

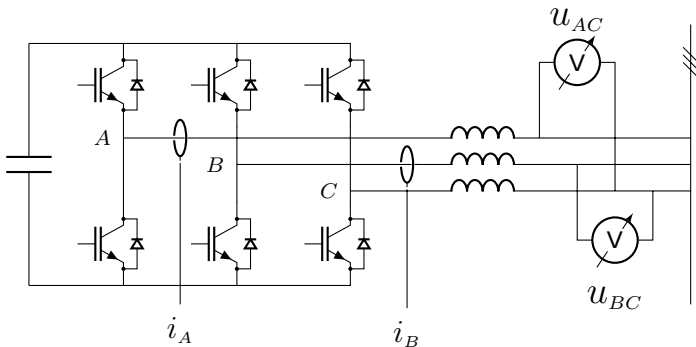
# Модификация алгоритмов генерации векторного ШИМ для трехфазного инвертора с использованием косоугольной системы координат

*авторы:* С. Ал Мустафа  
Г.А. Карпов\*  
А.Н. Прокшин  
Н.И. Татаринцев  
А.В. Трофимов

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)  
\* СПбГУ

19 октября 2023 г.

# пример системы, в которой генерируется векторный ШИМ



$i_A + i_B + i_C = 0$  – нет нулевого провода,  
 $u_{AB} + u_{BC} + u_{CA} = 0$ ,  
симметрия фаз не предполагается.

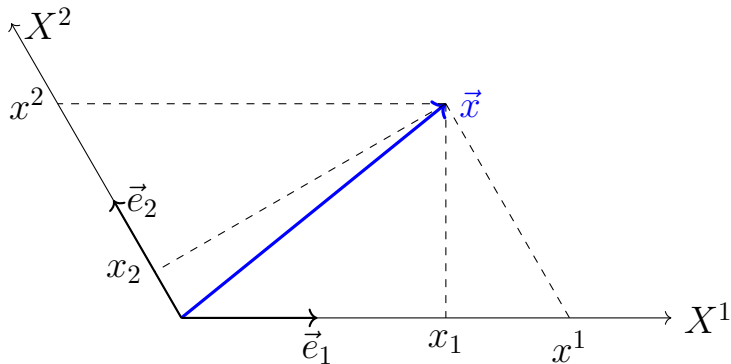


Рис.: вектор и его координаты в косоугольной системе

$$|\vec{x}|^2 = x_1x^1 + x_2x^2; \quad (\vec{x} \cdot \vec{y}) = x_1y^1 + x_2y^2 = y_1x^1 + y_2x^2$$

взаимные (двойственные, сопряженные) оси  $\perp$  базовым осям

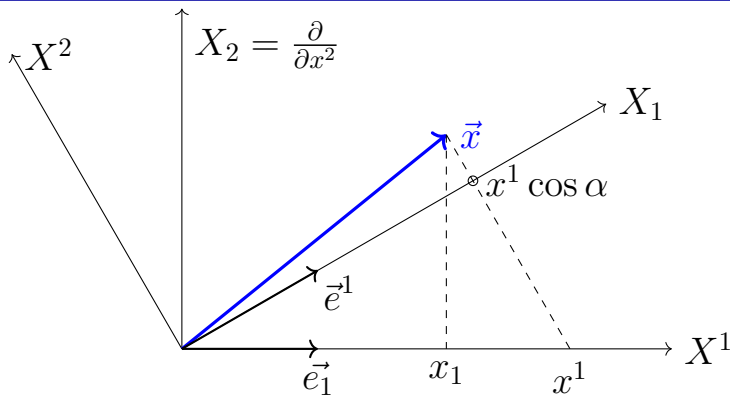
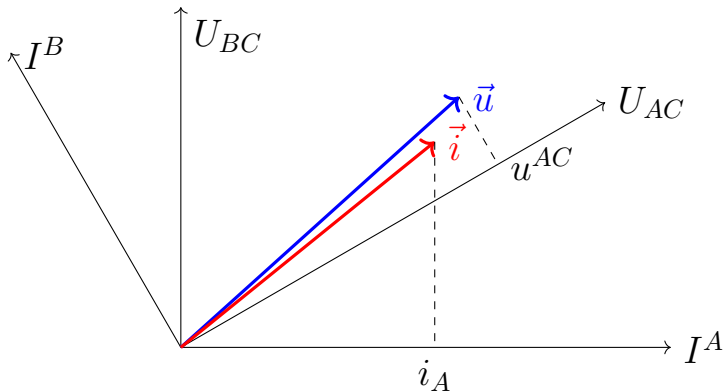


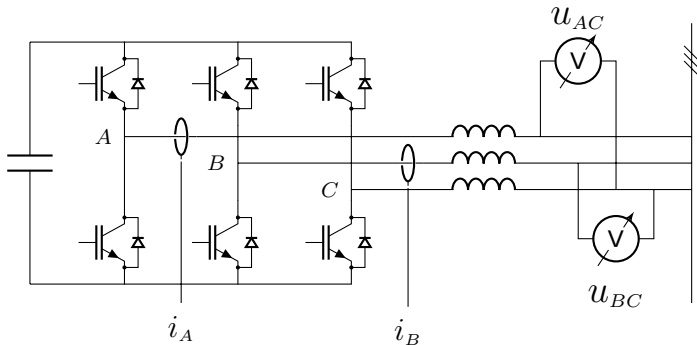
Рис.: как выбрать правильную нормировку (единичный  $\vec{e}^1$ )

$$(\vec{e}_i \cdot \vec{e}^k) = \delta_i^k$$



$$P = (\vec{i} \cdot \vec{u}) = i_A u^{AC} + i_B u^{BC} = i_A (u_A - u_C) + i_B (u_B - u_C) =$$

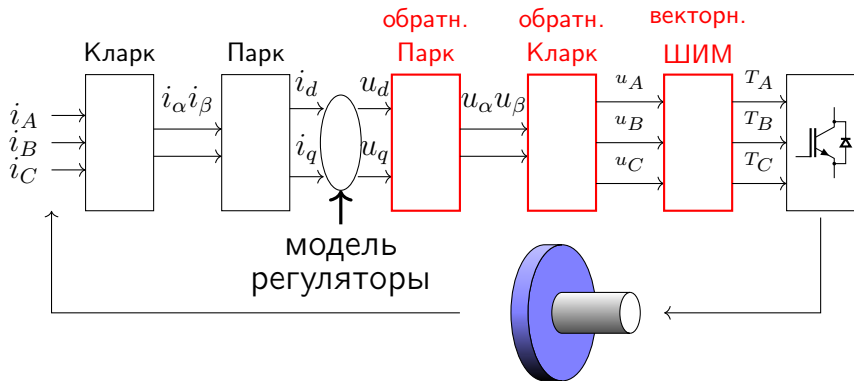
$$i_A u_A + i_B u_B - (i_A + i_B) u_C = i_A u_A + i_B u_B + i_C u_C$$



$$P = (\vec{i} \cdot \vec{u}) = i_A u^{AC} + i_B u^{BC}$$

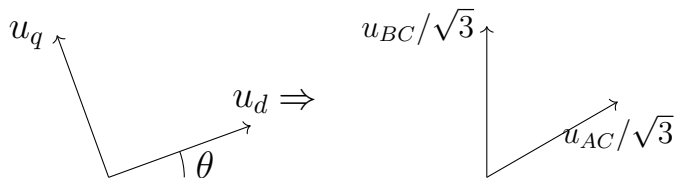
Рис.: измерение фазных токов и линейных напряжений в трехфазной системе

когда нет измеренных линейных напряжений - из системы управления, или полусумма математических координат



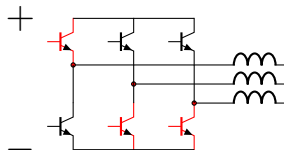
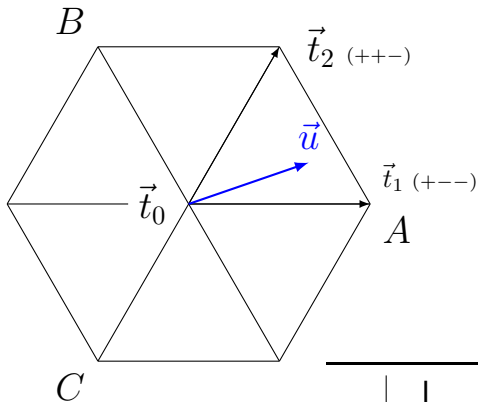
идея: на вход ШИМ подать линейные напряжения

Вместо обратного преобразования Парка-Горева используем преобразование к нормированным линейным напряжениям

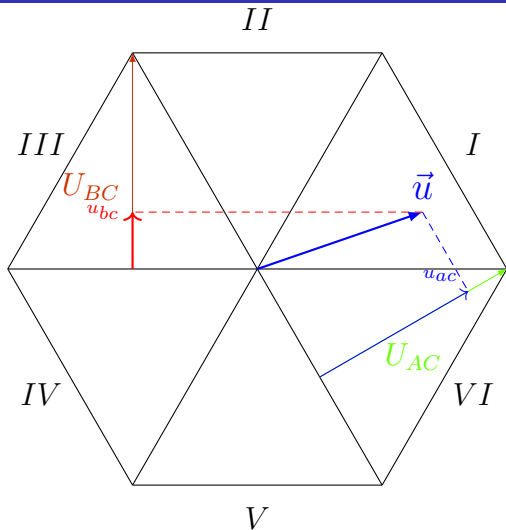


$$\begin{pmatrix} \frac{u_{AC}}{\sqrt{3}} \\ \frac{u_{BC}}{\sqrt{3}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\theta - \frac{\pi}{6}) & -\sin(\theta - \frac{\pi}{6}) \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} u_d \\ u_q \end{pmatrix}$$





	I	II	III	IV	V	VI
$t_1$	$V_{AB}$	$V_{AC}$	$V_{BC}$	$V_{BA}$	$V_{CA}$	$V_{CB}$
$t_2$	$V_{BC}$	$V_{BA}$	$V_{CA}$	$V_{CB}$	$V_{AB}$	$V_{AC}$

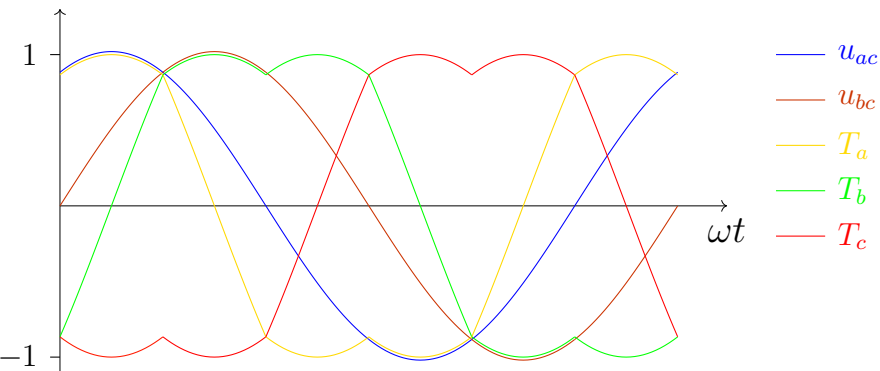


сектор I

$$\begin{aligned} T'_a &= u_{ac} \\ T'_b &= 2 \cdot u_{bc} - u_{ac} \\ T'_c &= -u_{ac} \end{aligned}$$

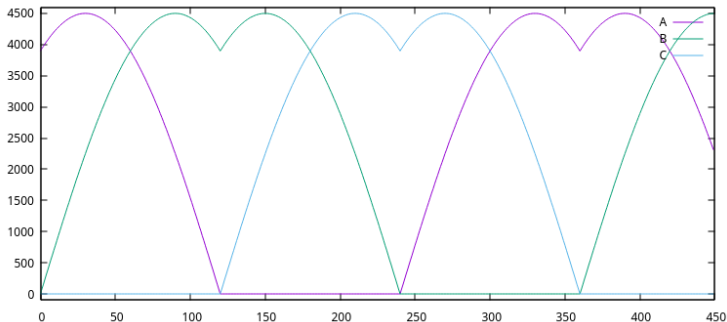
нулевой вектор такой что  $T_{0шина+} = T_{0шина-}$

# Графики коэффициентов заполнения и линейных напряжений



"Горбы" линейных напряжений совпадают с "горбами" коэффициентов заполнения

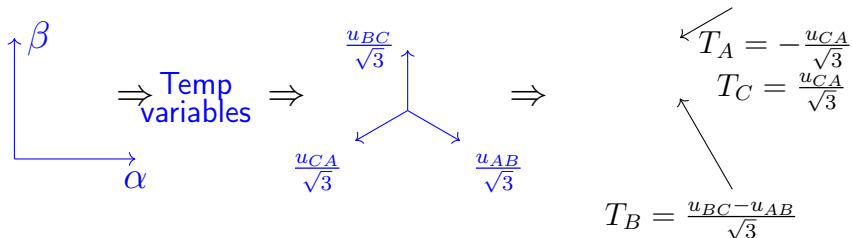
## прерывистый режим ШИМ (discontinuous)



Для сегмента I положим  $T_C = 0$ .




ключи в каждой фазе треть периода находятся на минусовой шине.

## Русского электротехнического общества и Мехатроника Про



алгоритмы РЭО и Мехатроники Про имеют больше преобразований по сравнению с предложенным

- алгоритм базируется на измеряемых физических величинах;
- имеет в два раза меньше операций (без учета алгоритма определения сектора). Исключены преобразования: к фазным напряжениям и обратно к линейным;
- реализован на микроконтроллерах STM для синхронной и асинхронной машины, для активного выпрямителя;
- симметричный алгоритм работает на береговой зарядной станции 600кВт в Москве.

-  Дубровин Б.А., Новиков С.П., Фоменко А.Т. Современная геометрия, Методы и приложения М.: Наука, 1986. 760 с.
-  Борисенко А.И., Тарапов И.Е. Векторный анализ и начала тензорного исчисления – М. «Высшая школа», 1966. 252 с.
-  Али Альмушреки О.А., Обама Н.С., Прокшин А.Н. и др. Измерение тока и напряжения в косоугольных координатах в трехфазной обобщенной электрической машине, SCM-21

Спасибо за внимание!