияние на сеть 10 кВ



54-пульсный выпрямитель (27 силовых модулей)

THD = 0.02%

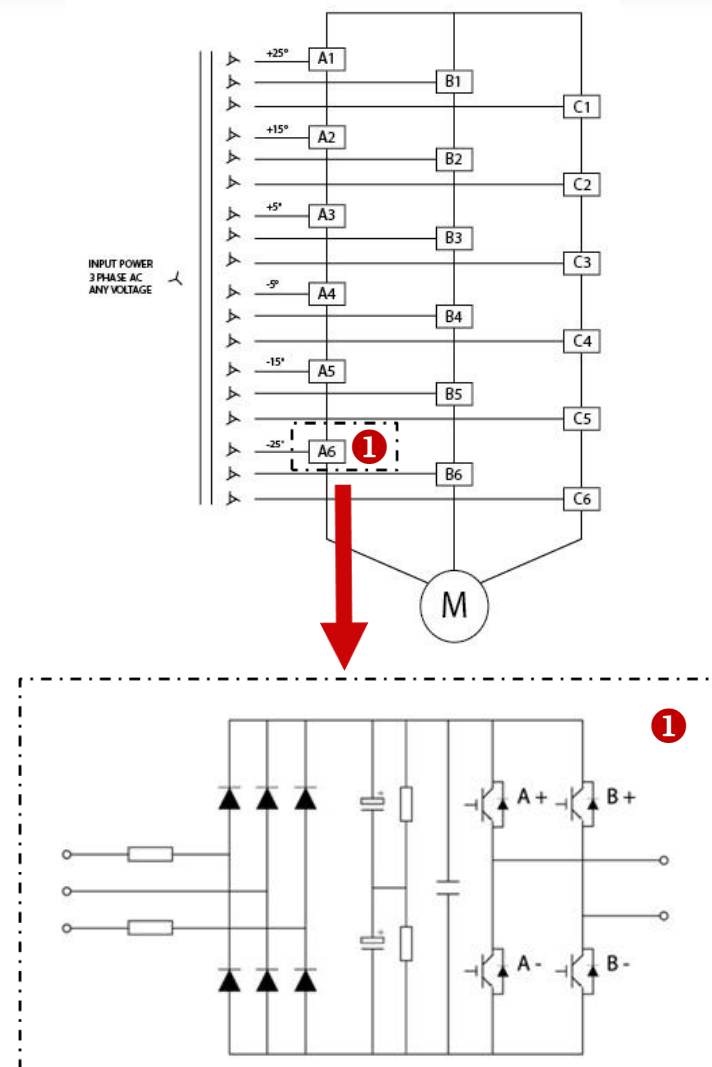
THD = 0.56%

■ Ток

■ Напряжение

# PowerFlex 6000 – Топология

- Низковольтные силовые модули:
  - Параллельно-последовательное включение силовых модулей ① обеспечивает необходимую мощность и соответствующее среднее напряжение на выходе.
    - ШИМ-модуляция и низкое напряжение на каждом модуле обеспечивают минимальные гармоники и пульсацию момента на стороне двигателя даже при низких скоростях.
    - Эта топология позволяет использовать существующие двигатели без переделок, что облегчает модернизацию производства.
    - Расстояние от привода до двигателя до 300 м без использования фильтров.



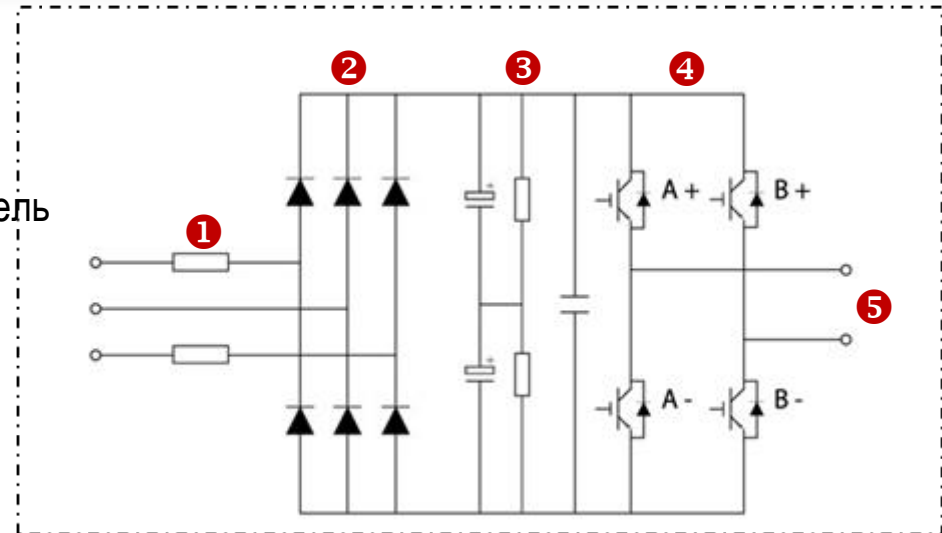
Состав низковольтного силового модуля

# PowerFlex 6000 Силовой модуль

Rockwell  
Automation

## ■ Низковольтный силовой модуль:

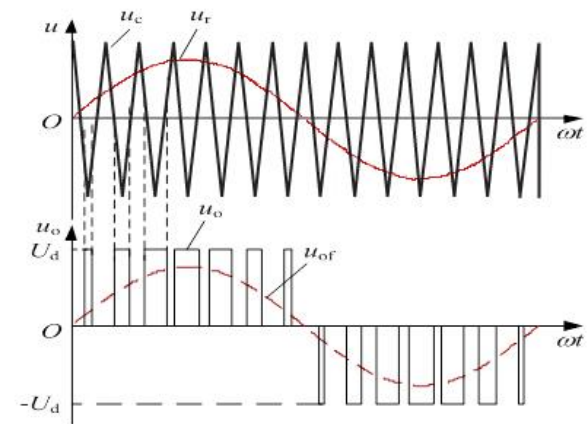
- ❶ Входные предохранители
- ❷ 3-х фазный диодный мостовой выпрямитель
- ❸ Конденсаторы звена постоянного тока
- ❹ 1-о фазный мостовой инвертор на IGBT
- ❺ Выходные клеммы



Состав низковольтного силового модуля

## ■ Описание работы (6.6 кВ для примера)

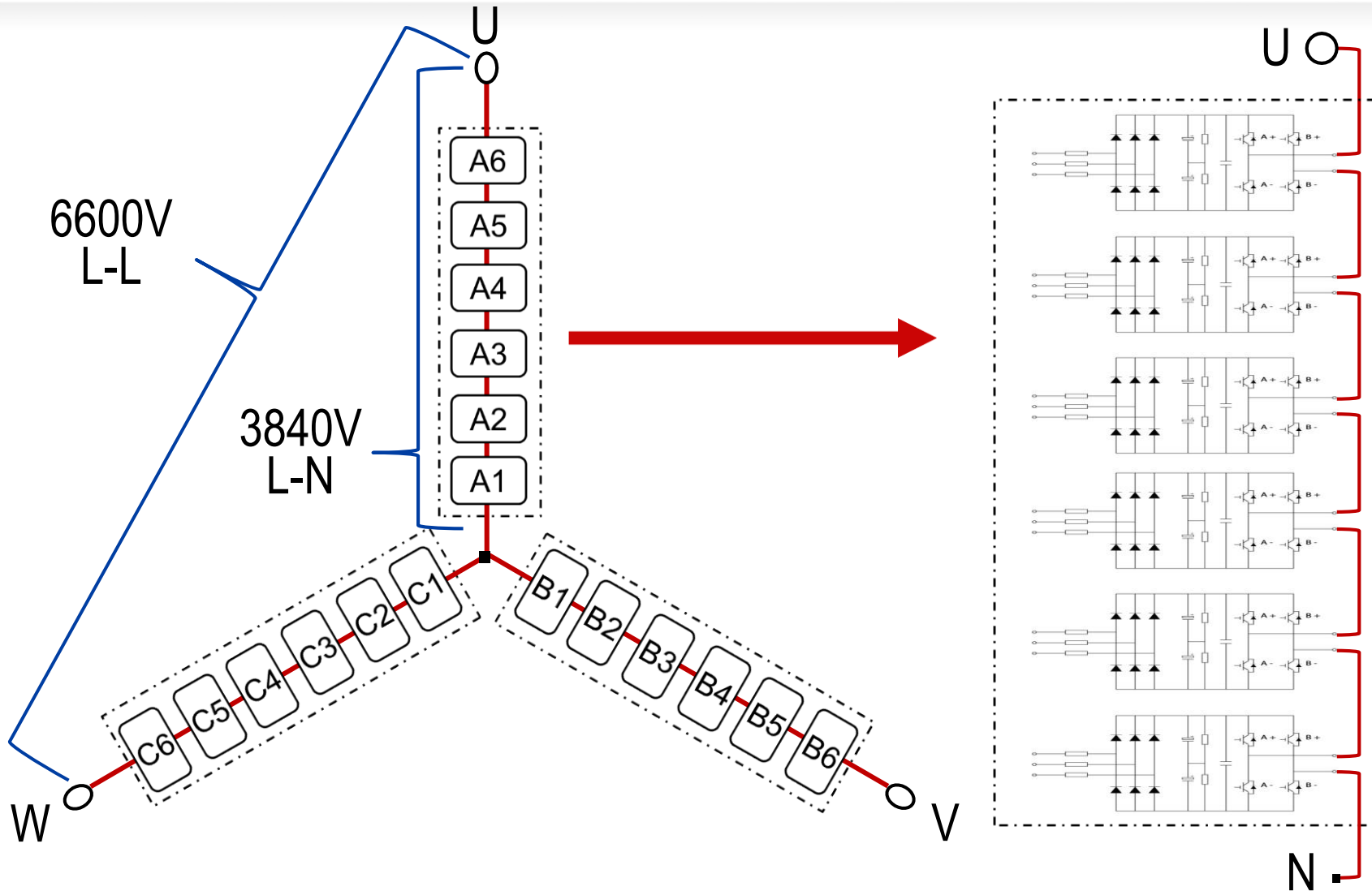
- 640 В AC питание на выпрямитель с вторичной обмотки трансформатора
- Напряжение звена постоянного тока 865 В DC Bus
- Мостовой инвертор (H Bridge) может иметь на выходе 3-и состояния:
  - + DC Bus Voltage (A+ and B- IGBTs are on)
  - - DC Bus Voltage (A- and B+ IGBTs are on)
  - 0 VDC (A+ and B+ IGBTs are on or A- and B- IGBTs are on)



PWM Output Waveforms

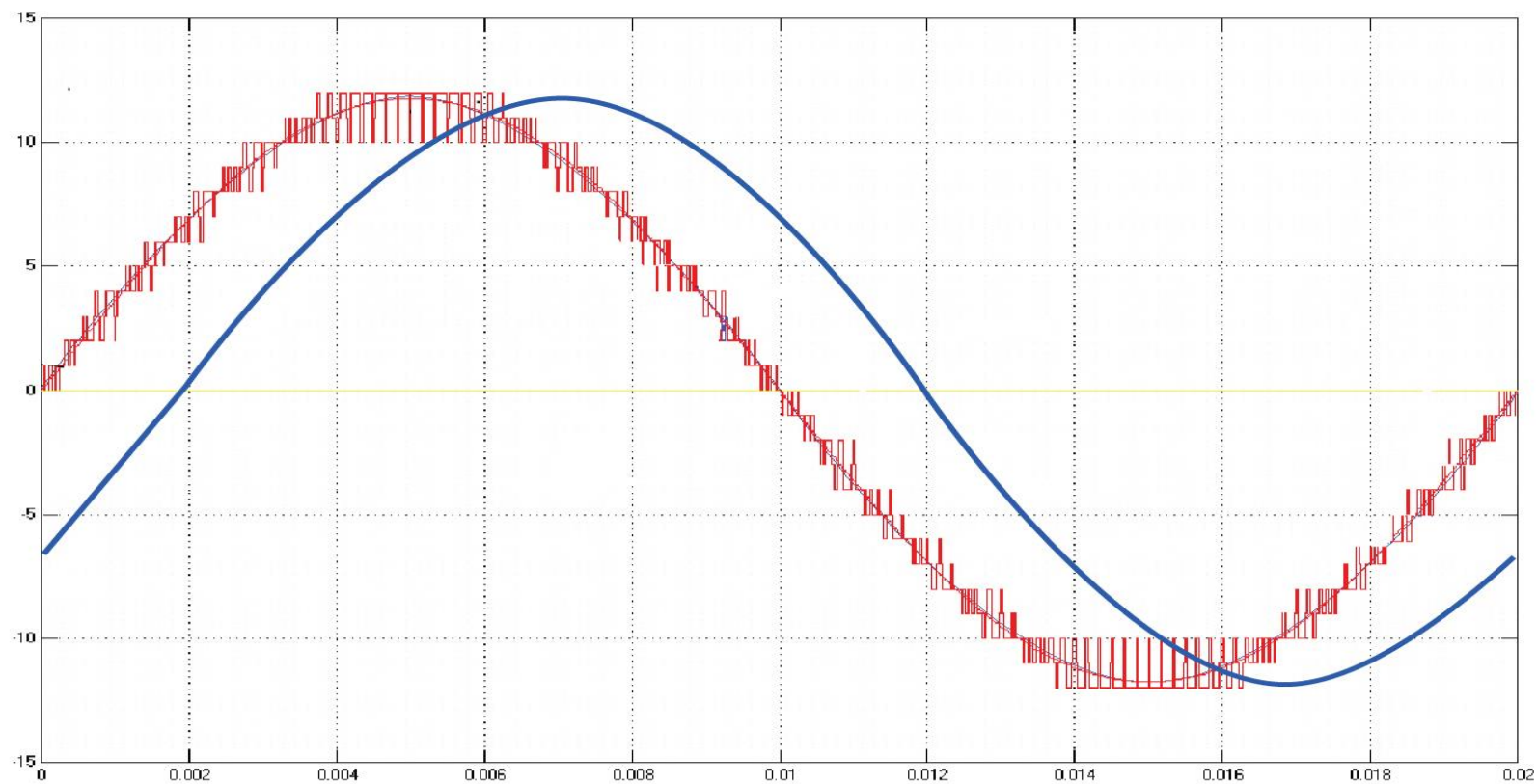
# PowerFlex 6000 Суммарное выходное напряжение

**Rockwell  
Automation**



# Форма тока и напряжения на выходе ЧРП

**Rockwell  
Automation**



■ Ток

■ Напряжение

# PF6000 Технические характеристики

| Характеристика                                 | Значение                                                           |
|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Входное напряжение                             | 3 kV, 3.3 kV, 6 kV, 6.6 kV, 10 kV, 11 kV                           |
| Отклонение входного напряжения                 | ± 10% of nominal                                                   |
| Посадка входного напряжения                    | -20% of nominal, duration: 60 seconds                              |
| Входная частота                                | 50/60 Hz, +/-5%                                                    |
| Коэффициент мощности                           | >.95                                                               |
| Коэфф. Гармонических искажений на стороне сети | <5% (meets IEEE 519-1992, GB/T 14549-1993, EN 61000-2 / -3)        |
| Входное устройство                             | Многообмоточный согласующий трансформатор                          |
| Standards Compliance                           | CE, IEC/EN 61800-3, IEC/EN 60204-1                                 |
| КПД ЧРП                                        | >96.5%                                                             |
| Уровень шума ЧРП                               | < 80 dB                                                            |
| Выходное напряжение                            | 0...3000V, 0...3300V, 0...6000V, 0...6600V, 0...10,000V            |
| Подключаемый тип двигателя                     | Асинхронный                                                        |
| Перегрузка                                     | 120% в течение 1-й минуты каждые 10 минут                          |
| Топология выпрямителя                          | 18 pulse (3 kV, 3.3 kV), 36 pulse (6 kV, 6.6 kV), 54 pulse (10 kV) |
| Топология инвертора                            | Силовые модули с ШИМ модуляцией (Pulse Width Modulated PWM)        |
| Power Semiconductors                           | Diodes (rectifier), IGBTs (inverter)                               |

# PF6000 Технические характеристики

| Характеристика                                                | Значение                                         |
|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Power Rating Range @ 3 kV motor voltage                       | 315...1600 kW                                    |
| Power Rating Range @ 3.3 kV motor voltage                     | 346...1720 kW                                    |
| Power Rating Range @ 6 kV motor voltage                       | 200...3360 kW                                    |
| Power Rating Range @ 6.6 kV motor voltage                     | 200...3720 kW                                    |
| Power Rating Range @ 10 kV motor voltage                      | 200...5600 kW                                    |
| Коэффициент выходных гармонических искажений THD (1st...49th) | < 5%                                             |
| Форма выходного сигнала                                       | Близкая к синусоидальной форма тока и напряжения |
| Расстояние до двигателя (макс. Без согл. Элементов)           | 300m                                             |
| Управление силовыми модулями                                  | Оптоволокно                                      |
| Метод управления                                              | V/Hz вольт-на-частоту                            |
| Точность поддержания скорости                                 | 0.1%                                             |
| Выходная частота                                              | 0.5...75 Hz                                      |
| Программируемое время разгона / торможения                    | 0...3276 seconds                                 |
| Flying Start Capability                                       | Yes                                              |
| Интерфейс оператора                                           | 7" WinCE color touchscreen                       |
|                                                               |                                                  |

# PF6000 Технические характеристики

| Характеристика                          | Значение                                                                                                                                       |
|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Питание цепей управления                | 120V 60 Hz, 240V 60 Hz, 110V 50 Hz, or 220V 50 Hz (3 kVA)                                                                                      |
| External Input Ratings                  | 24V DC                                                                                                                                         |
| External Output Ratings                 | 240V AC/2 A                                                                                                                                    |
| Аналоговые входы (Optional)             | (4) non-isolated, 4 - 20 mA or 0 – 10VDC                                                                                                       |
| Аналоговые выходы (Optional)            | (2) isolated, 4 - 20 mA and (2) isolated 0 – 5VDC                                                                                              |
| Протоколы связи с АСУ ТП                | RS232/422/485, Modbus, Modbus Plus, Profibus DP, Ethernet I/P                                                                                  |
| Климатическое исполнение                | IP31 (standard), IP42 (optional)                                                                                                               |
| Structure Finish                        | Epoxy powder paint<br>Exterior Sandtex light grey (RAL 7038) - black (RAL 8022)<br>Internal - control sub-plates - high gloss white (RAL 9003) |
| Corrosion Protection                    | Unpainted parts are zinc plated / bronze chromate plated                                                                                       |
| Температура окружающей среды (рабочая)  | 0...40 °C (standard), 0...50 °C (optional with derating)                                                                                       |
| Температура окружающей среды (хранения) | -25...55 °C                                                                                                                                    |
| Охлаждение                              | Воздушное принудительное                                                                                                                       |
| Влажность окружающей среды Max.         | Max. 95% non-condensing                                                                                                                        |
| Высота расположения                     | 0...1000 m (standard)<br>1001...2000 m, 2001...3000 m (optional with derating)                                                                 |

# PowerFlex 6000 удобство эксплуатации

**Rockwell  
Automation**

- A. Реле защиты изолирующего трансформатора
- B. Фильтрующие элементы заменяются без остановки привода
- C. Питание вентиляторов охлаждения от встроенного изолирующего трансформатора, не требуется дополнительного питания
- D. Все высоковольтные отсеки с блокировкой дверей
- E. Удобная панель оператора с сенсорным дисплеем
- F. Коммуникационные модули Ethernet I/P и Profibus DP
- G. Автоматическое включение питания цепей управления
- H. On-line UPS для питания цепей управления



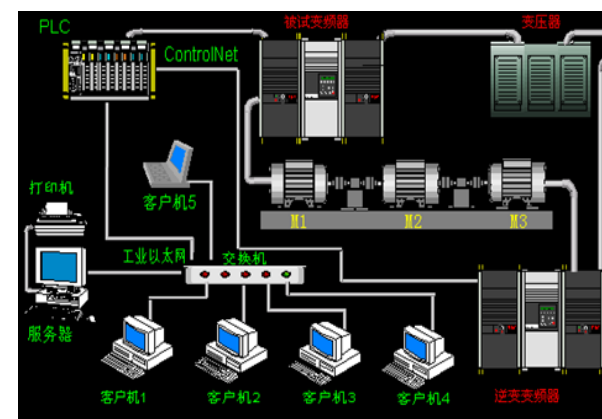
# Проверка работоспособности под нагрузкой

**Rockwell  
Automation**

- 2,000 м<sup>2</sup> испытательный стенд на заводе.
  - ВВ ЧРП испытываются на заводе при подаче полного напряжения и под номинальной нагрузкой. Доступны все режимы проверки включая реверс .
  - Протокол заводских испытаний выдается Заказчику.
  - Предлагаются программы обучения специалистов Заказчика по эксплуатации и обслуживанию ЧРП PowerFlex 6000.



Dynamometer Set-up



Динамометрический тестовый стенд

LISTEN.  
THINK.  
SOLVE.®

# Rockwell Automation к Вашим услугам

**Леонид Микоша**

Менеджер по продукции высоковольтный электропривод

+7 910 473-09-54.

[lymikosha@ra.rockwell.com](mailto:lymikosha@ra.rockwell.com)



Allen-Bradley • Rockwell Software

**Rockwell  
Automation**