

НИУ «МЭИ» **представляет учебный курс:**

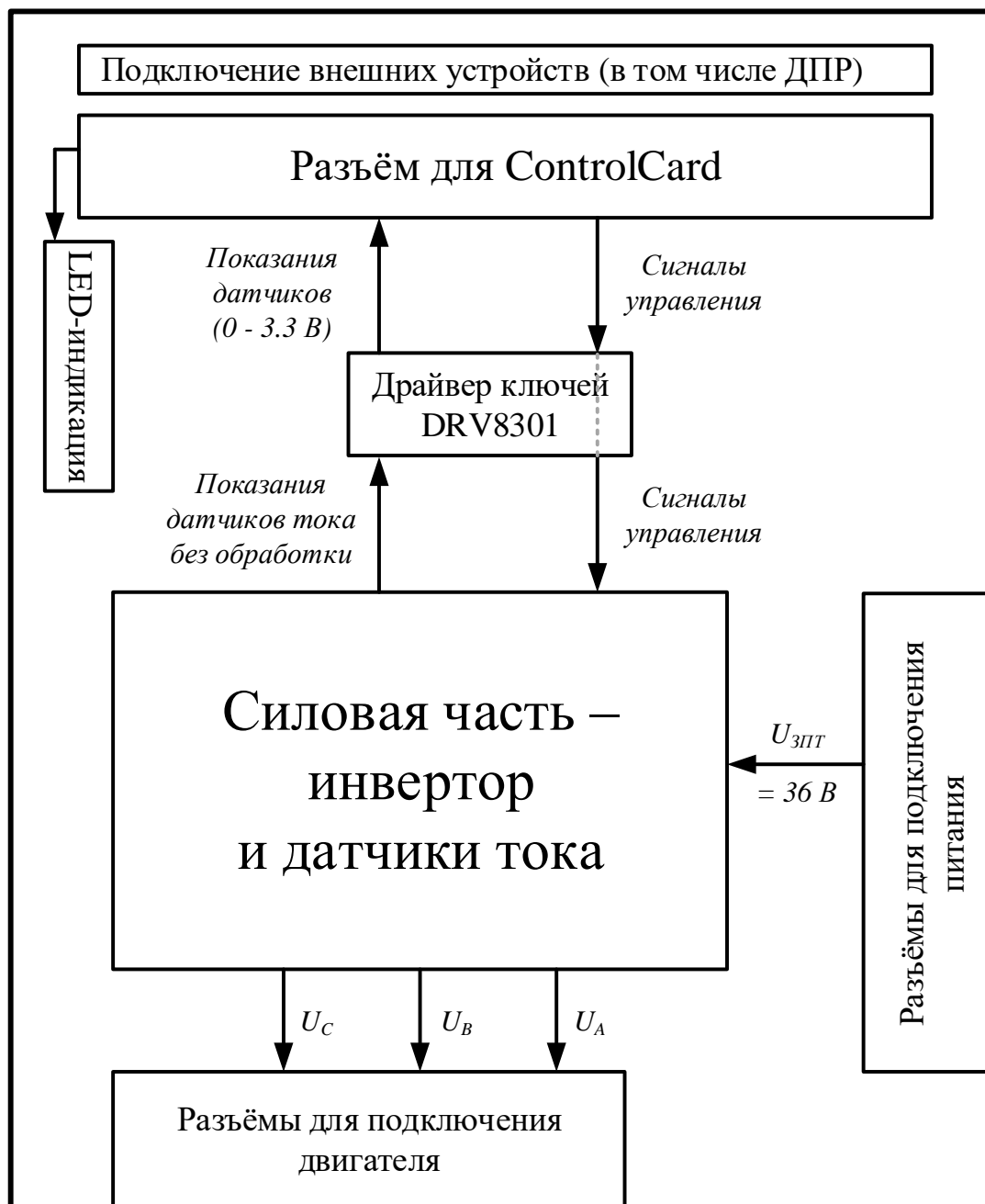
Проектирование цифровых систем управления на базе
отечественного микроконтроллера **НИИЭТ К1921ВК01Т**

Москва 2019

Лекция 4.1

- Знакомство с аппаратной частью комплекта по управлению электродвигателем на базе K1921BK01T.
- Разбор различных вариантов широтно-импульсной модуляции для трехфазных двигателей.

Структура оценочной платы Texas Instruments

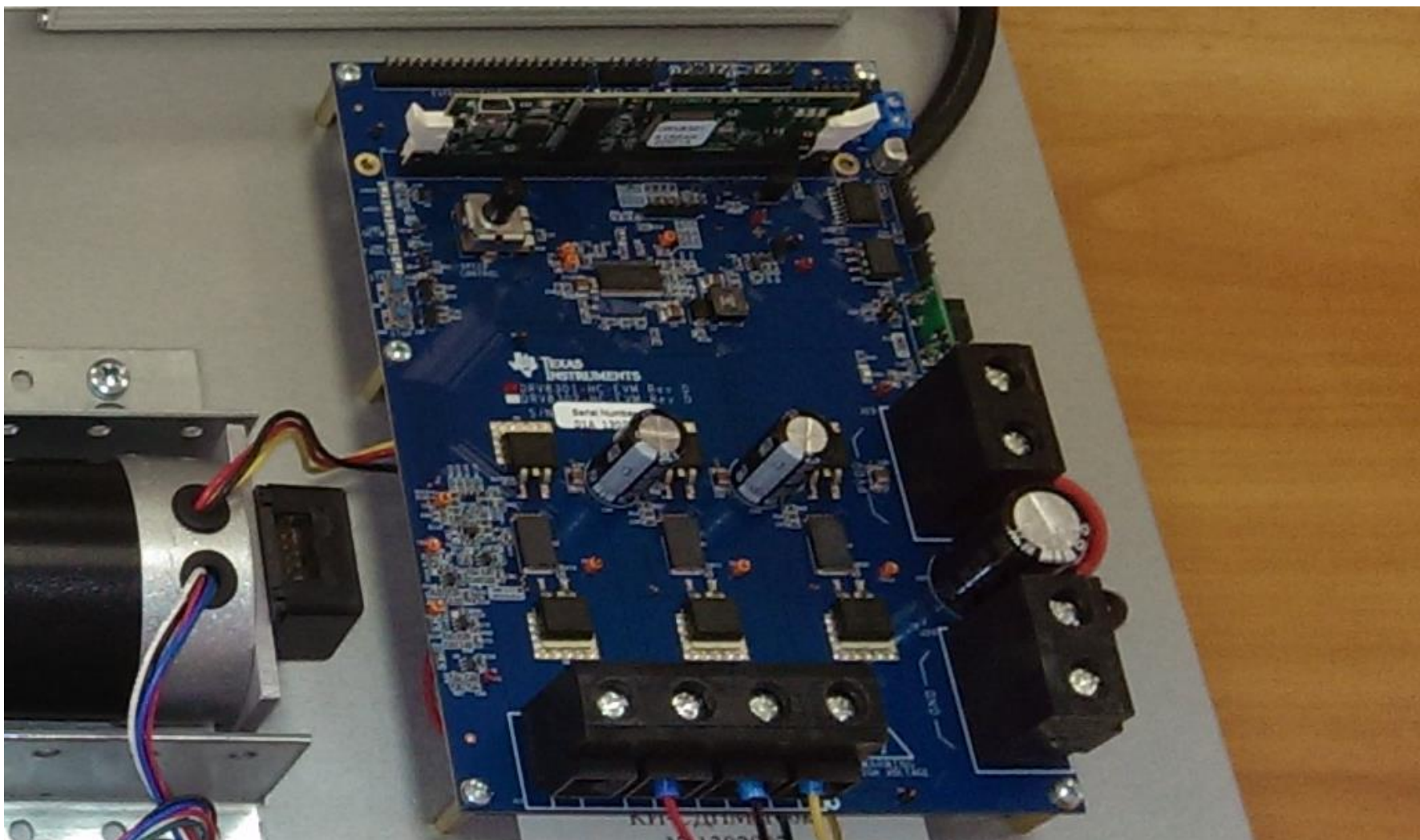




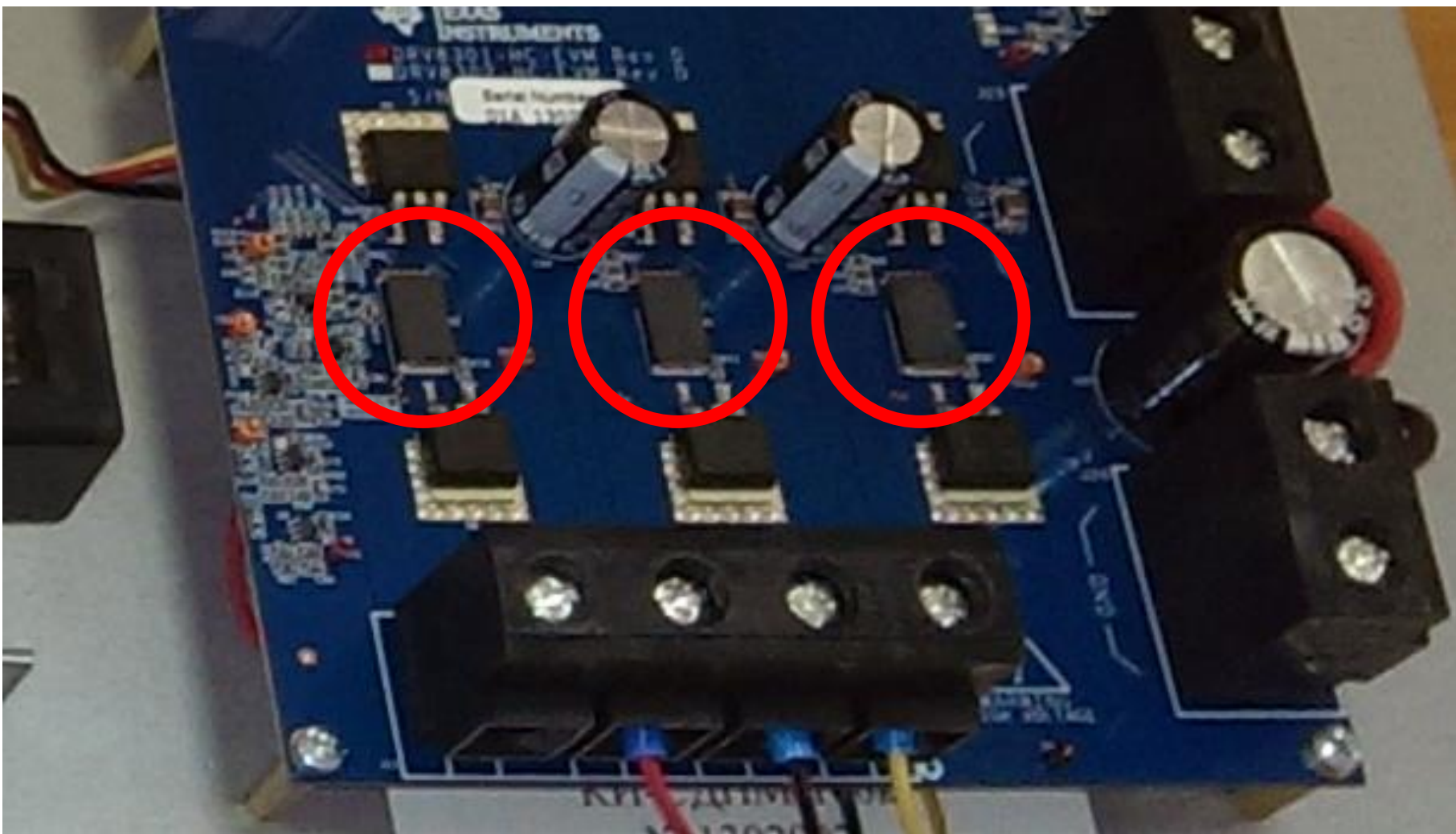
Характеристики платы инвертора:

- Напряжение питания 8 В ... 60 В
- Допустимый ток до 60 А (кратковременно)
- Силовые транзисторы MOSFET Vishay
- Драйвер транзисторов Texas Instruments DRV8301 (встроенные защиты, частота коммутации до 200 кГц, встроенные операционные усилители для измерения токов с шунтов, встроенный преобразователь напряжения для питания микроконтроллера)
- Шунтовые датчики тока (сопротивление измерительных резисторов 0.002 Ом, мощность до 5 Вт)

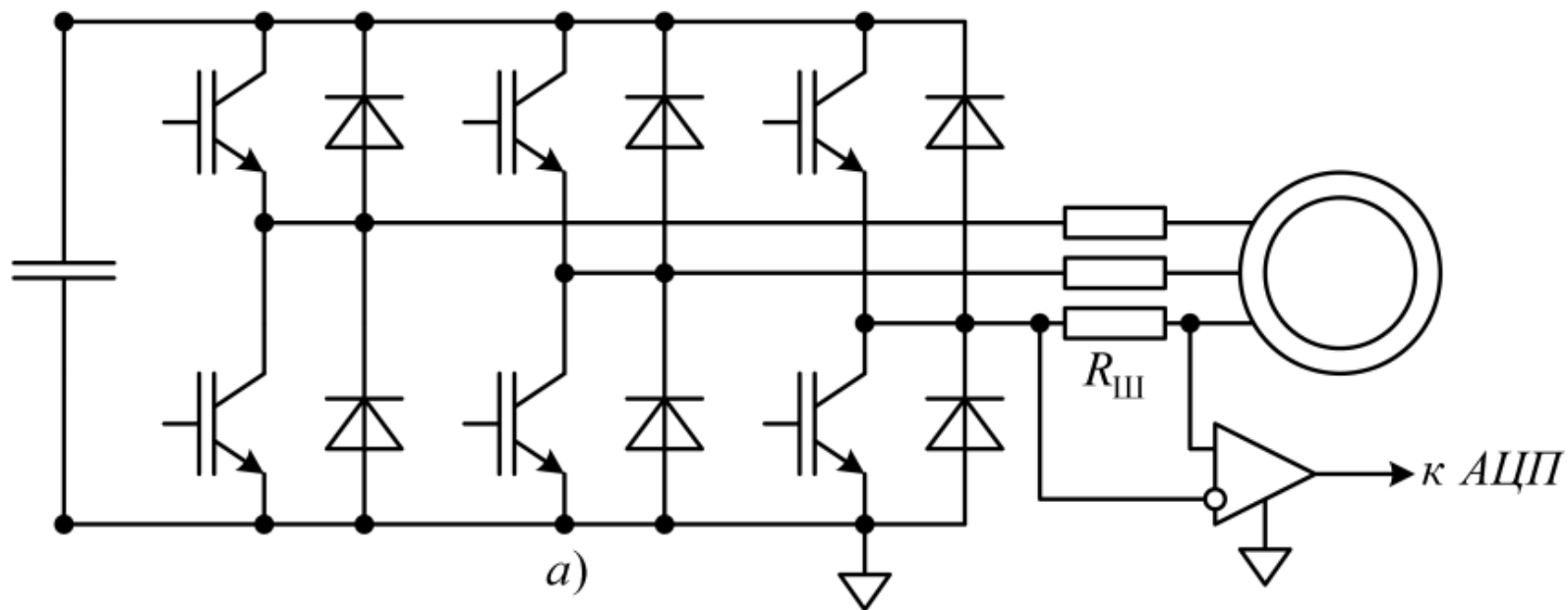
Шунтовые датчики тока



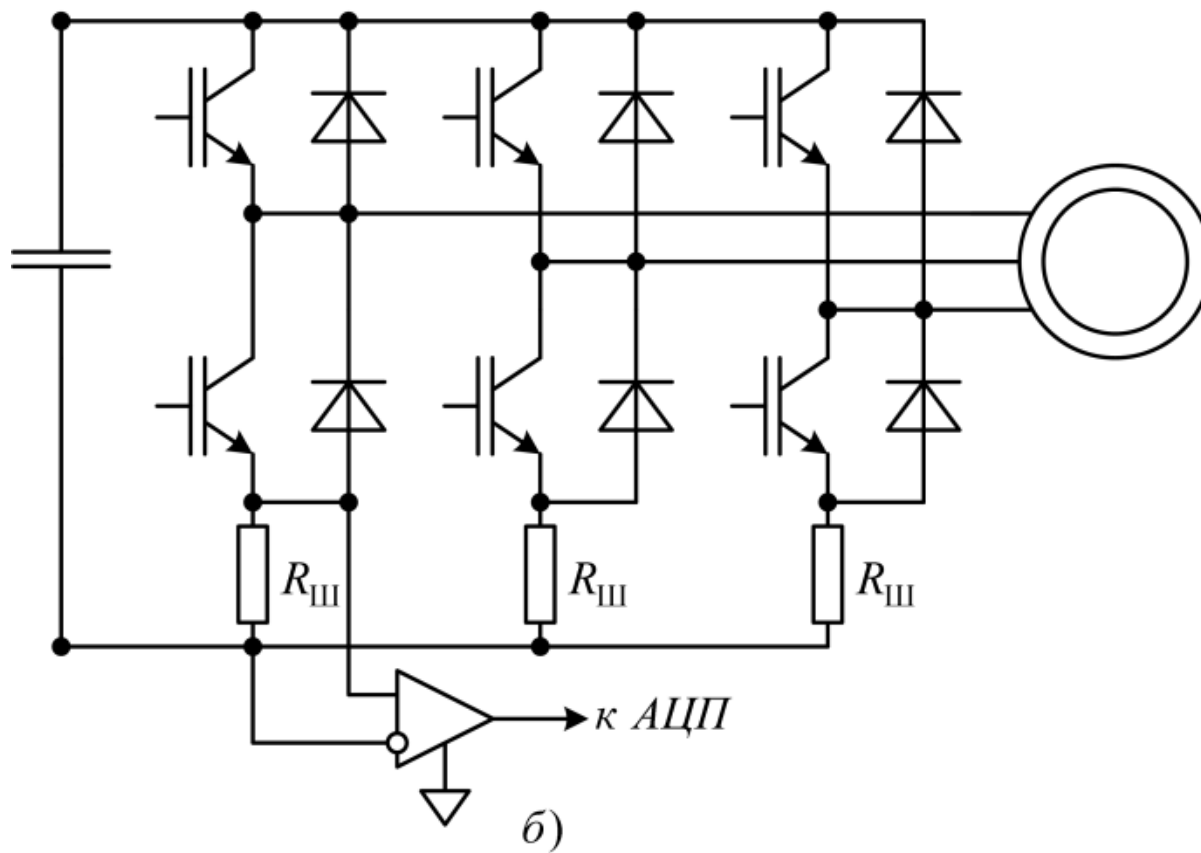
Шунтовые датчики тока



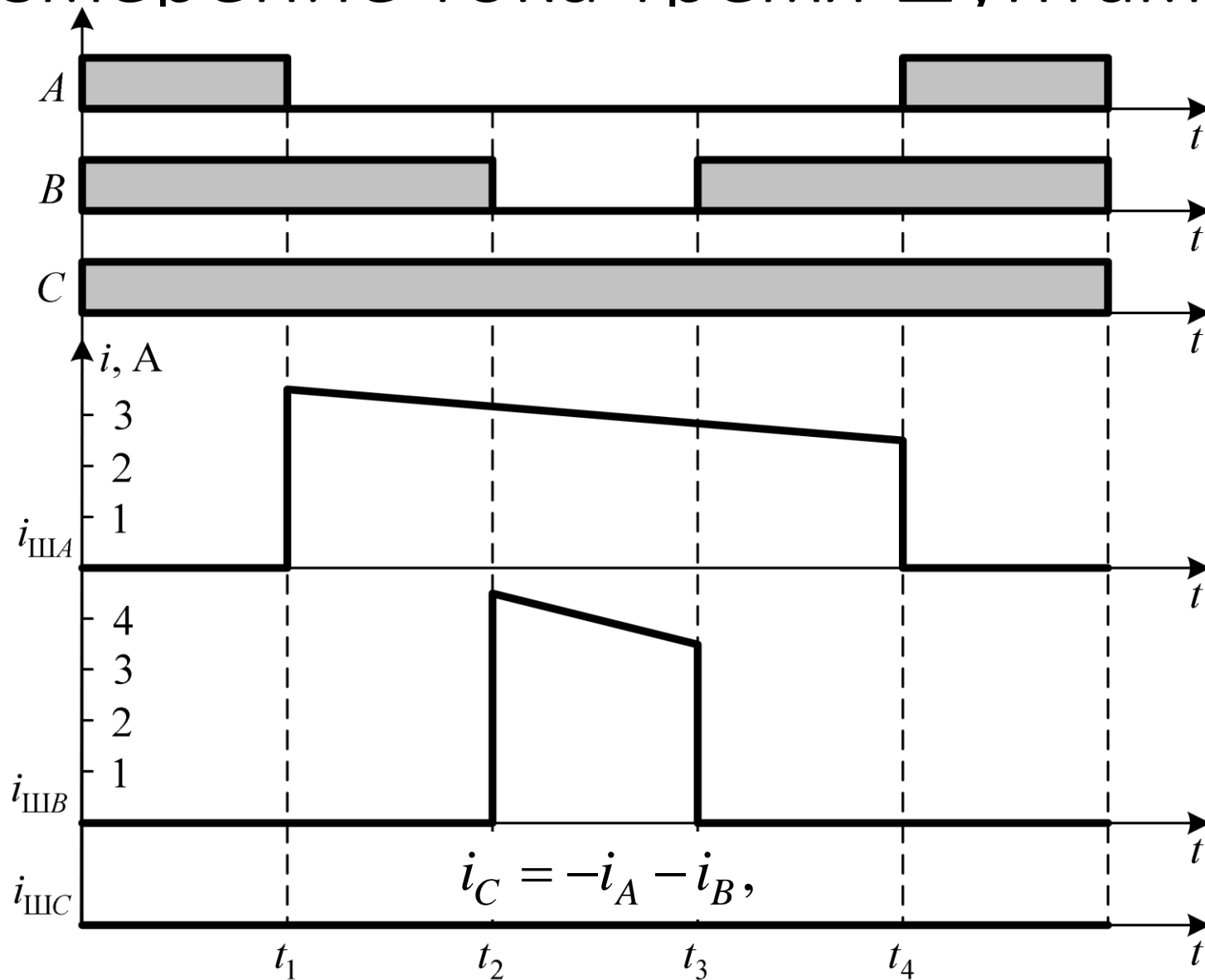
Шунтовые датчики тока



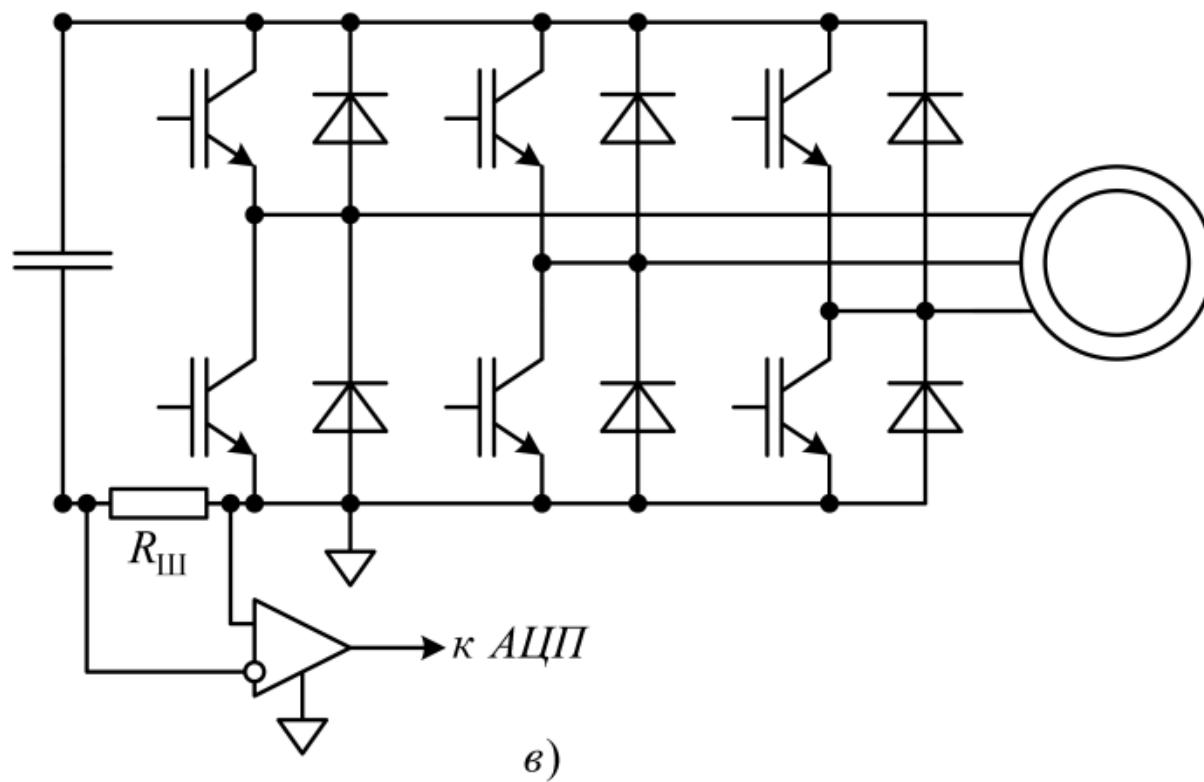
Шунтовые датчики тока



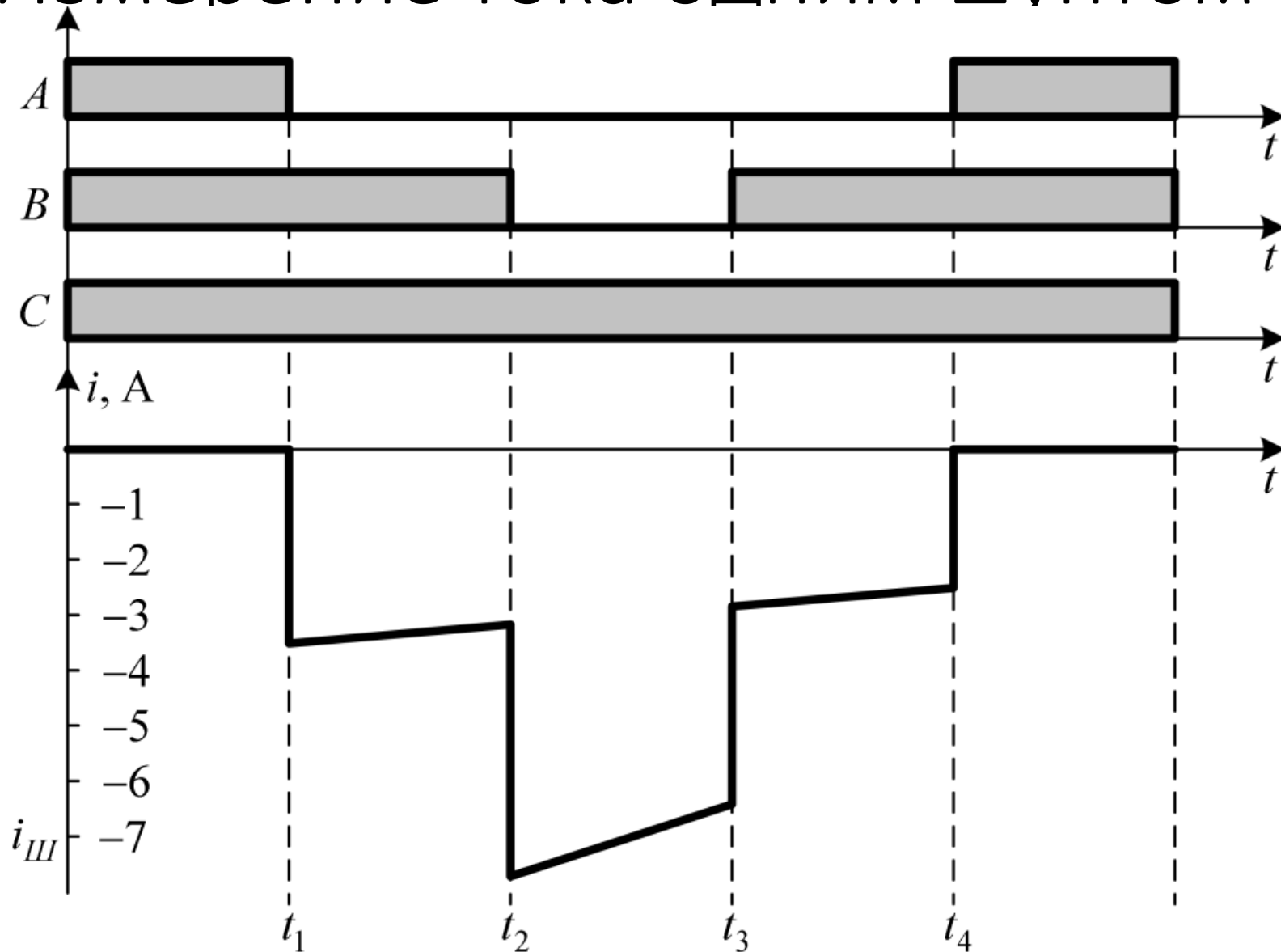
Измерение тока тремя шунтами



Шунтовые датчики тока



Измерение тока одним шунтом



Шунтовые датчики тока

Измерение токов с помощью шунтов имеет следующие достоинства:

- низкая цена;
- компактная разводка и минимальный объем.

Недостатки:

- невысокая точность измерений;
- ограничения на способы ШИМ;
- система управления гальванически связана с силовой частью.

Измерительные трансформаторы тока

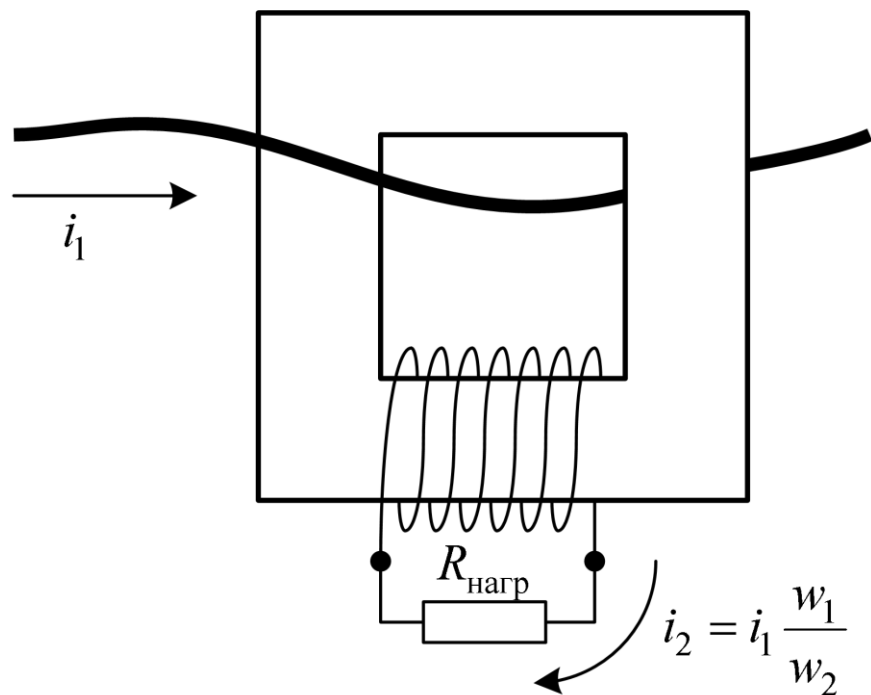
К достоинствам можно отнести:

- предельная простота конструкции;
- надежность;
- цена;
- точность на высоких частотах.

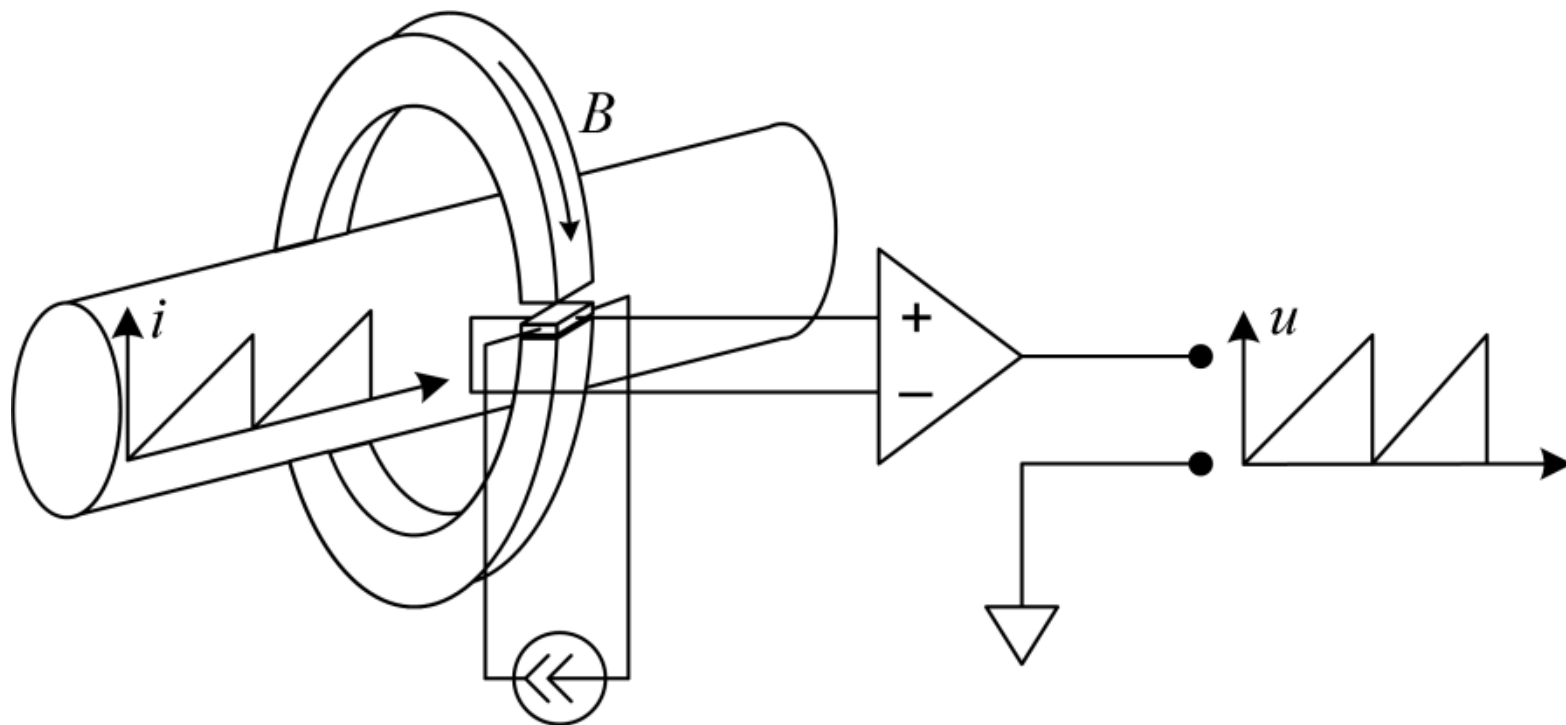
К недостаткам трансформаторов тока можно отнести:

- невозможность измерения постоянного тока;
- аварийный режим работы при обрыве измерительного сопротивления.

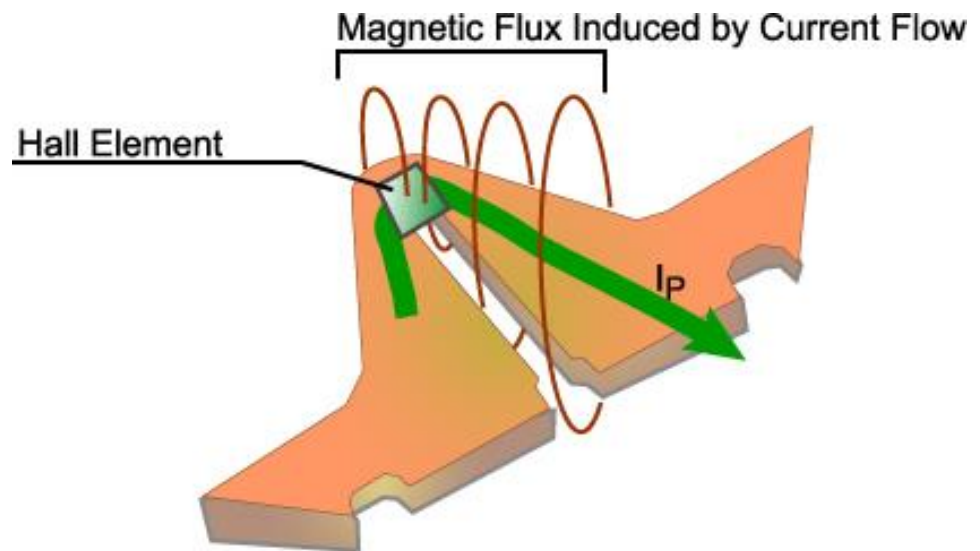
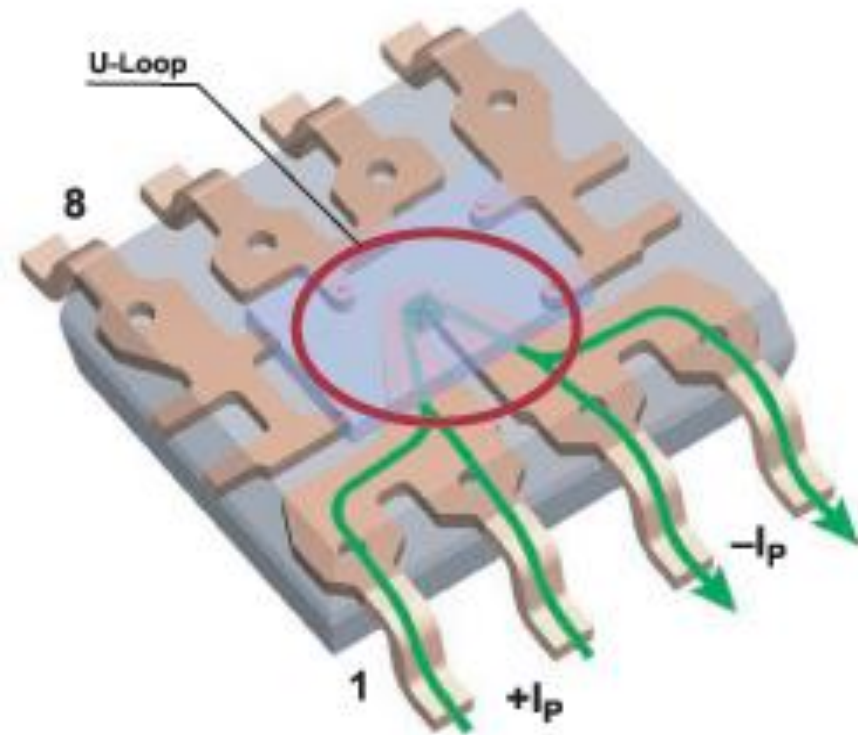
Измерительные трансформаторы тока



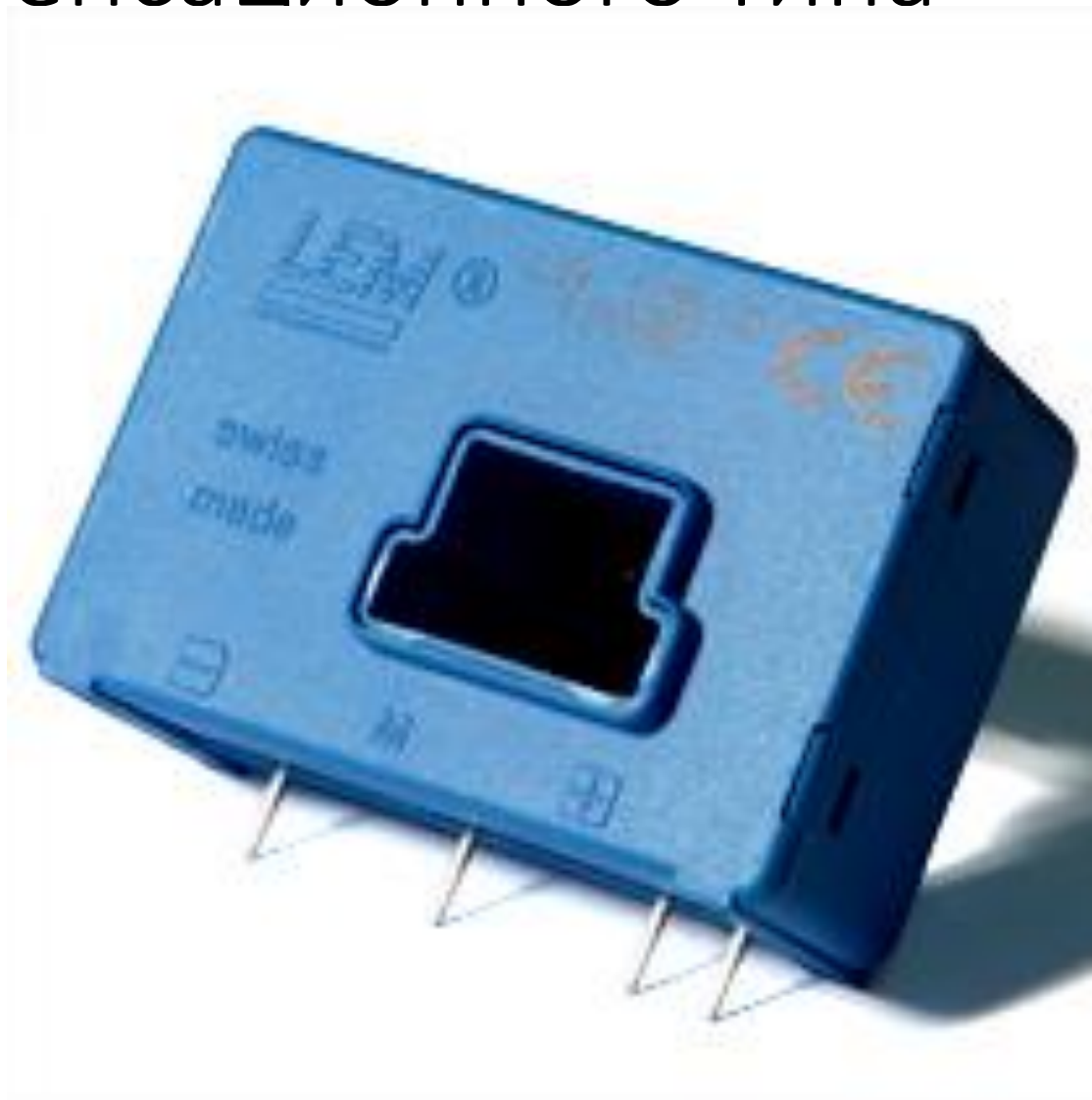
Датчики на эффекте Холла



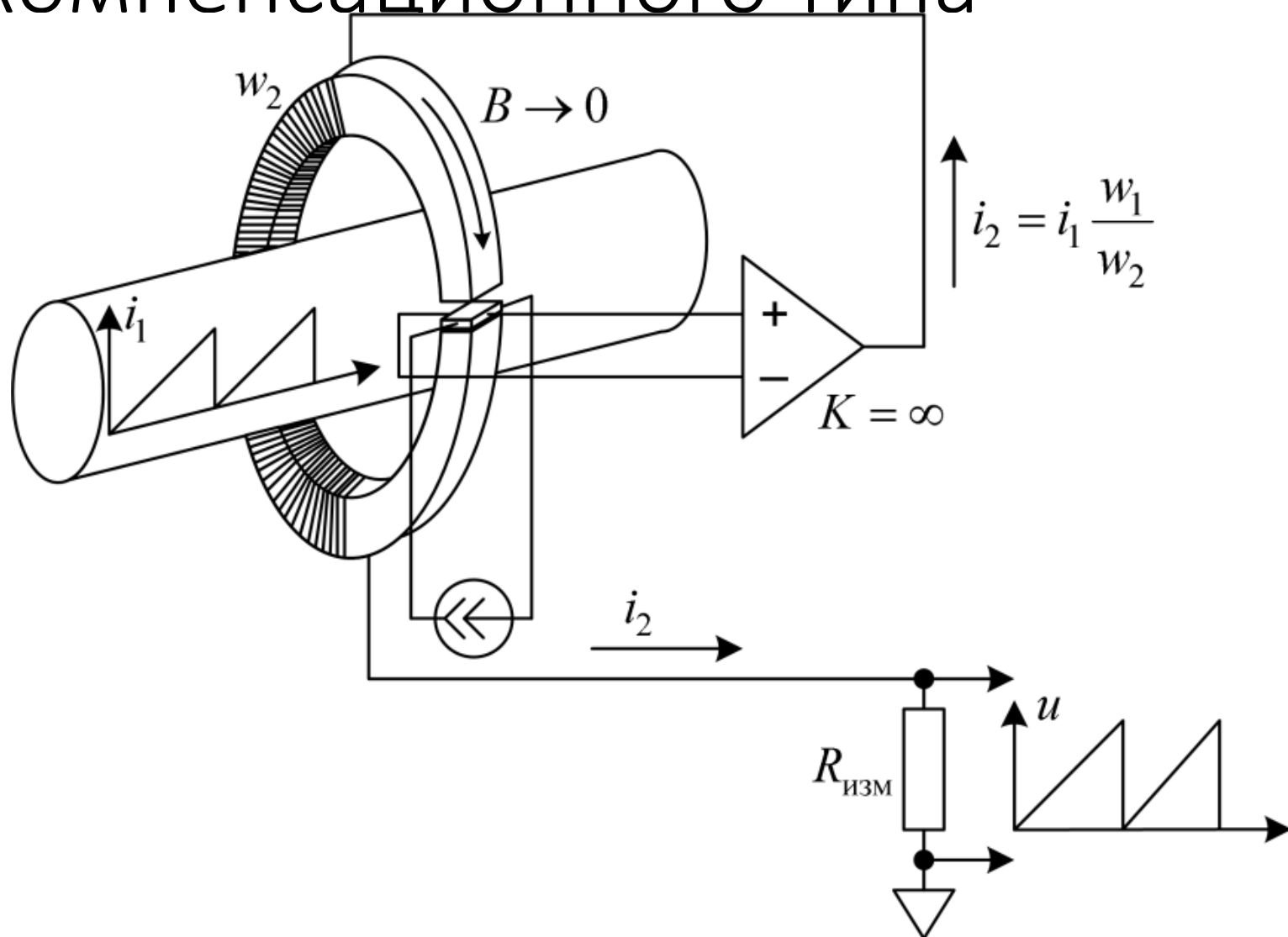
Датчики на эффекте Холла



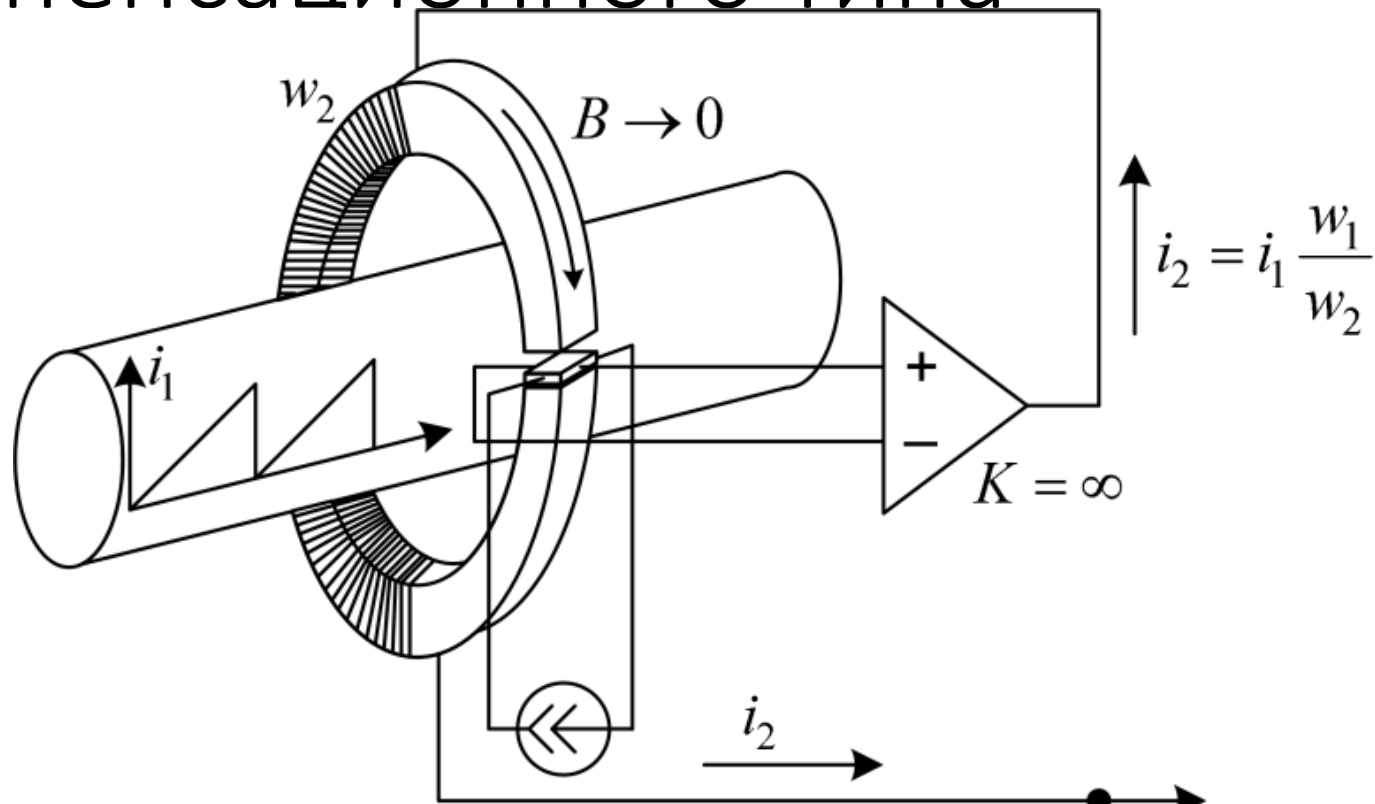
Датчик тока на эффекте Холла компенсационного типа



Датчик тока на эффекте Холла компенсационного типа



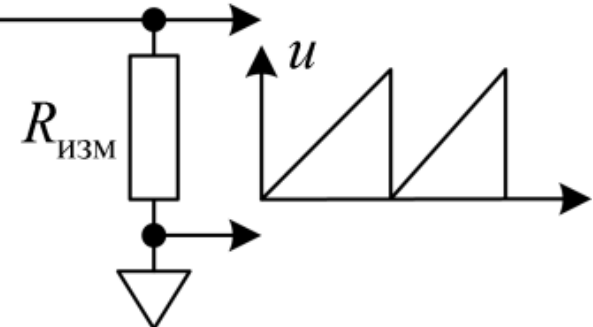
Датчик тока на эффекте Холла компенсационного типа



К достоинствам следует отнести:

- измерение от постоянного тока и до тока частотой 500 кГц;
- широкий диапазон измеряемых токов;
- высокая точность измерения.

Самым существенным недостатком является высокая стоимость.



Используемый двигатель модели FL57BLS04 – это трёхфазный синхронный двигатель с постоянными магнитами.

Двигатель оснащён датчиками Холла.

Характеристики двигателя:

- Мощность до 180 Вт
- Номинальная частота вращения: 4000 об/мин
- Количество пар полюсов – 2
- Диапазон скоростей: 400 – 4000 об/мин
- Номинальный момент: 0.42 Нм
- Допустимый момент: 1.25 Нм
- Номинальное напряжение: 36 В
- Допустимый ток: 20.5 А
- Сопротивление: 0.33 Ohm
- Индуктивность: 0.95 мН



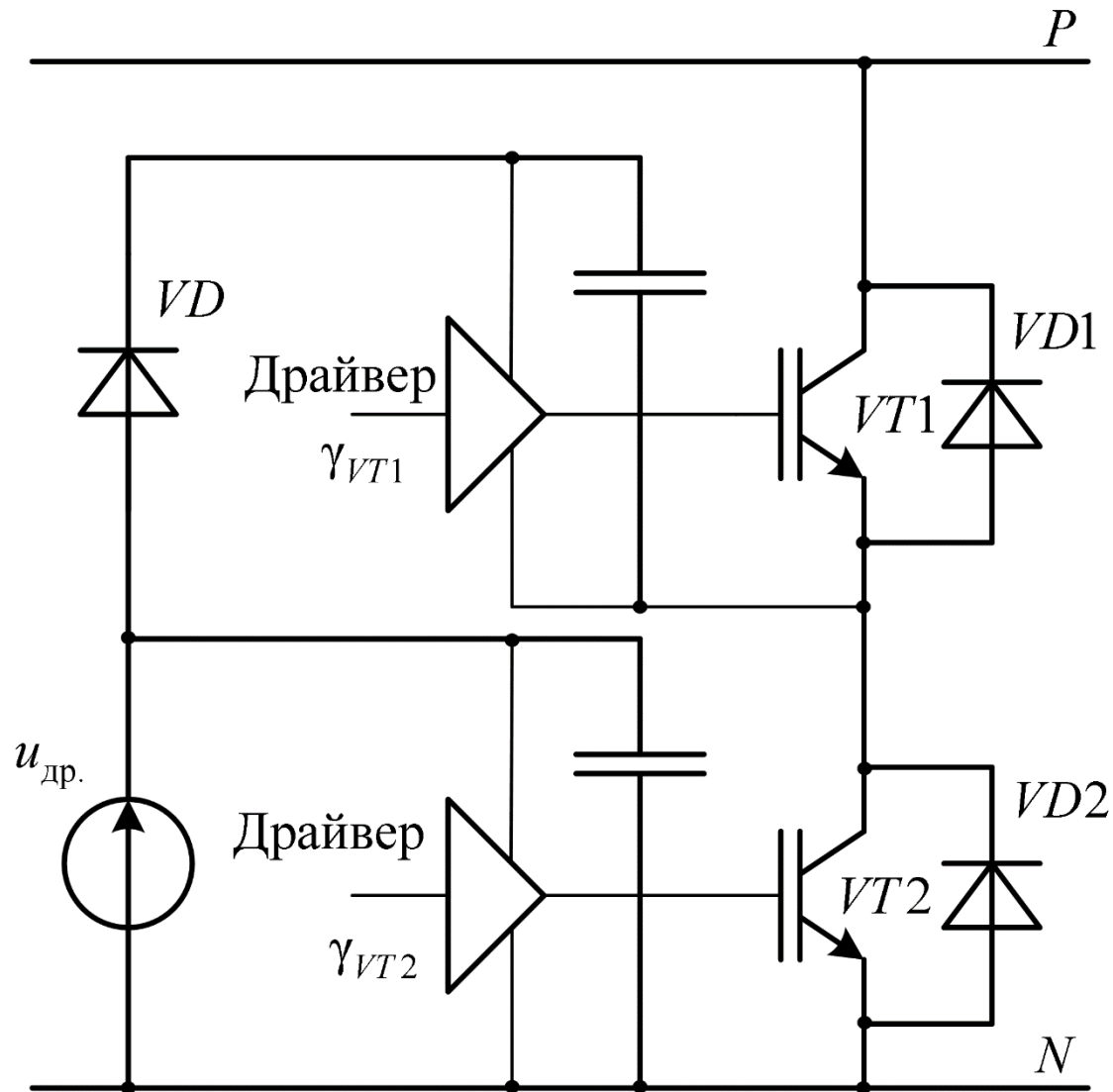
Для измерения положения и частоты вращения двигателя установлен инкрементальный датчик положения Avago HEDM-5500.

Характеристики датчика:

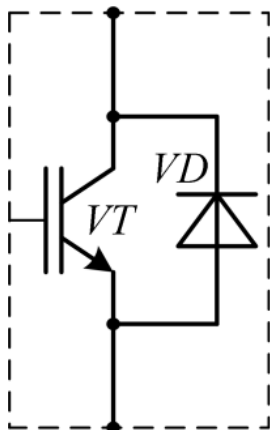
- Разрешающая способность: 1000 меток/оборот
- Выход: два канала, смещённые на 90 эл. градусов
- Напряжение питания: 5 В
- Реперная метка отсутствует



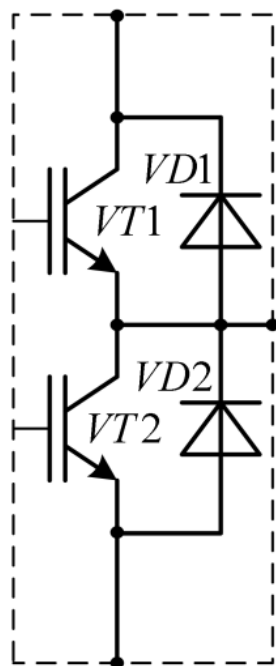
Бутстрепное питание драйверов ключей



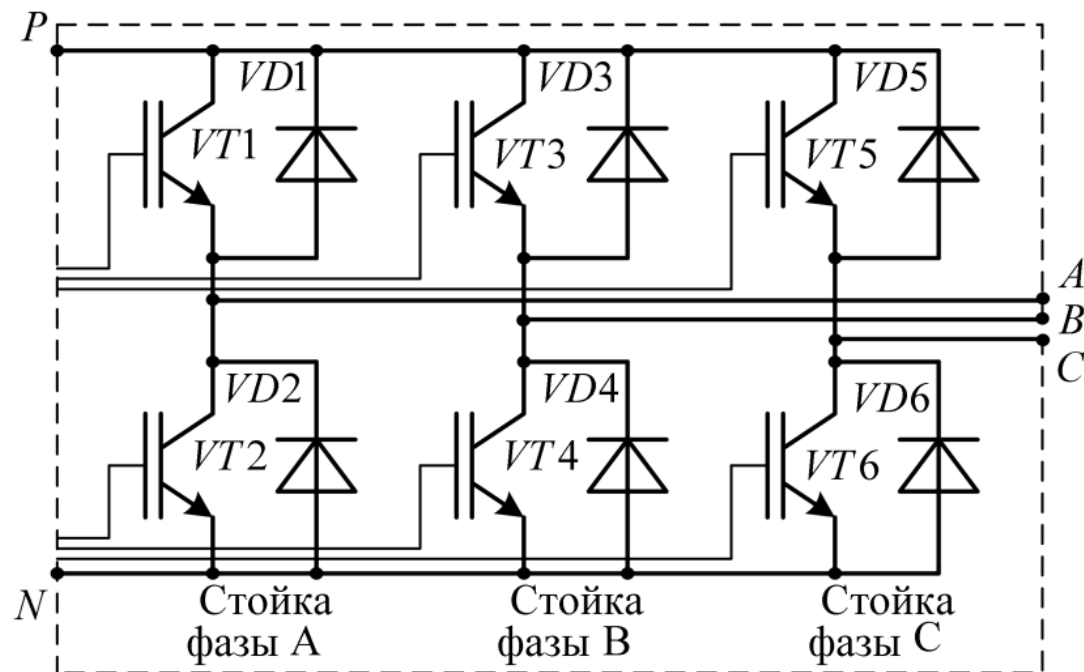
Транзисторные модули



а)

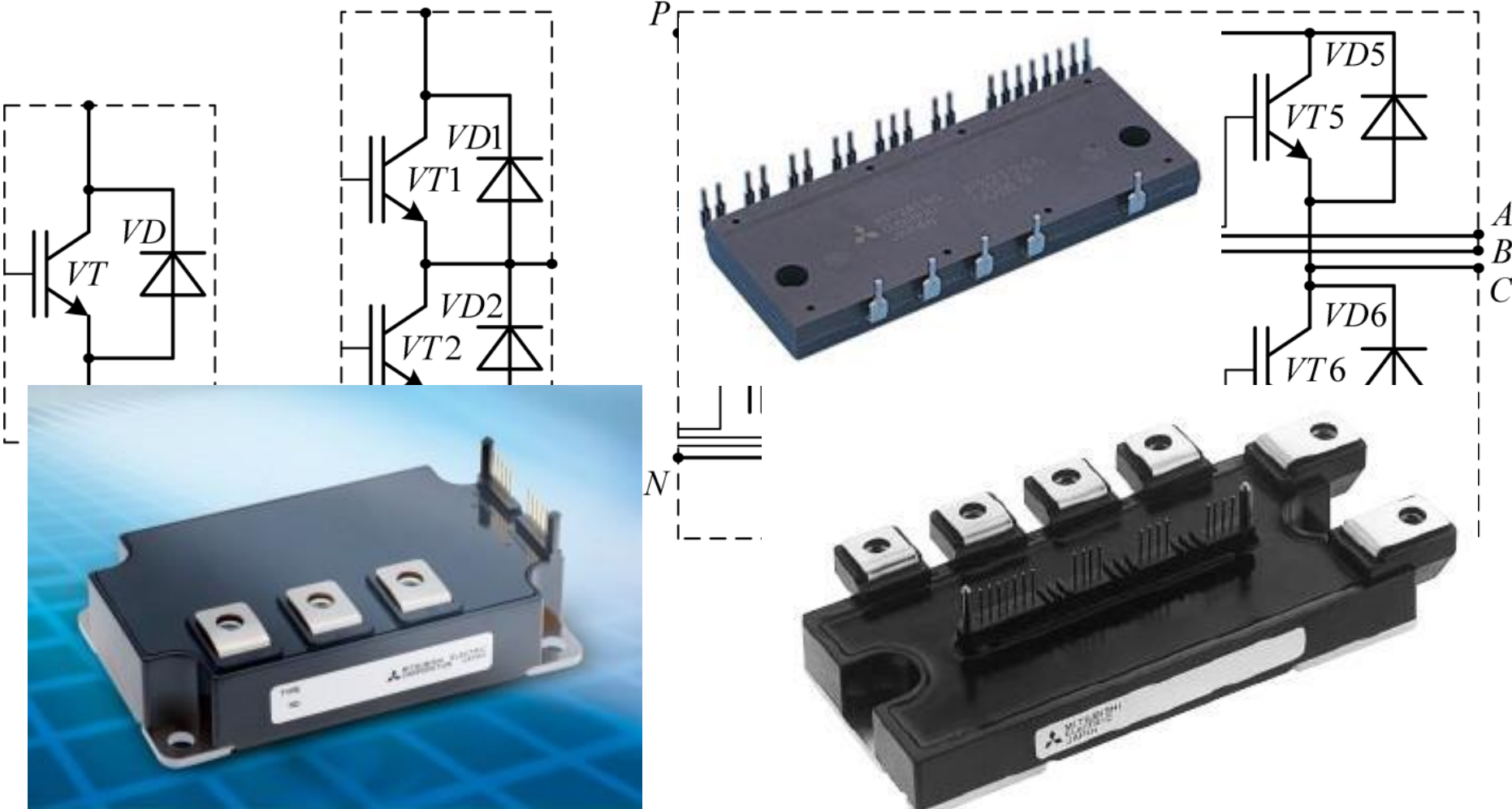


б)

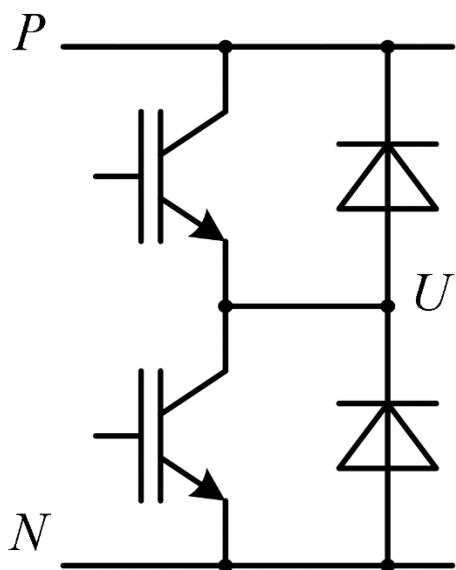


в)

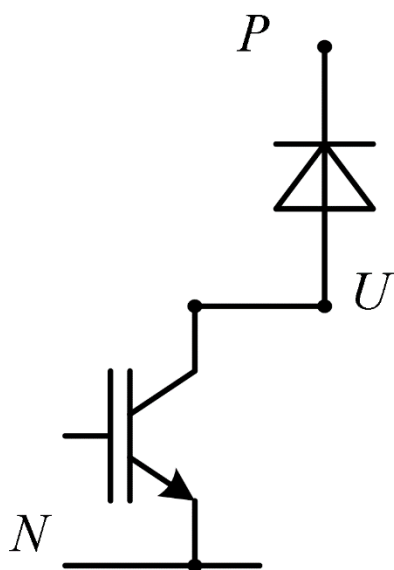
Транзисторные модули



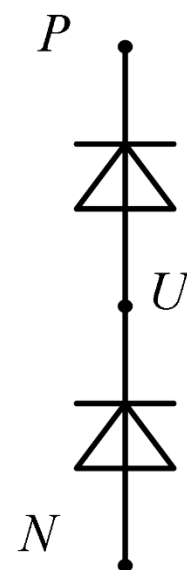
Стойка — основной элемент силовой схемы



a)

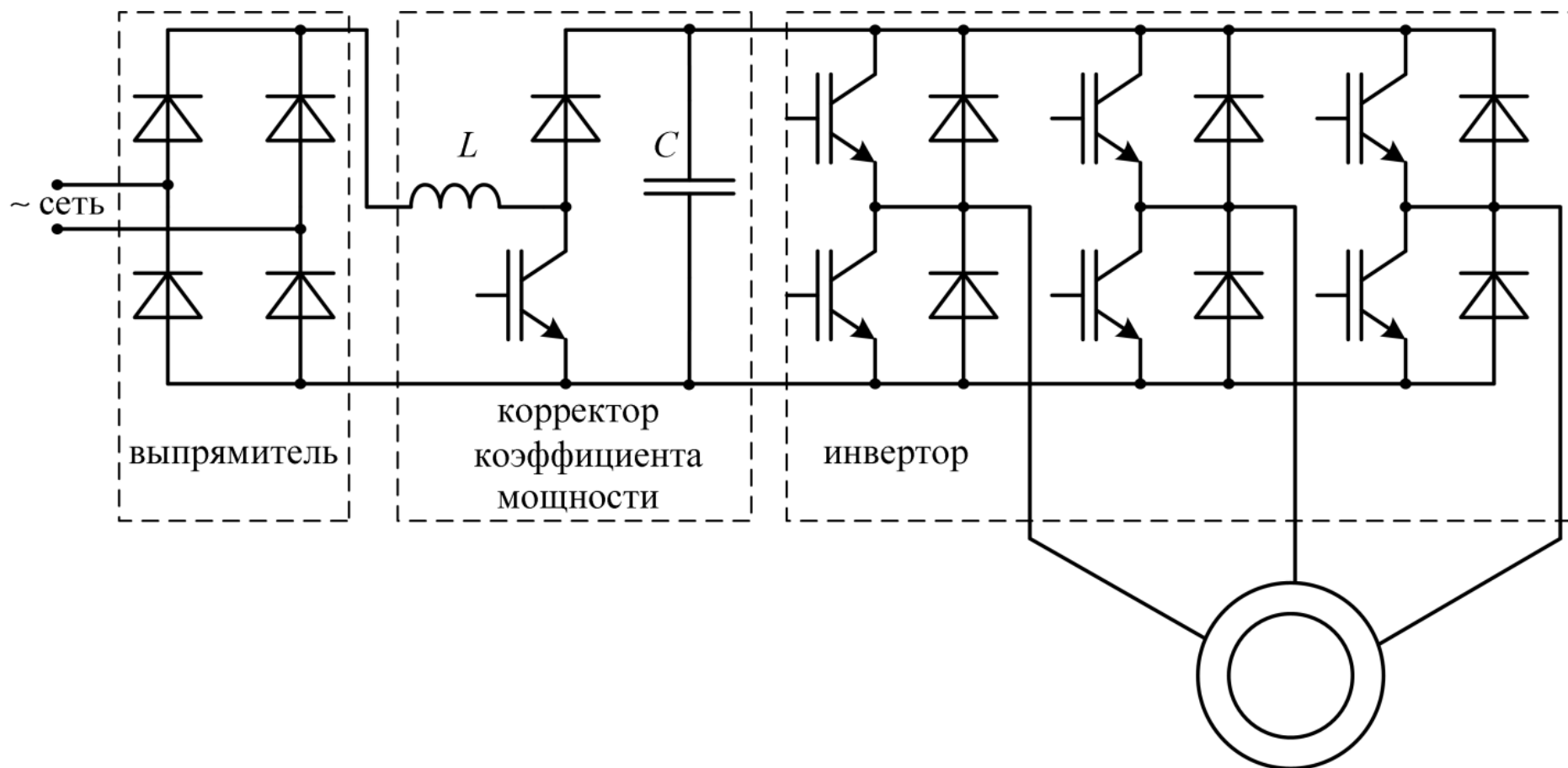


б)

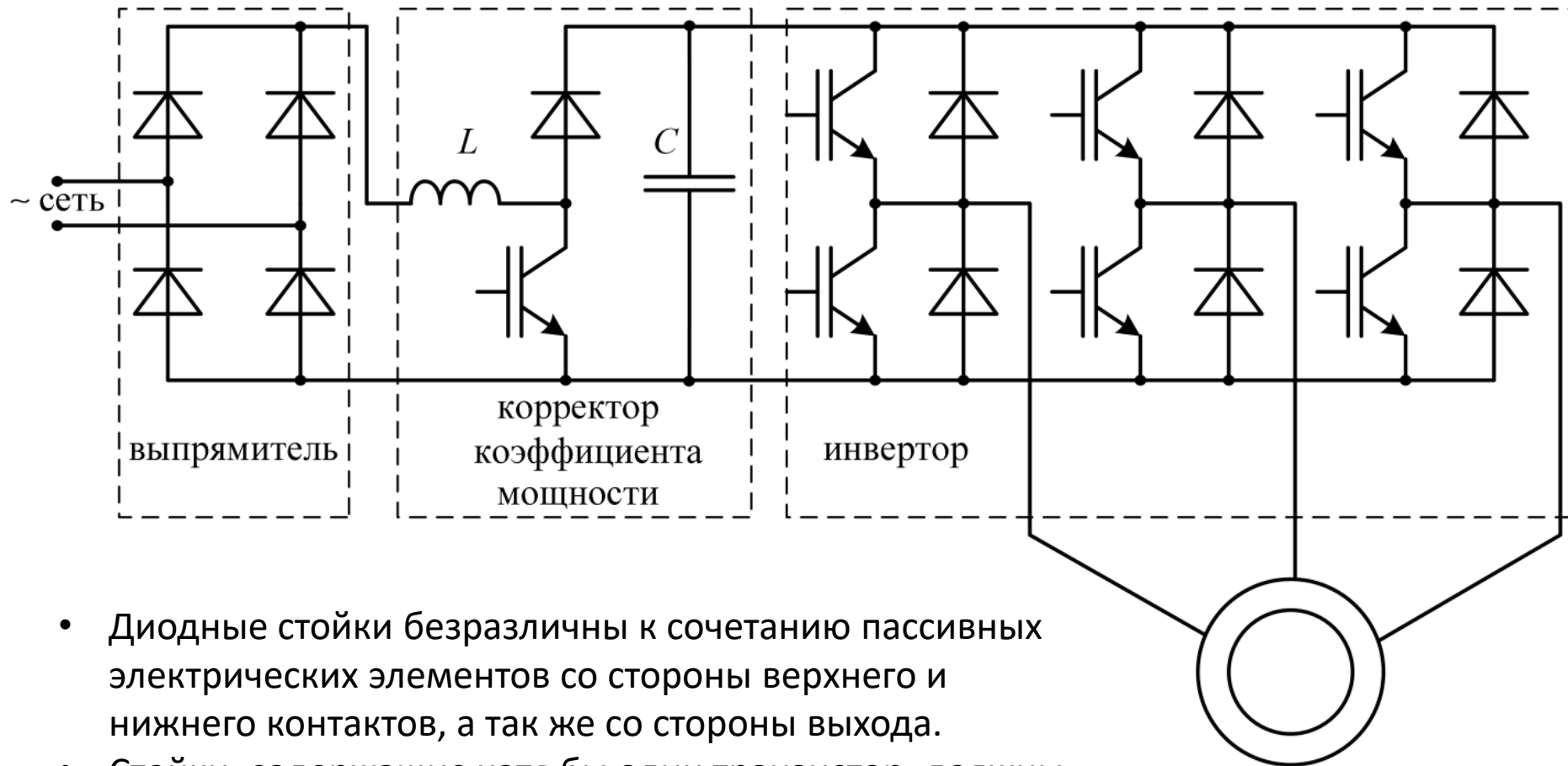


в)

Стойка — основной элемент силовой схемы



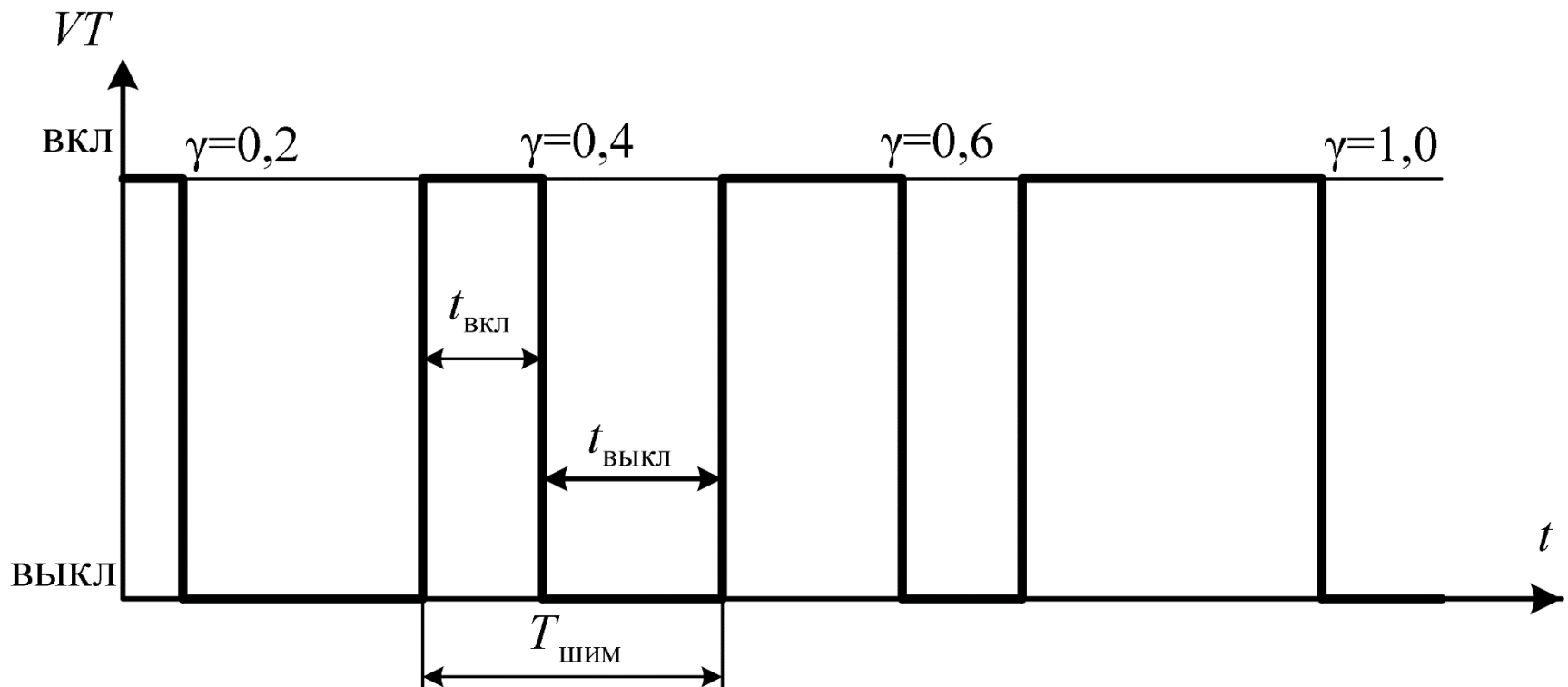
Стойка — основной элемент силовой схемы



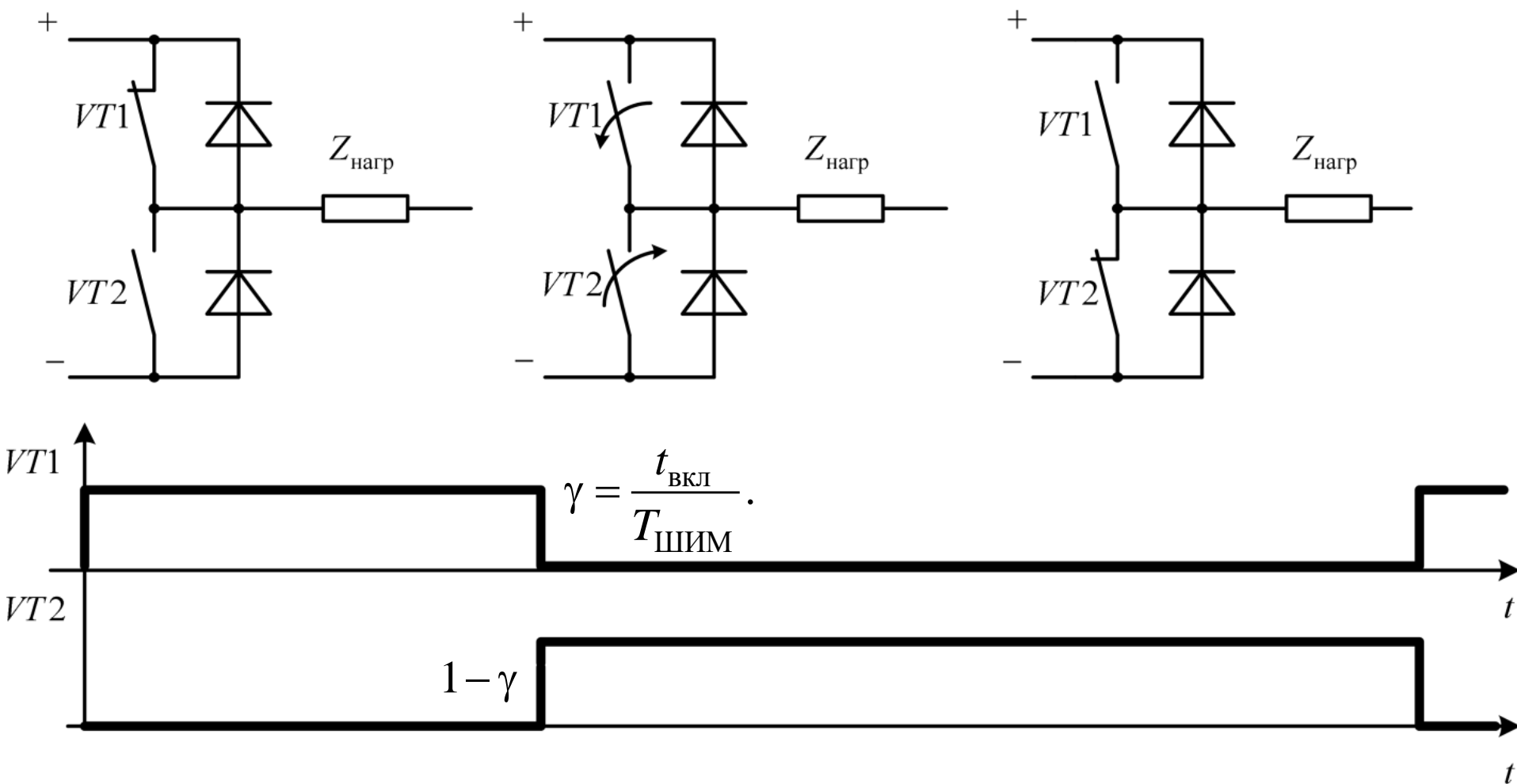
- Диодные стойки безразличны к сочетанию пассивных электрических элементов со стороны верхнего и нижнего контактов, а так же со стороны выхода.
- Стойки, содержащие хотя бы один транзистор, должны верхним и нижним контактами подсоединяться к емкостной нагрузке, а средним — к индуктивной.

Управление стойкой в режиме широтно-импульсной модуляции

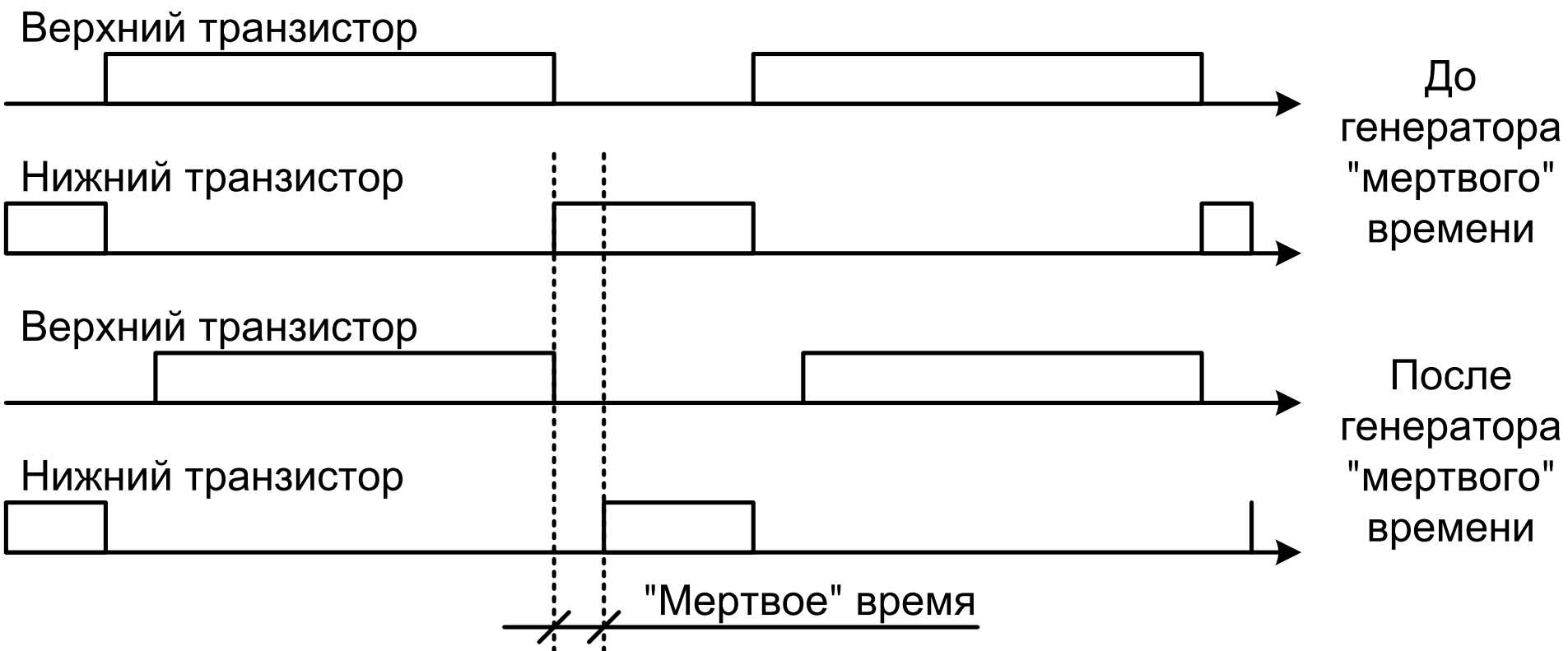
$$\gamma = \frac{t_{\text{ВКЛ}}}{T_{\text{ШИМ}}}.$$



Комплементарное управление



«Мертвое» время



если $VT1 = \text{вкл}$ и $VT2 = \text{выкл}$, то

если $i > 0$, то

$$\varphi_U = \varphi_P - \Delta U_{VT},$$

иначе если $i < 0$, то

$$\varphi_U = \varphi_P + \Delta U_{VD},$$

иначе если $VT1 = \text{выкл}$ и $VT2 = \text{вкл}$, то

если $i > 0$, то

$$\varphi_U = \varphi_N - \Delta U_{VD},$$

иначе если $i < 0$, то

$$\varphi_U = \varphi_N + \Delta U_{VT},$$

иначе если $VT1 = \text{выкл}$ и $VT2 = \text{выкл}$, то

если $i > 0$, то

$$\varphi_U = \varphi_N - \Delta U_{VD},$$

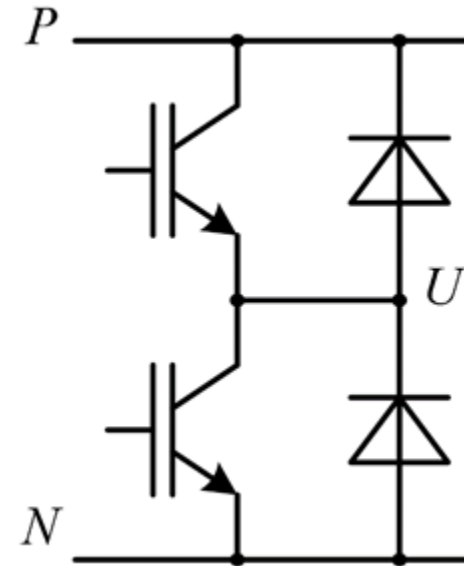
иначе если $i < 0$, то

$$\varphi_U = \varphi_P + \Delta U_{VD},$$

иначе если $i = 0$, то

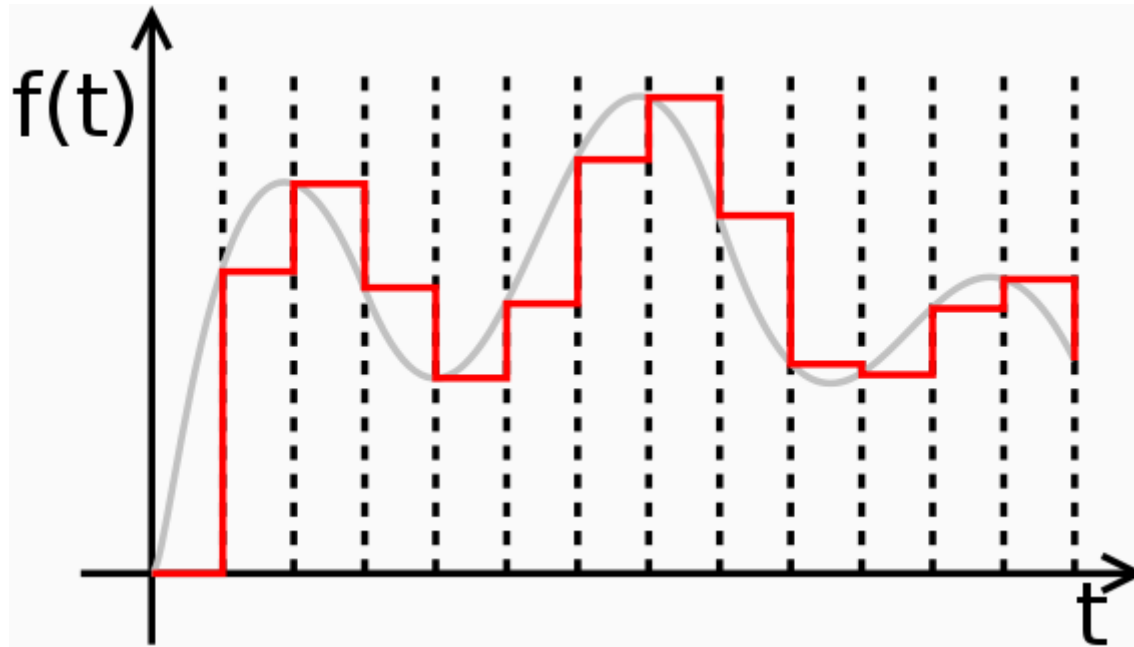
$$\varphi_U = \varphi_{\text{нагр}}.$$

Модели стойки

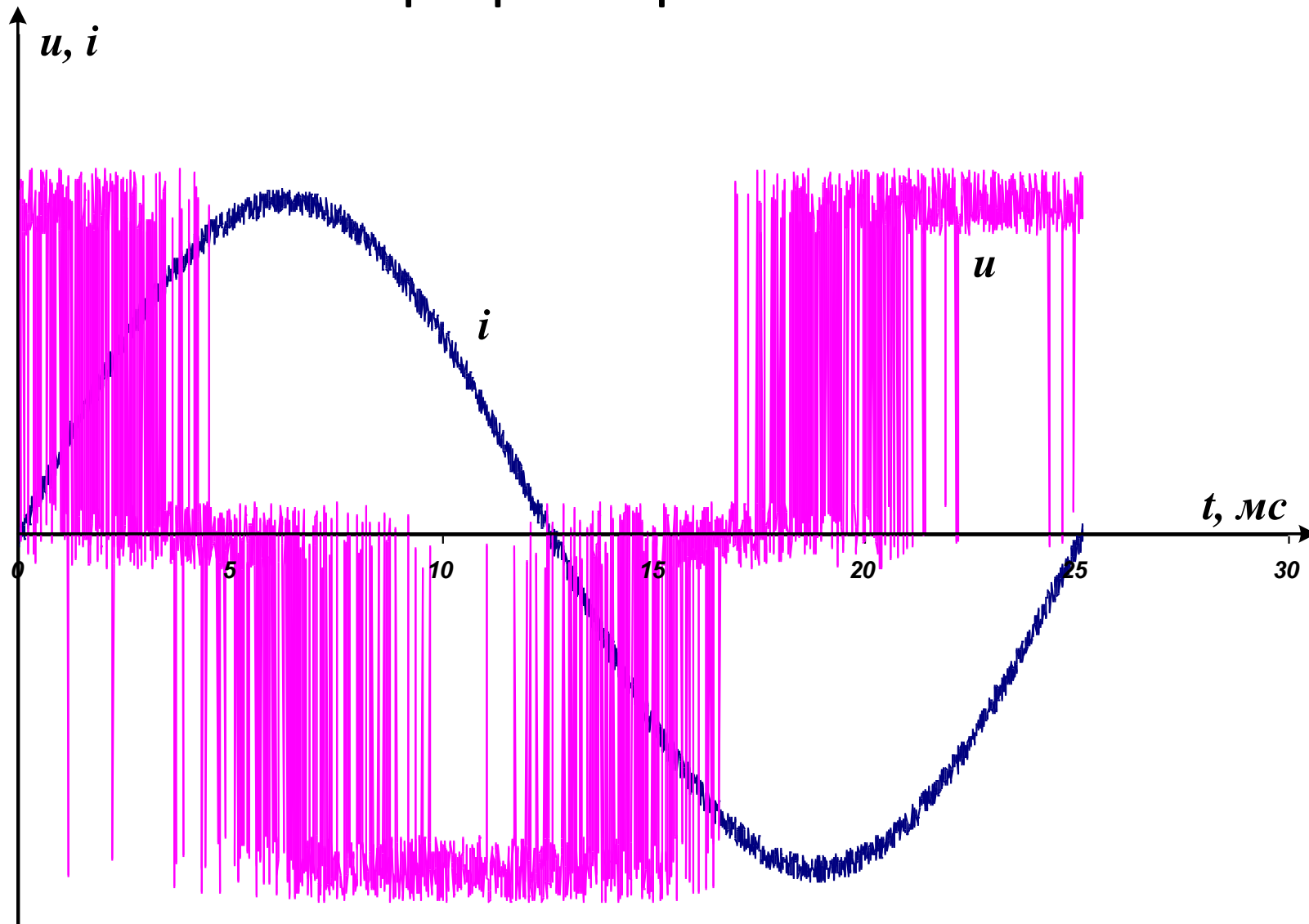


Модели стойки

$$\varphi_U = \varphi_N + (\varphi_P - \varphi_N) \cdot \gamma,$$



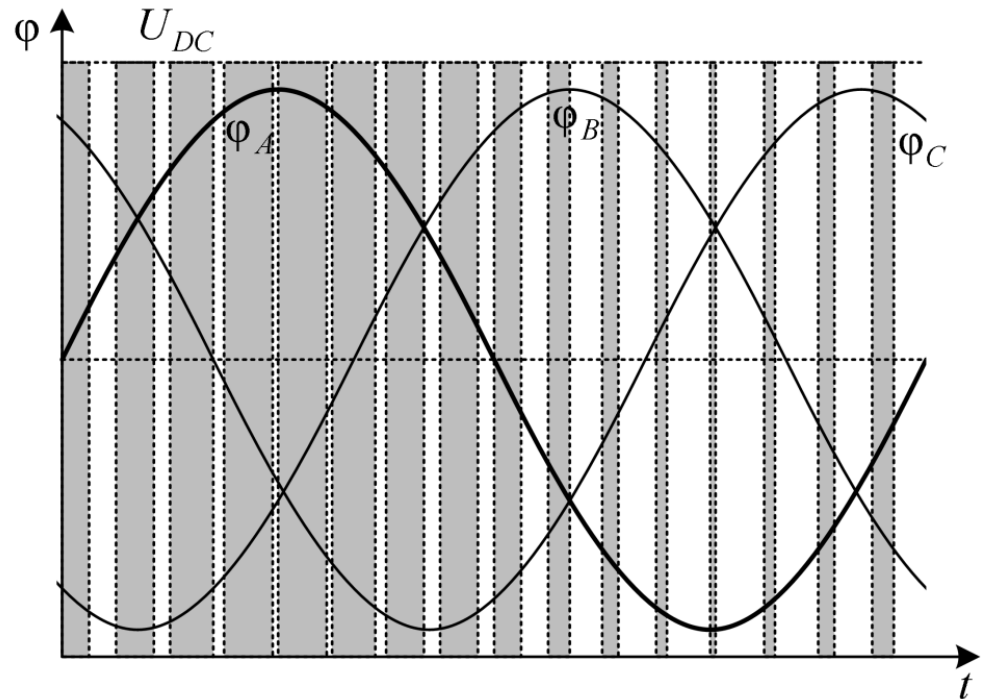
Способы формирования ШИМ



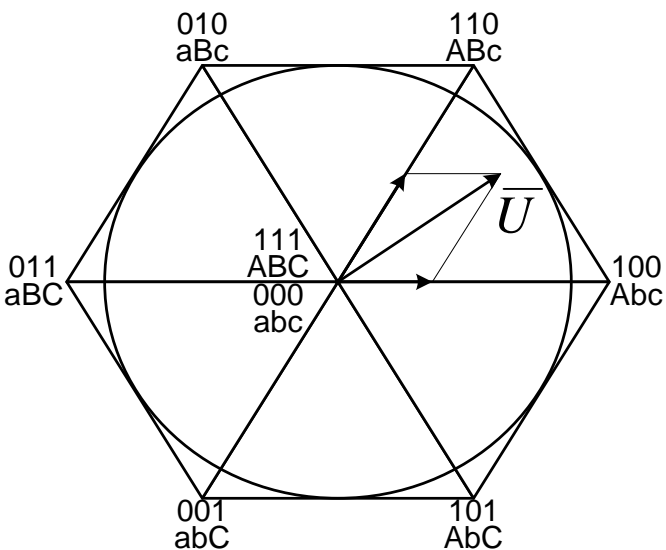
Синусоидальная ШИМ

$$\left. \begin{aligned} \gamma_A &= 0,5 + 0,5 \cdot U^* \cdot \sin(\omega_0 t); \\ \gamma_B &= 0,5 + 0,5 \cdot U^* \cdot \sin\left(\omega_0 t + \frac{2\pi}{3}\right); \\ \gamma_C &= 0,5 + 0,5 \cdot U^* \cdot \sin\left(\omega_0 t - \frac{2\pi}{3}\right), \end{aligned} \right\} \longrightarrow \left. \begin{aligned} \varphi_A &= 0,5 \cdot U_{DC} + 0,5 \cdot U_{DC} \cdot U^* \cdot \sin(\omega_0 t); \\ \varphi_B &= 0,5 \cdot U_{DC} + 0,5 \cdot U_{DC} \cdot U^* \cdot \sin\left(\omega_0 t + \frac{2\pi}{3}\right); \\ \varphi_C &= 0,5 \cdot U_{DC} + 0,5 \cdot U_{DC} \cdot U^* \cdot \sin\left(\omega_0 t - \frac{2\pi}{3}\right), \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} u_{AB} &= \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot U_{DC} \cdot U^* \cdot \sin\left(\omega_0 t - \frac{\pi}{3}\right); \\ u_{BC} &= \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot U_{DC} \cdot U^* \cdot \sin(\omega_0 t + \pi); \\ u_{CA} &= \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot U_{DC} \cdot U^* \cdot \sin\left(\omega_0 t + \frac{\pi}{3}\right). \end{aligned} \right\}$$

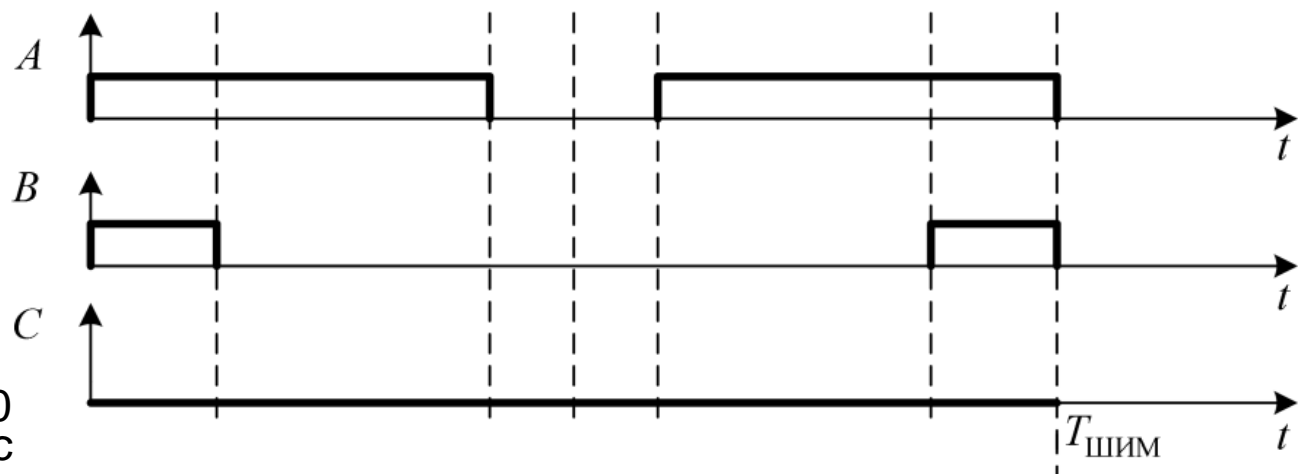
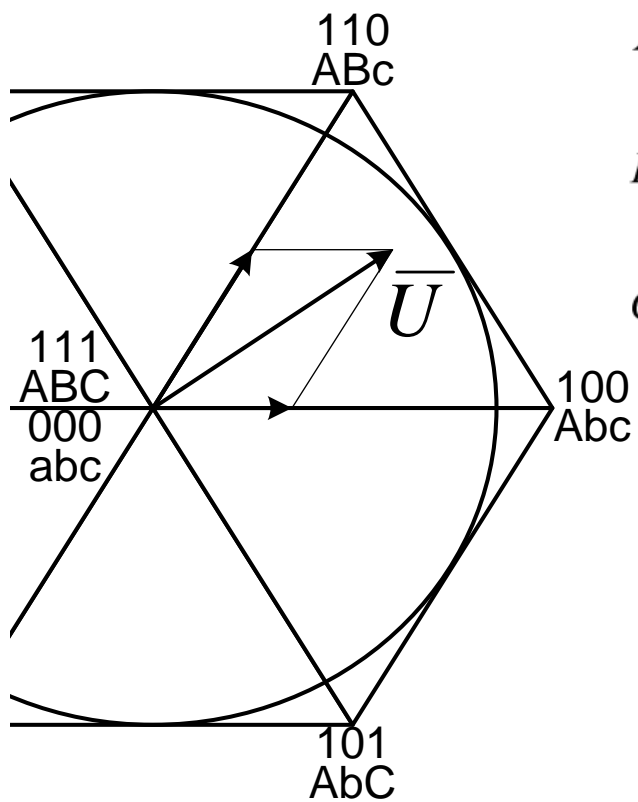


Векторная ШИМ

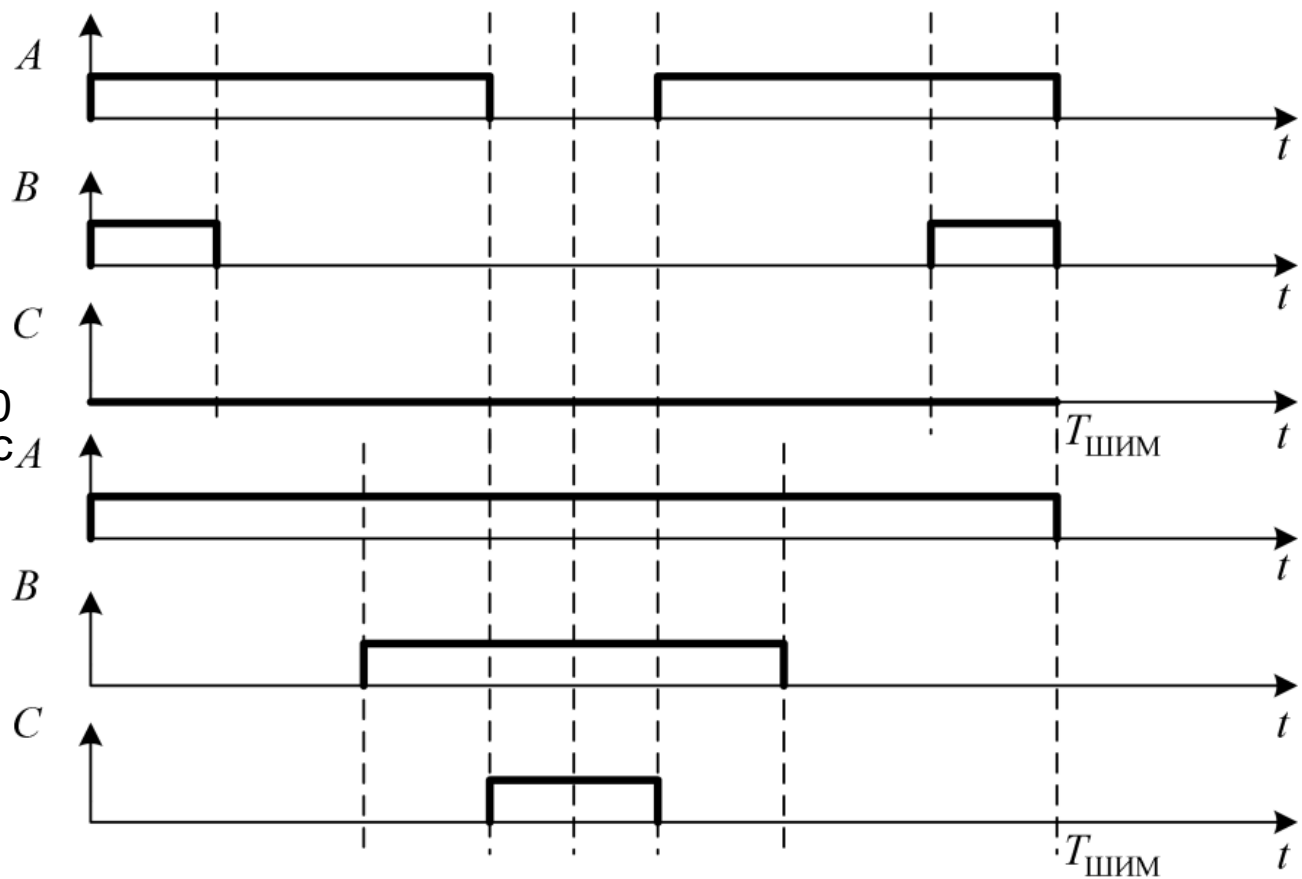
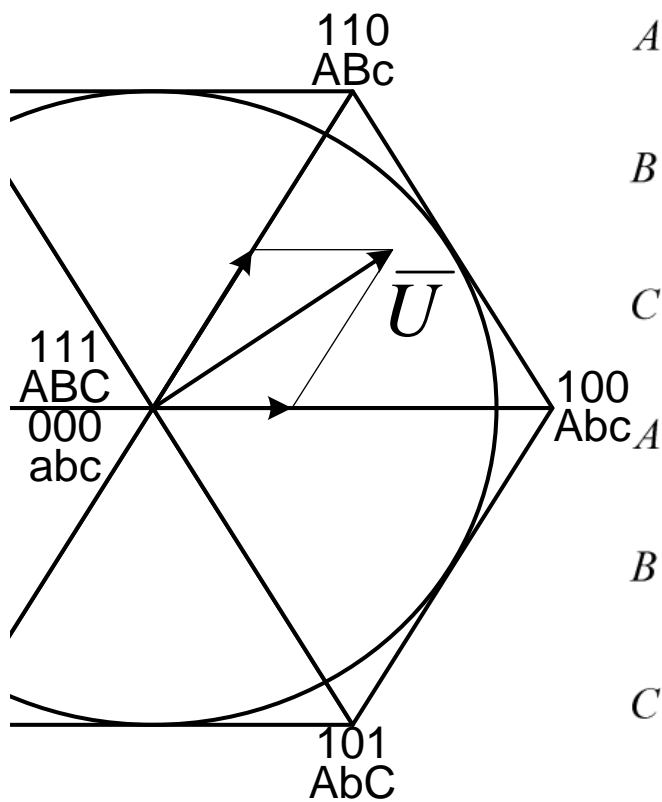


Состояние	100	110	010
Стойка А	Верхний	Верхний	Нижний
Стойка В	Нижний	Верхний	Верхний
Стойка С	Нижний	Нижний	Нижний
Векторная диаграмма напряжений			

Векторная ШИМ



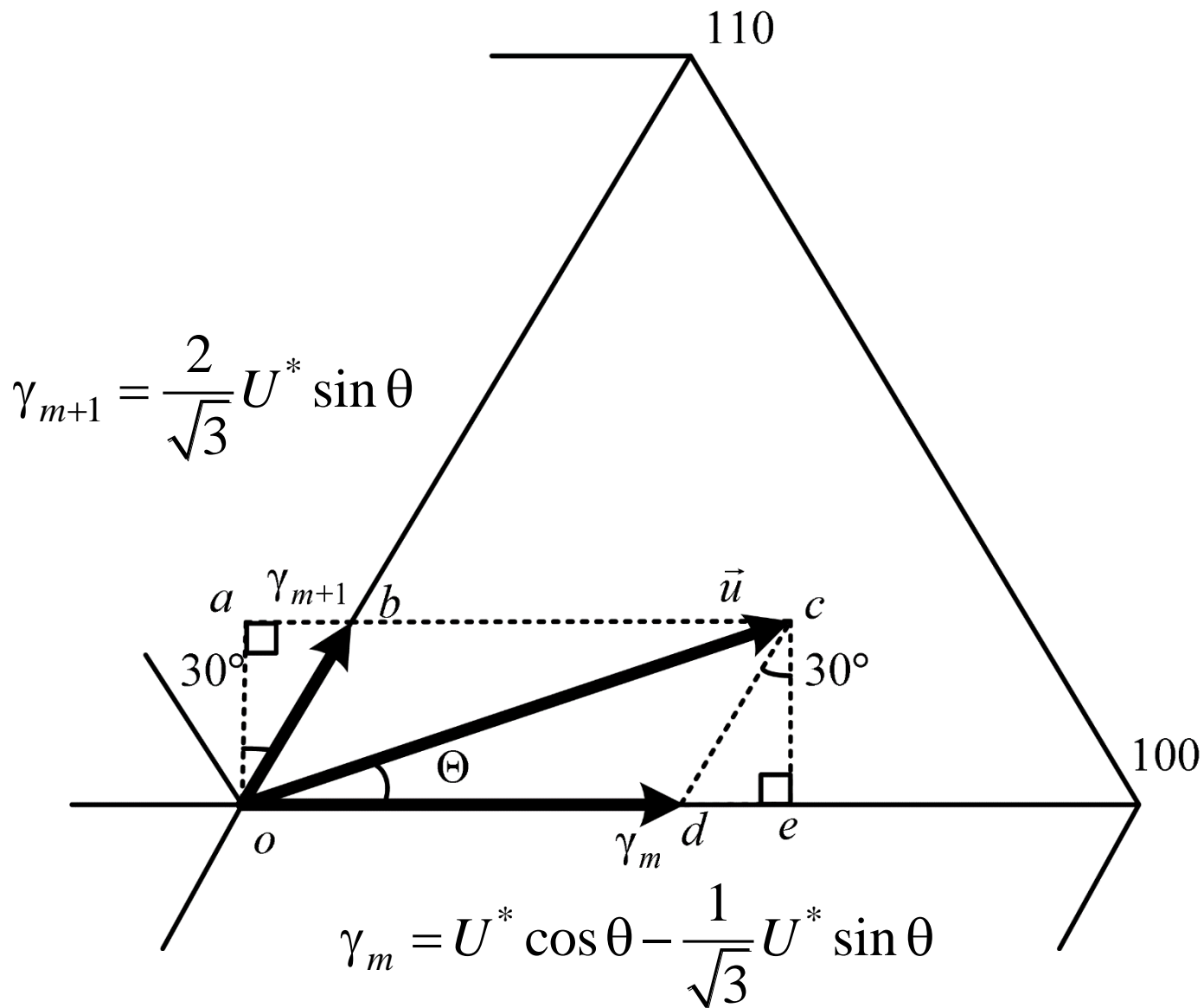
Векторная ШИМ



Векторная ШИМ

- За период ШИМ происходит четыре коммутации ключей по сравнению с шестью переключениями в синусоидальной, что снижает динамические потери в инверторе.
- Векторная ШИМ максимально полно использует запас напряжения звена постоянного тока без искажения формы выходного тока.
- Для инверторов с бутстрепным питанием драйверов верхних ключей требуется использовать привязку к нижней шине.
- Влияние «мертвого» времени и отсутствие коммутации в одной из стоек будет вносить несимметричность в выходное напряжение.

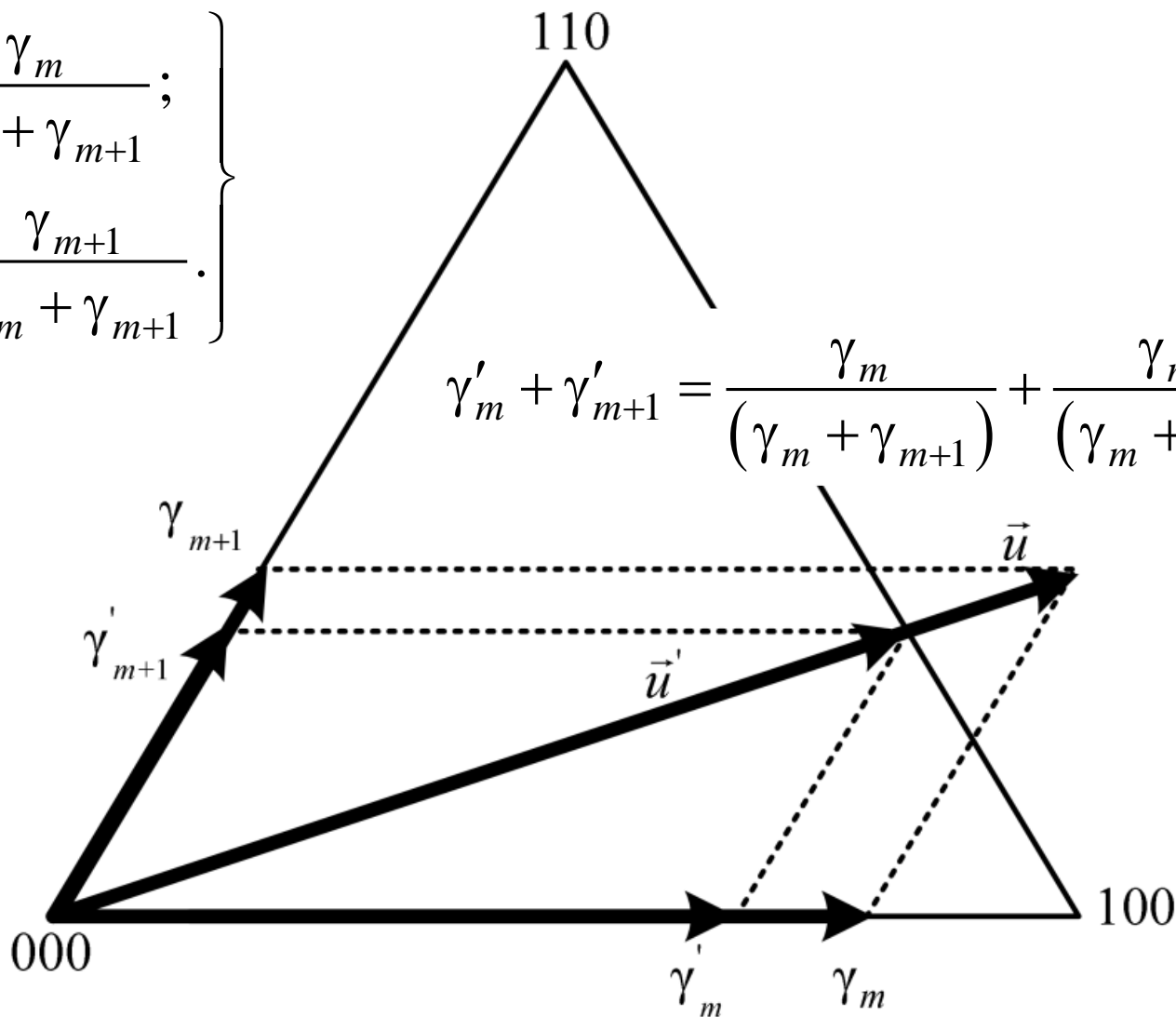
Реализация векторной ШИМ



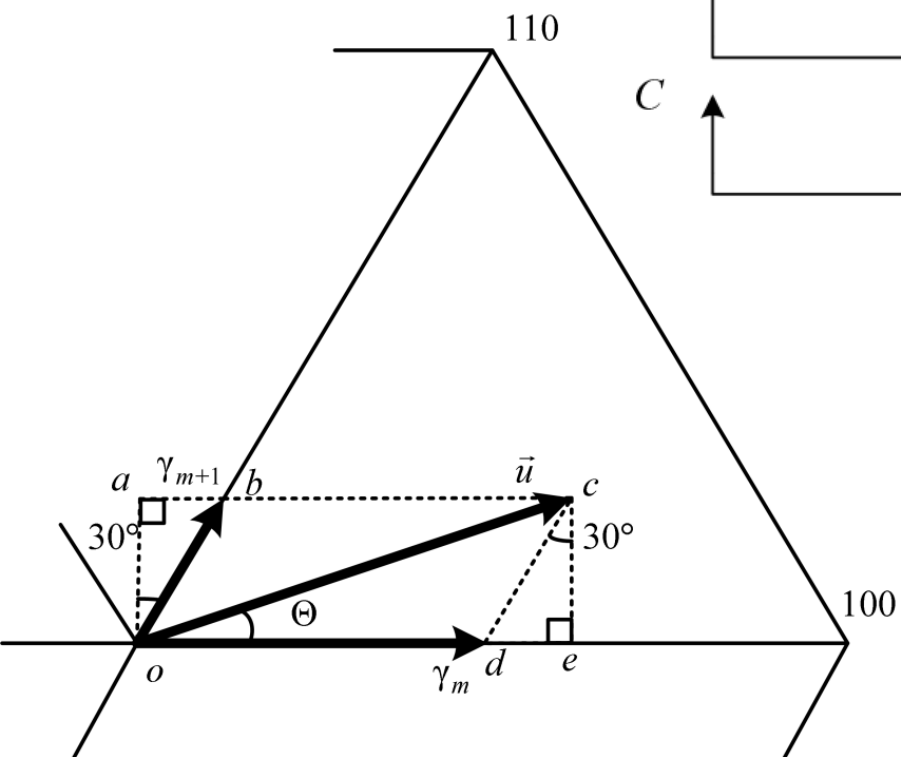
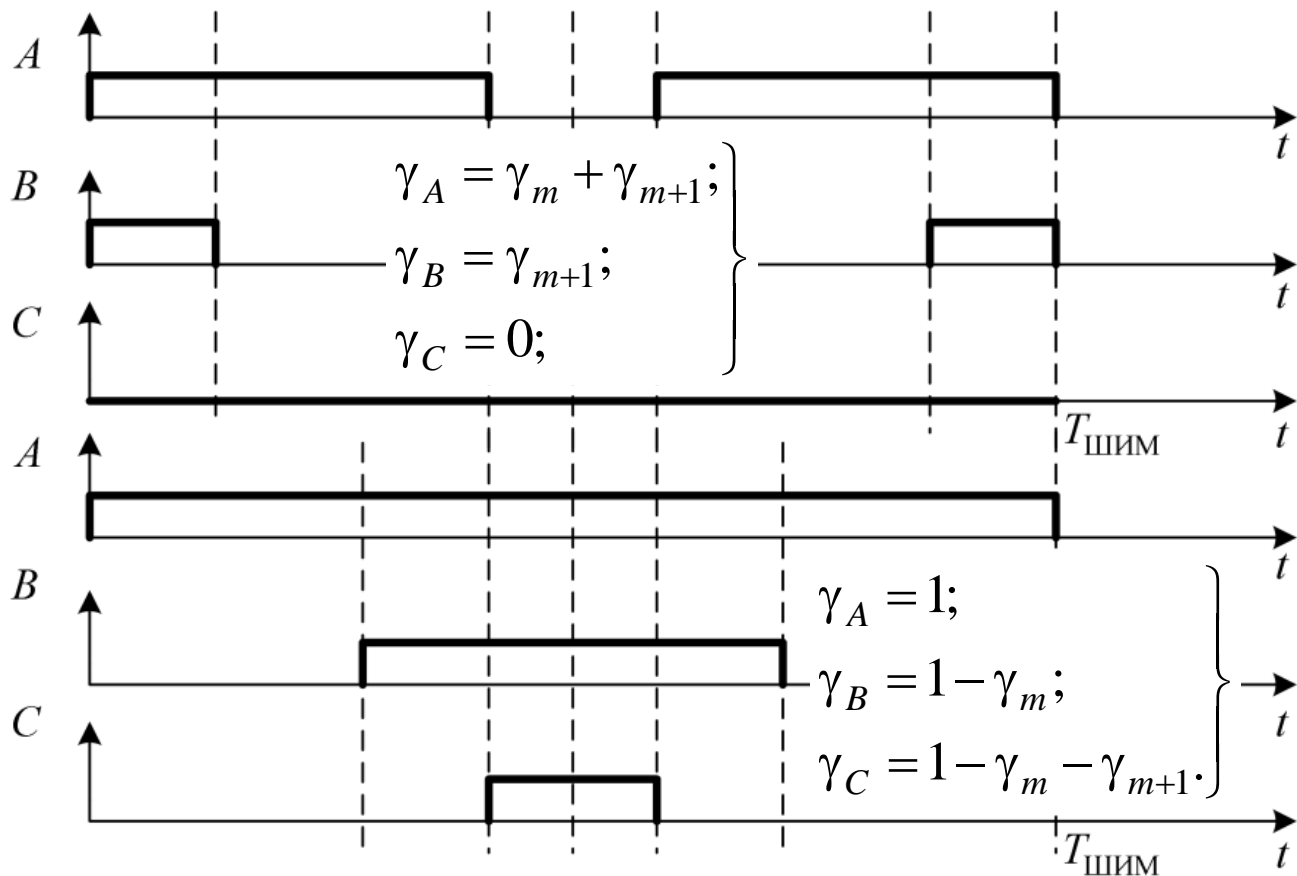
Коллинеарное ограничение вектора

$$\left. \begin{aligned} \gamma'_m &= \frac{\gamma_m}{\gamma_m + \gamma_{m+1}}; \\ \gamma'_{m+1} &= \frac{\gamma_{m+1}}{\gamma_m + \gamma_{m+1}}. \end{aligned} \right\}$$

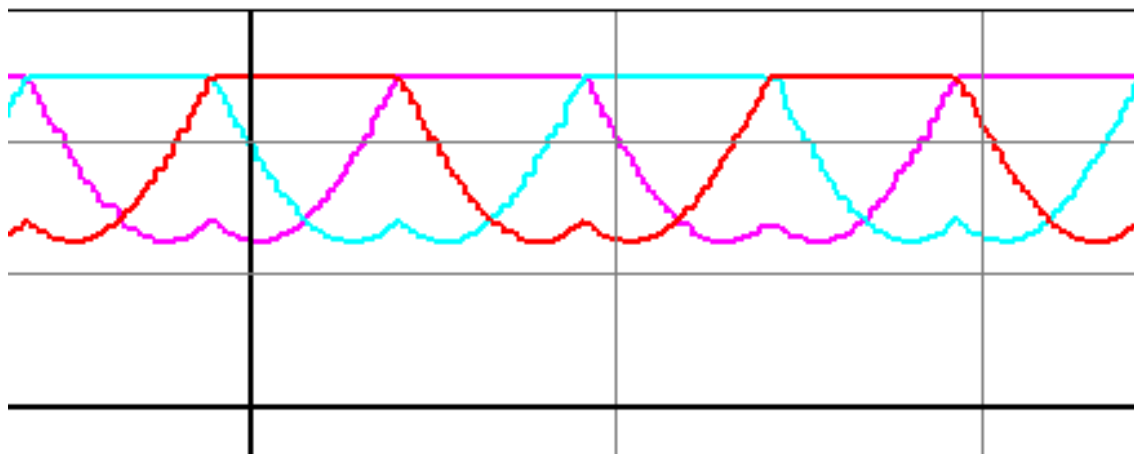
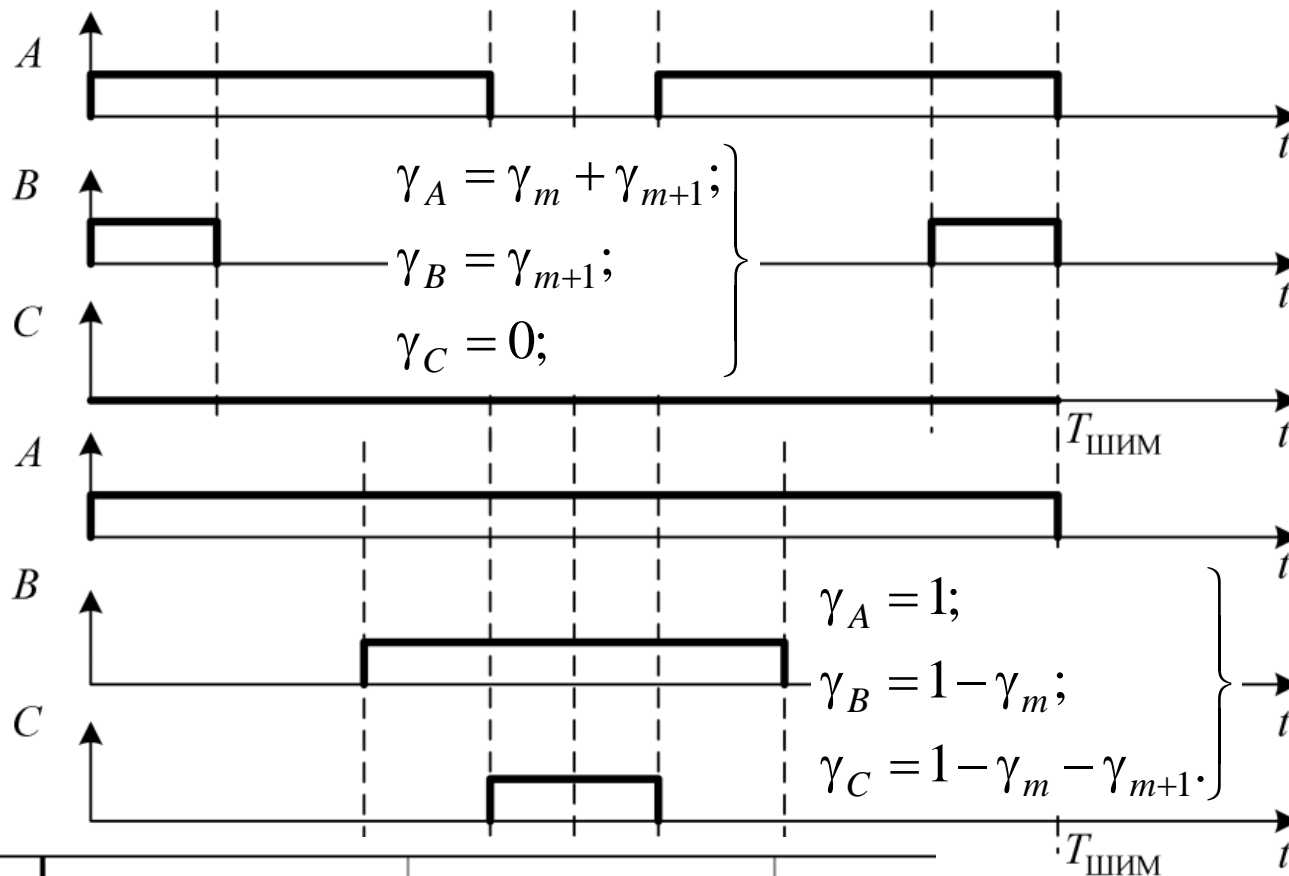
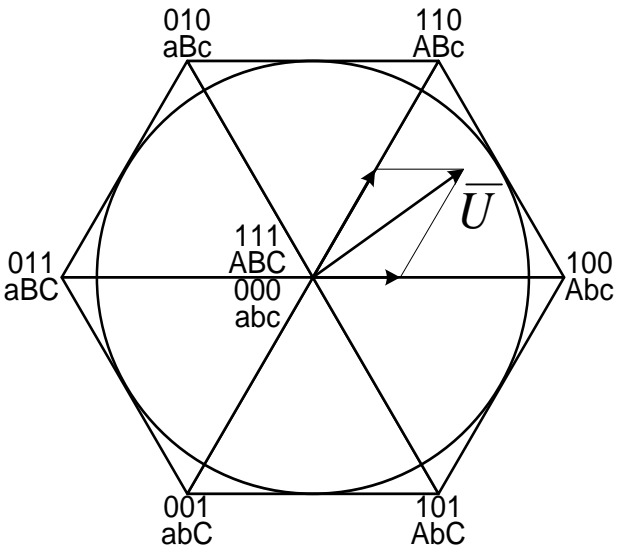
$$\gamma'_m + \gamma'_{m+1} = \frac{\gamma_m}{(\gamma_m + \gamma_{m+1})} + \frac{\gamma_{m+1}}{(\gamma_m + \gamma_{m+1})} = 1,$$



Векторная ШИМ



Векторная ШИМ



Векторная ШИМ методом мгновенных фазных потенциалов

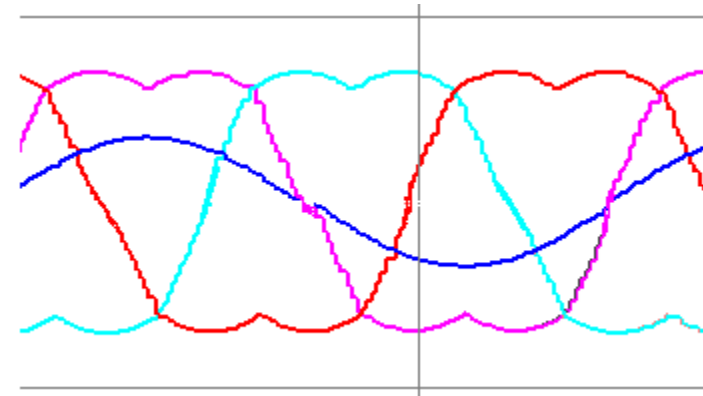
Анучин А.С.: <http://motorcontrol.ru/wp-content/uploads/2015/11/PW1.pdf>

$$\left. \begin{aligned} \varphi_a &= U \cdot \sin(\omega_0 t); \\ \varphi_b &= U \cdot \sin\left(\omega_0 t + \frac{2\pi}{3}\right); \\ \varphi_c &= U \cdot \sin\left(\omega_0 t - \frac{2\pi}{3}\right), \end{aligned} \right\}$$

$$\left\{ \begin{aligned} \varphi_{\min} &= \min(\varphi_a, \varphi_b, \varphi_c); \\ \varphi_{\max} &= \max(\varphi_a, \varphi_b, \varphi_c); \\ \varphi_{\Delta} &= \frac{U_{DC}}{2} - \varphi_{\min} - \left(\frac{\varphi_{\max} - \varphi_{\min}}{2} \right); \end{aligned} \right.$$

$$\left\{ \begin{aligned} \varphi'_a &= \varphi_{\Delta} + \varphi_a; \\ \varphi'_b &= \varphi_{\Delta} + \varphi_b; \\ \varphi'_c &= \varphi_{\Delta} + \varphi_c, \end{aligned} \right.$$

Считаем потенциалы фаз как в синусоидальной ШИМ, а далее сдвигаем их так, чтобы ни один не выходил за пределы ЗПТ



Если оставить только этот член, то получится форма скважностей как в предыдущем варианте ШИМ

Лабораторная работа: сделать ШИМ мгновенных фазных потенциалов из синусоидальной ШИМ в motorcontroldemo

- Открыть файл V_PWM_Module.c, найти PWM_Module_Sin_Update
- Найти расчет PhasePtsA-C, они меняются от 0 до 1.
- Переделать расчет скважностей GammaA-C так, чтобы получить:
 1. Аналог алгоритма классической векторной ШИМ, чтобы одна из скважностей всегда была равна единице
 2. Чтобы ни одна скважность не достигала нуля или единице (формула с пред. слайда)
 3. Снять осциллограммы скважностей, проверить работу двигателя.

*!*Рекомендуется для отладки сначала работать с имитационными моделями двигателей.**