

ООО “Center of ultrasonic technologies”

Принципы и алгоритмы управления ультразвуковыми приборами

Khmelev Vladimir Nikolaevich



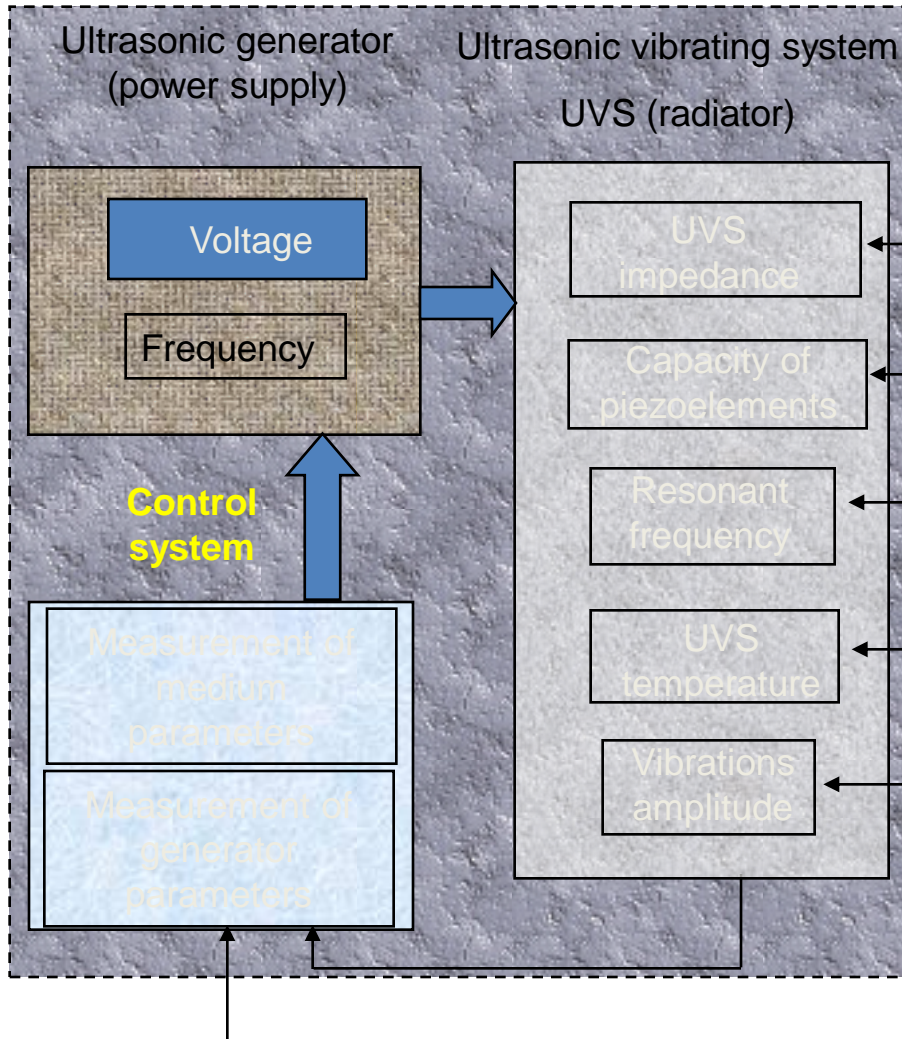
Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Inventor of the Russian Federation, Senior Member IEEE. Laureate of the Russian Government Award in the field of science and technology, author of more than 900 scientific publications (including more than 100 patents, more than 20 monographs and textbooks), Deputy Director for Scientific Work of the Biysk Technological Institute of the Altai State Technical University.

+7 9039925120

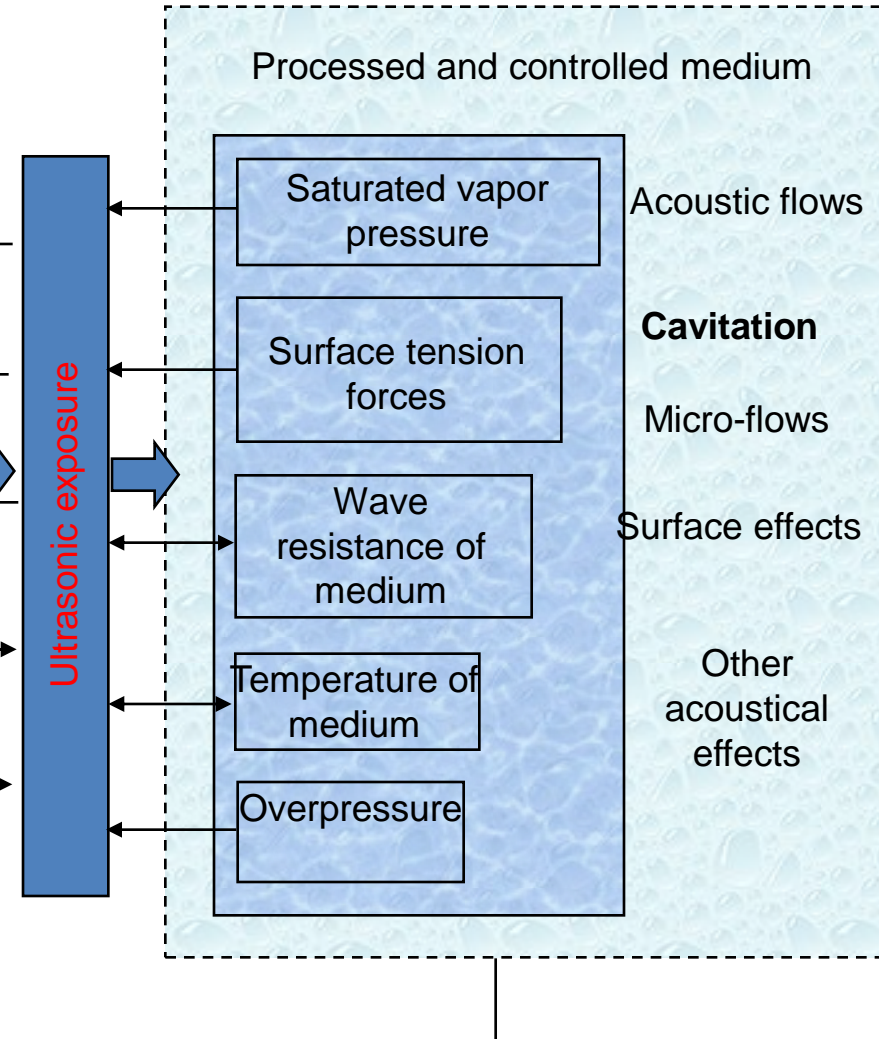
vnh@u-sonic.ru

Ultrasonic exposure

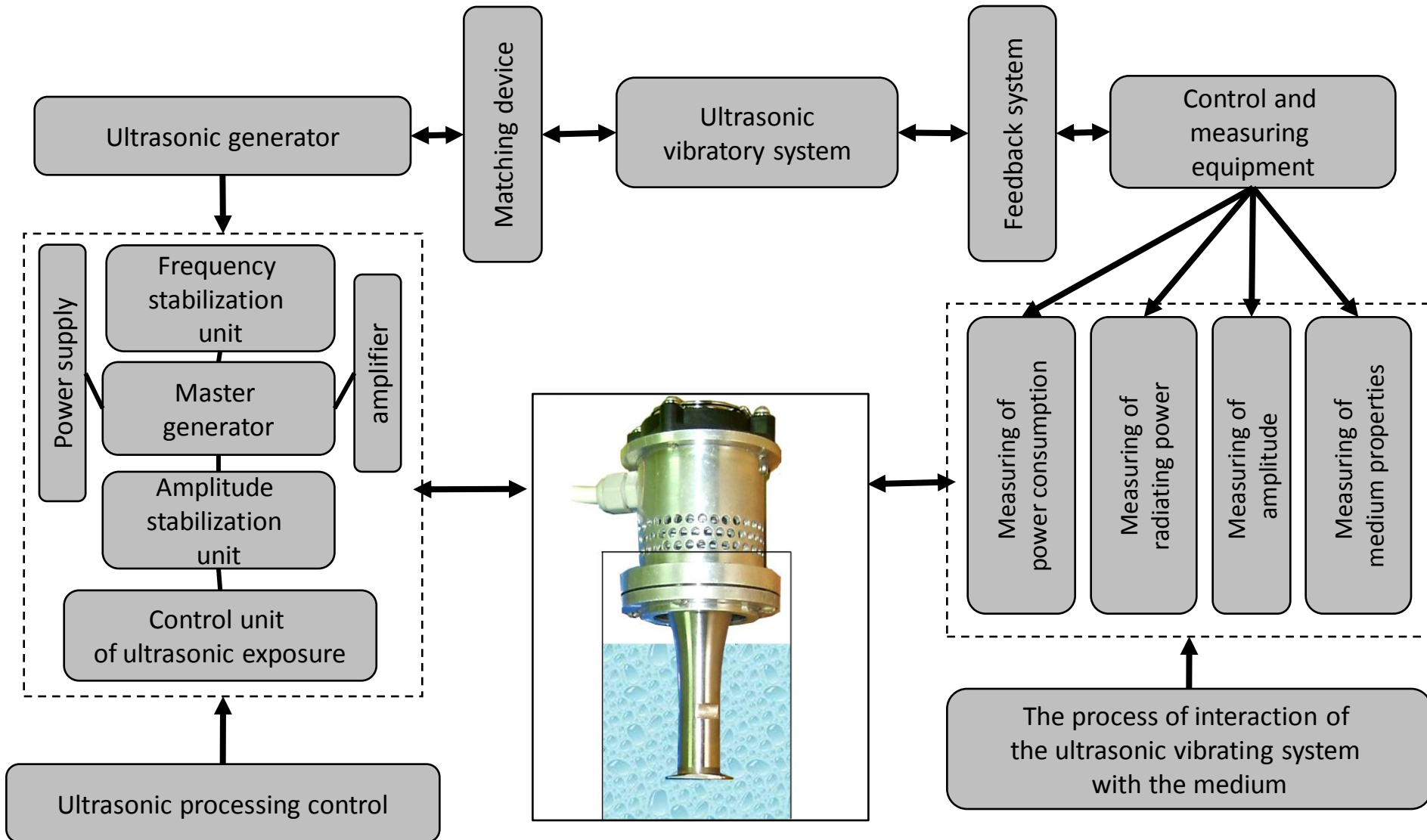
Ultrasonic industrial device



Technological process



Ultrasonic industrial device



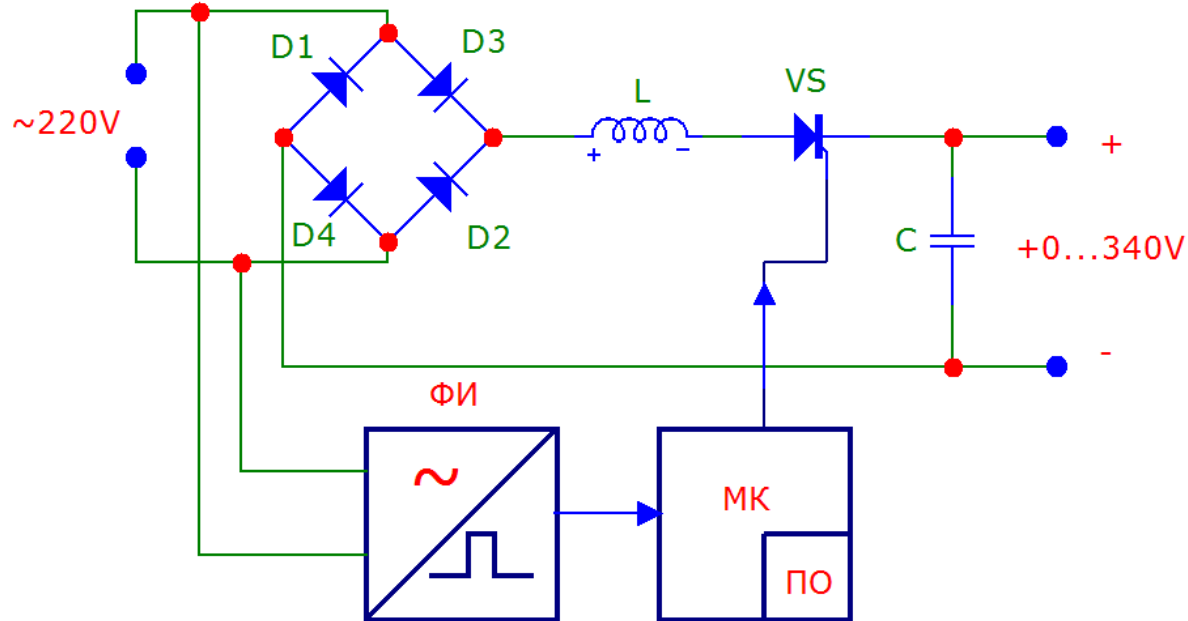
Параметры, подлежащие управлению

- 1. Мощность аппарата для регулирования амплитуды или интенсивности УЗ воздействия.
- 2. Частота вырабатываемых электрических колебаний для обеспечения соответствия собственной частоте колебательной системы в любых условиях.
- 3. Режимы работы генератора для обеспечения оптимальных воздействия

Принципы управления мощностью УЗ генераторов

1. Изменение напряжения питания ВЧ преобразователя УЗ генератора при помощи однофазного тиристорного регулятора.
2. Изменение напряжения питания ВЧ преобразователя УЗ генератора при помощи 3-х фазного тиристорного регулятора напряжения.
3. Изменение напряжения питания ВЧ преобразователя УЗ генератора при помощи чопперного регулятора напряжения.

Схема однофазного тиристорного регулятора мощности



ФИ – формирователь синхроимпульсов;

МК – микроконтроллер;

ПО- программа;

VS – силовой тиристорный ключ.

Диапазоны изменения фазы управляющих импульсов силового ключа регулятора

Диапазон изменения фазы управляющих импульсов:

$$\varphi = 90 \dots 180; \varphi = 270 \dots 360$$

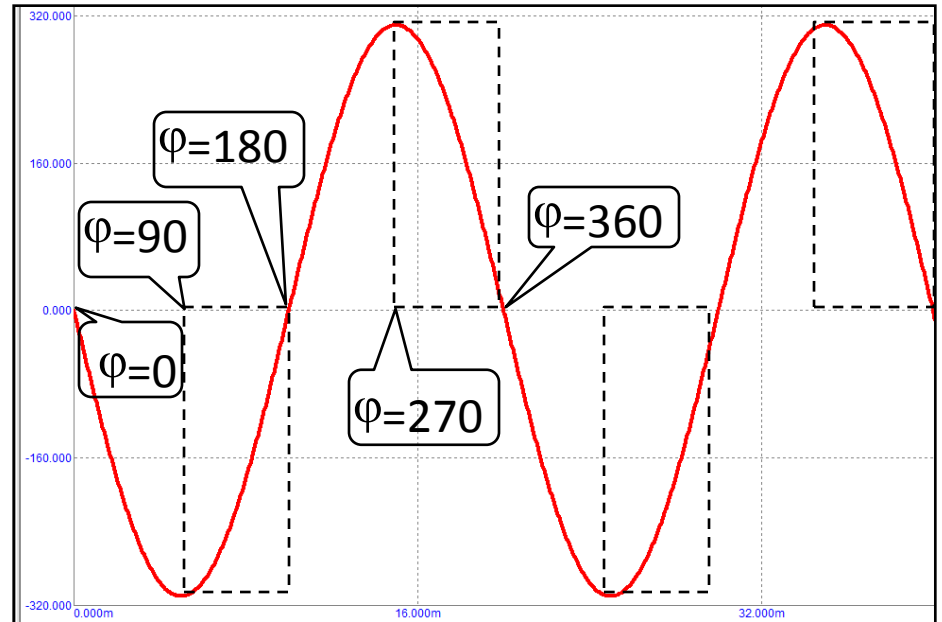


Рисунок 1 – Форма напряжения питающей сети, с выделенными зонами работы тиристорного регулятора

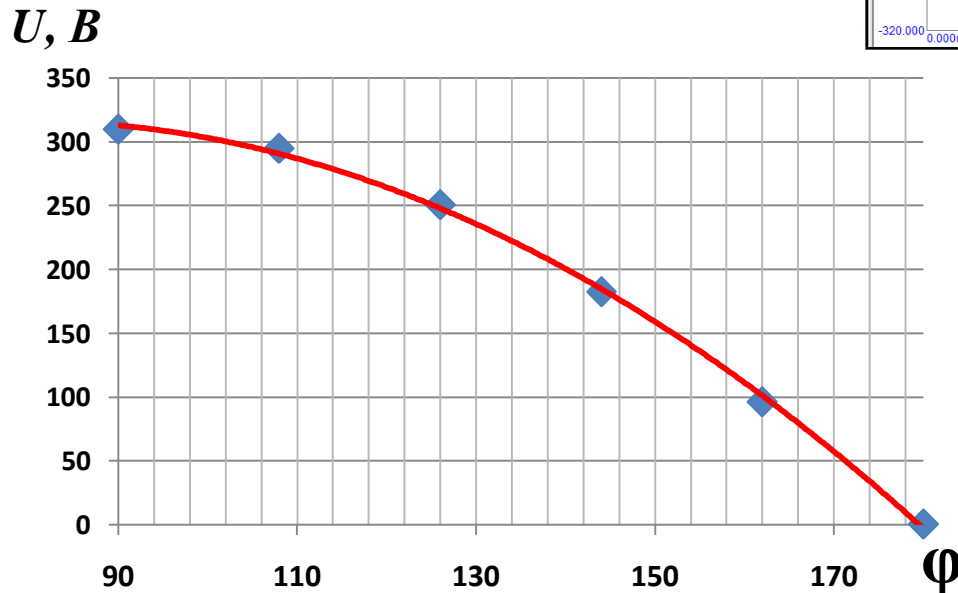
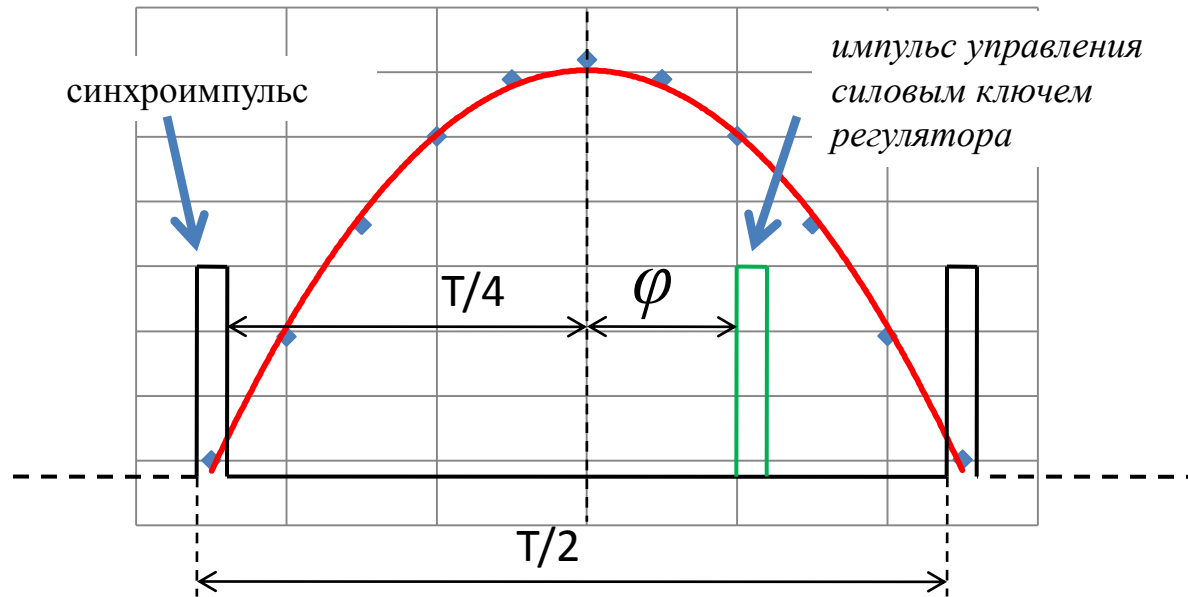


Рисунок 2 – Зависимость выходного напряжения регулятора от фазы отпирания тиристорного ключа

Характерные временные интервалы работы тиристорного регулятора



T – период сетевого
переменного напряжения

Алгоритм управления однофазным тиристорным регулятором



Эпюры напряжений, токов и управляющих сигналов однофазного тиристорного регулятора

■ Форма тока потребляемого из электрической сети

■ Форма напряжения после диодного моста

■ Напряжение на выходы регулятора

■ Импульсы управления тиристорным ключем

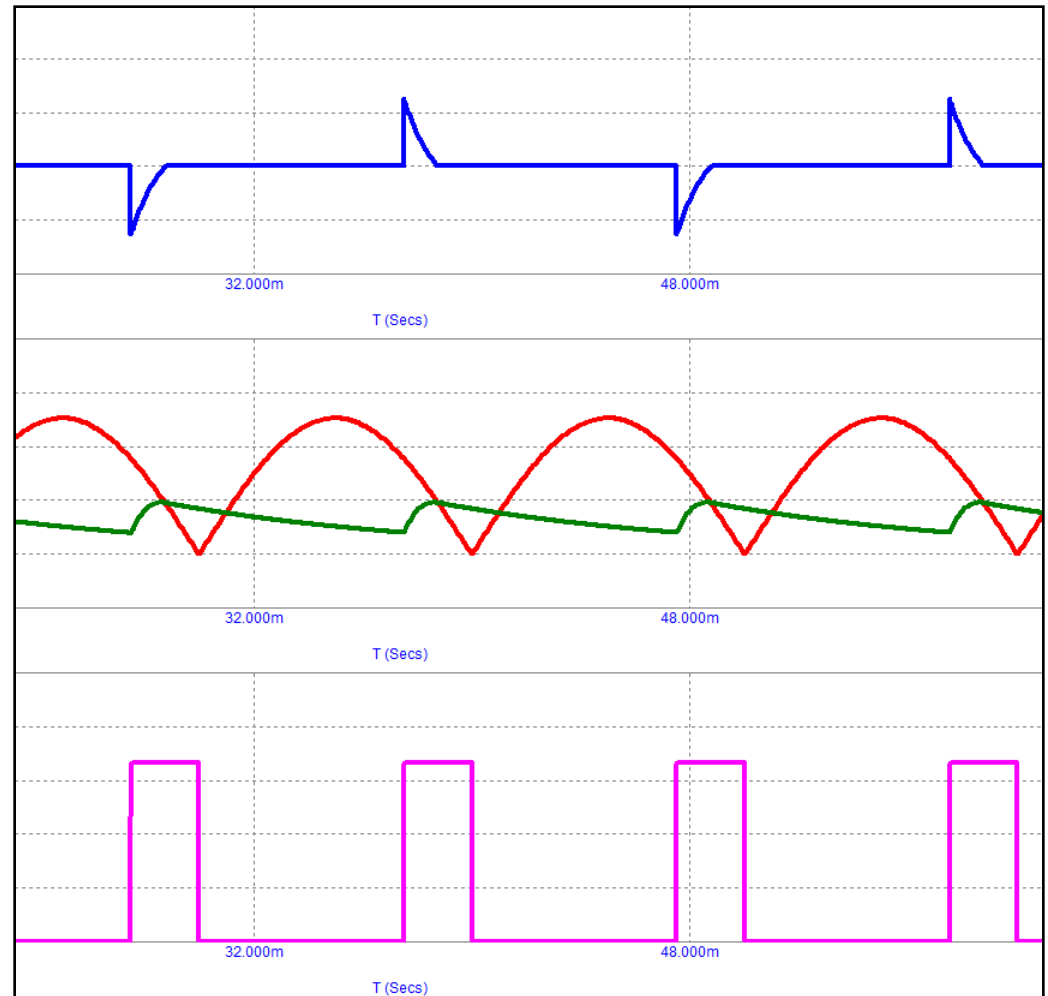
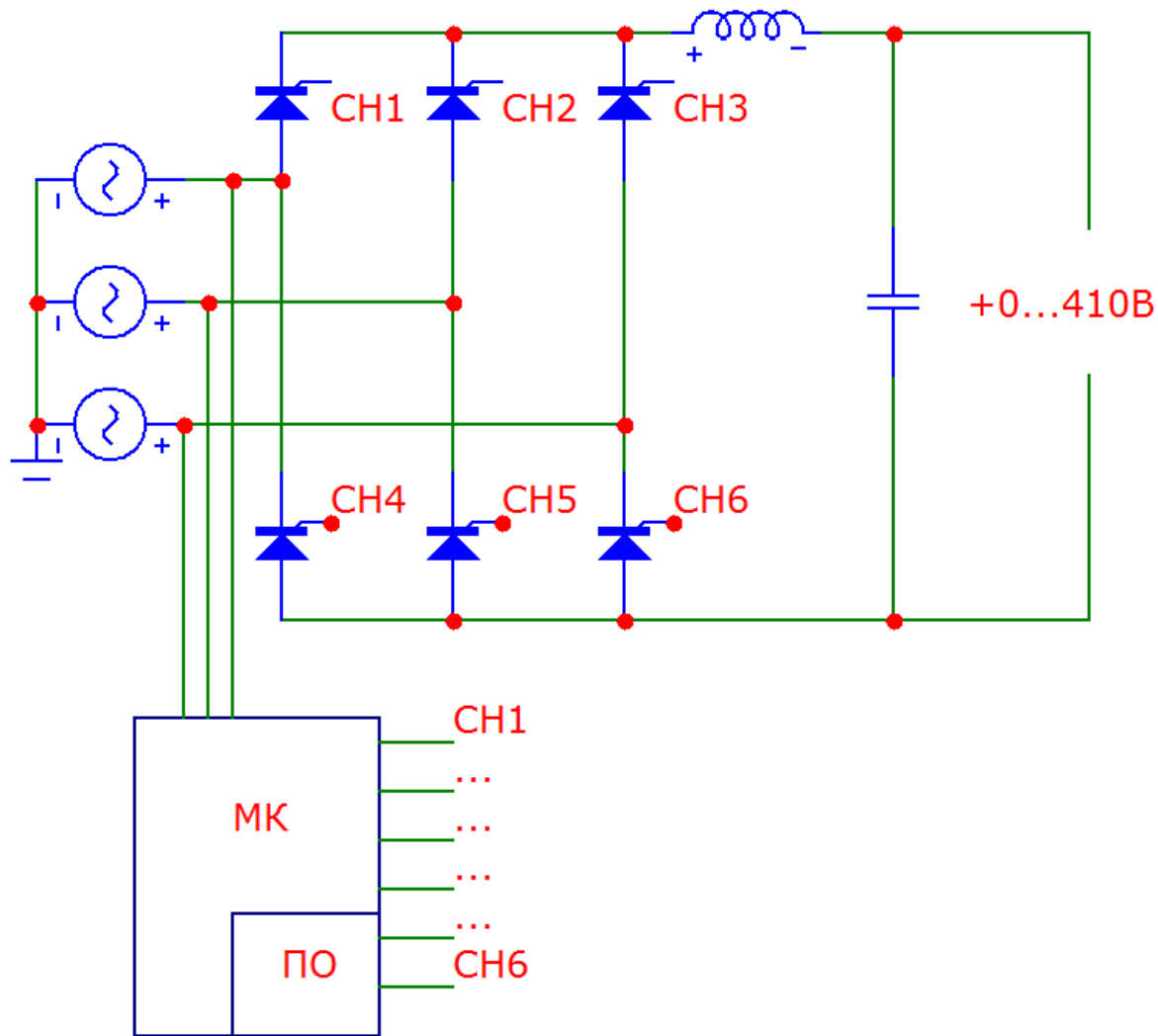


Схема трехфазного тиристорного регулятора мощности



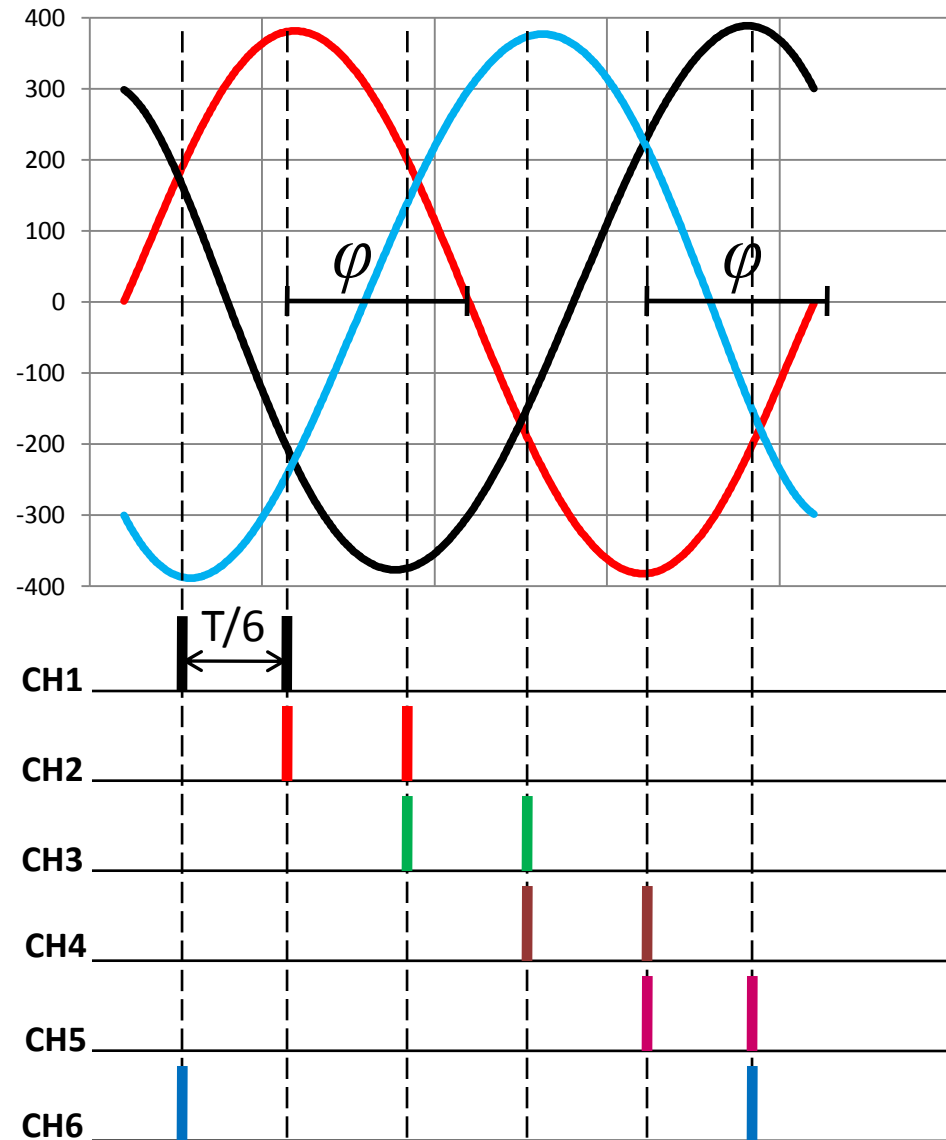
CH1...CH6 – каналы управления тиристорными ключами;
МК – микроконтроллер;
ПО – программное обеспечение;

Характерные временные интервалы работы 3-х фазного тиристорного регулятора

Диапазон изменения
фазы управляющих
импульсов:

$$\varphi = 90 \dots 180; \varphi = 270 \dots 360$$

T – период сетевого
переменного
напряжения



Эпюры напряжений, токов и управляющих сигналов 3-х фазного тиристорного регулятора



Диаграммы
выпрямленного
напряжения по фазам
ABC.



Напряжение на
нагрузке.



Потребляемый
ток по фазам ABC

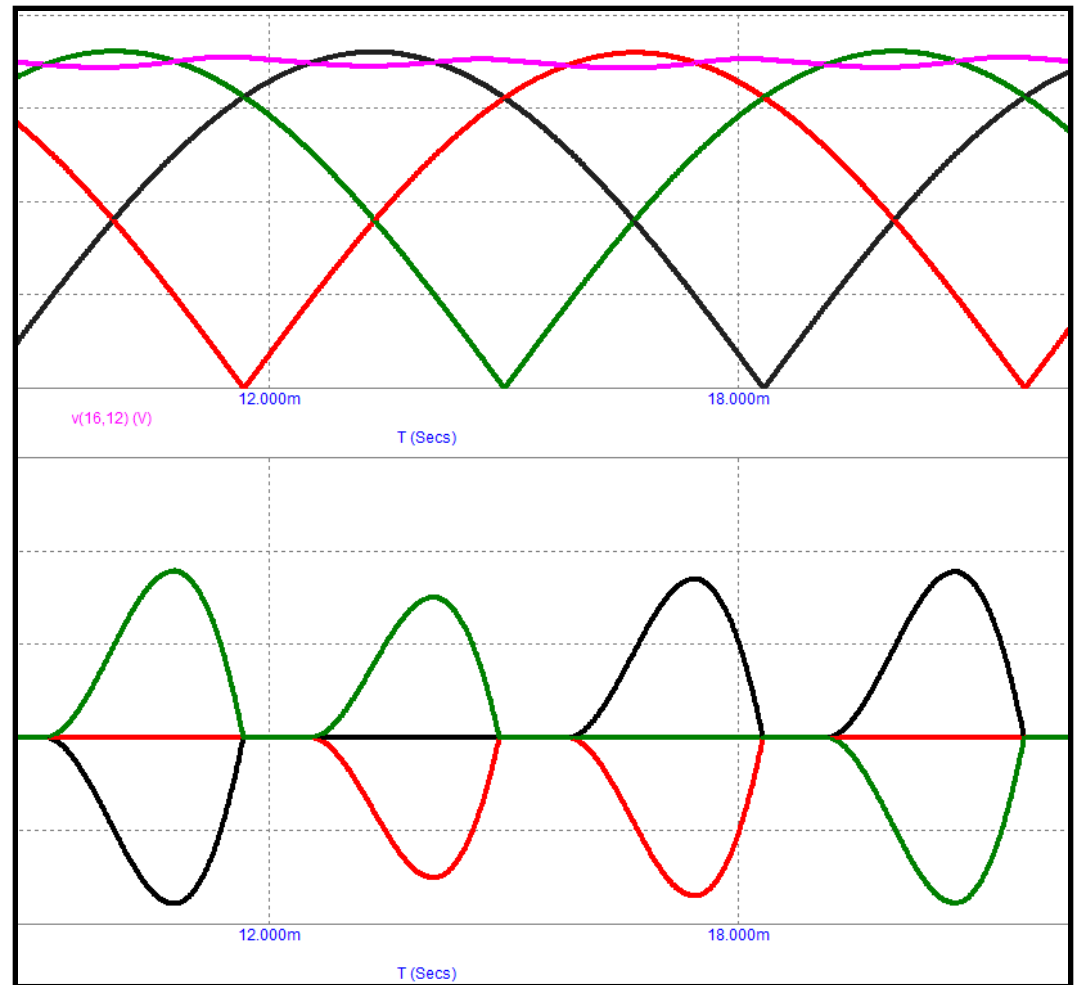
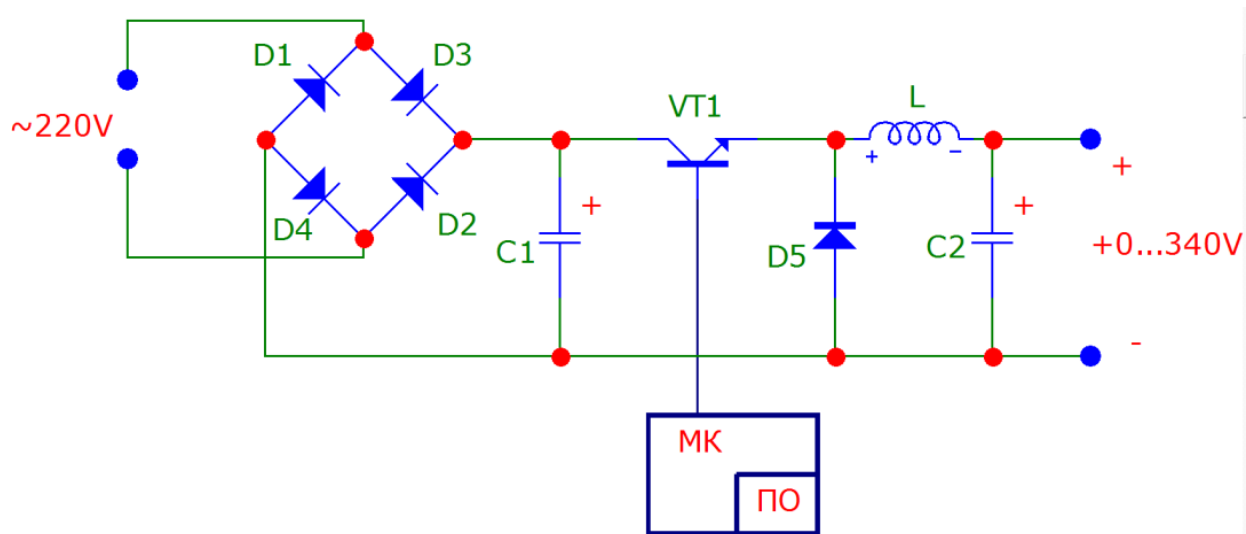


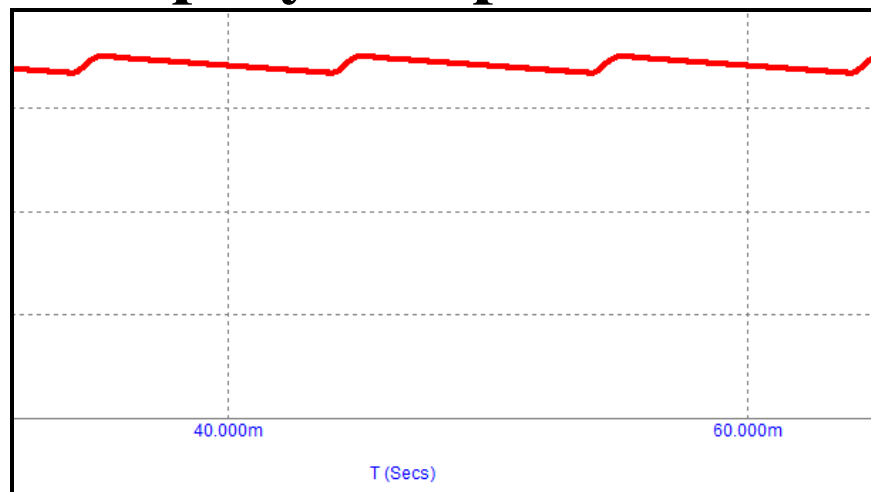
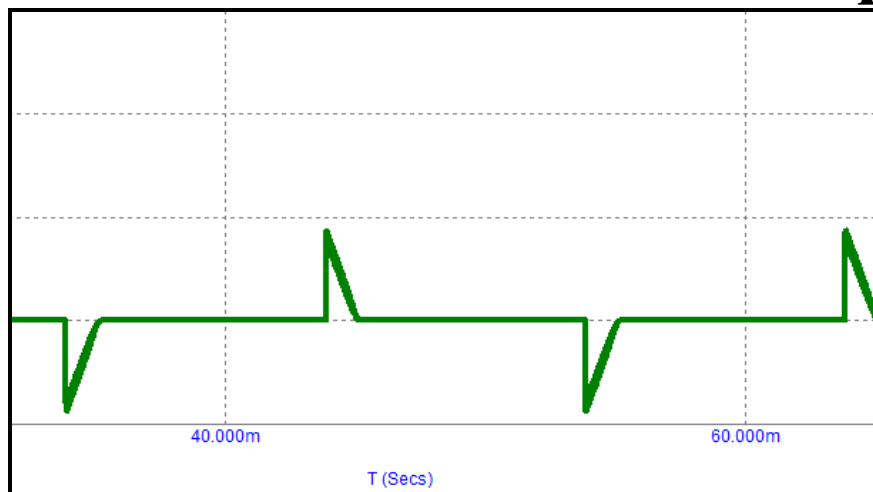
Схема чопперного регулятора мощности






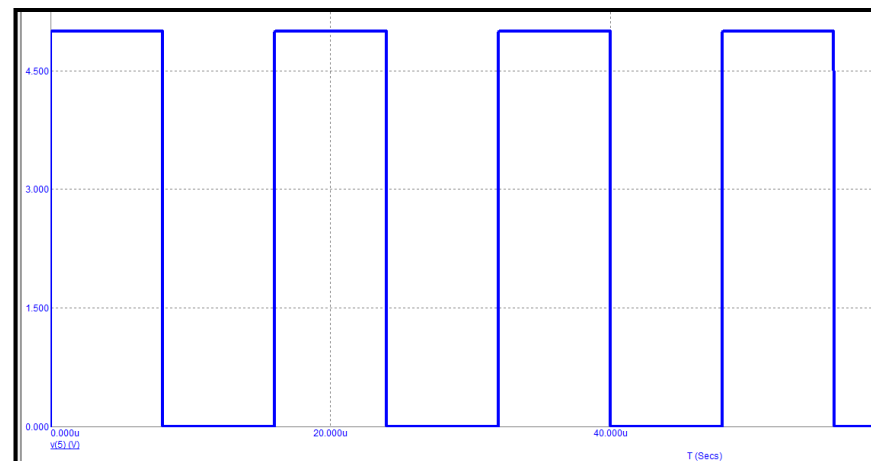
МК – микроконтроллер;

ПО – программное обеспечение;

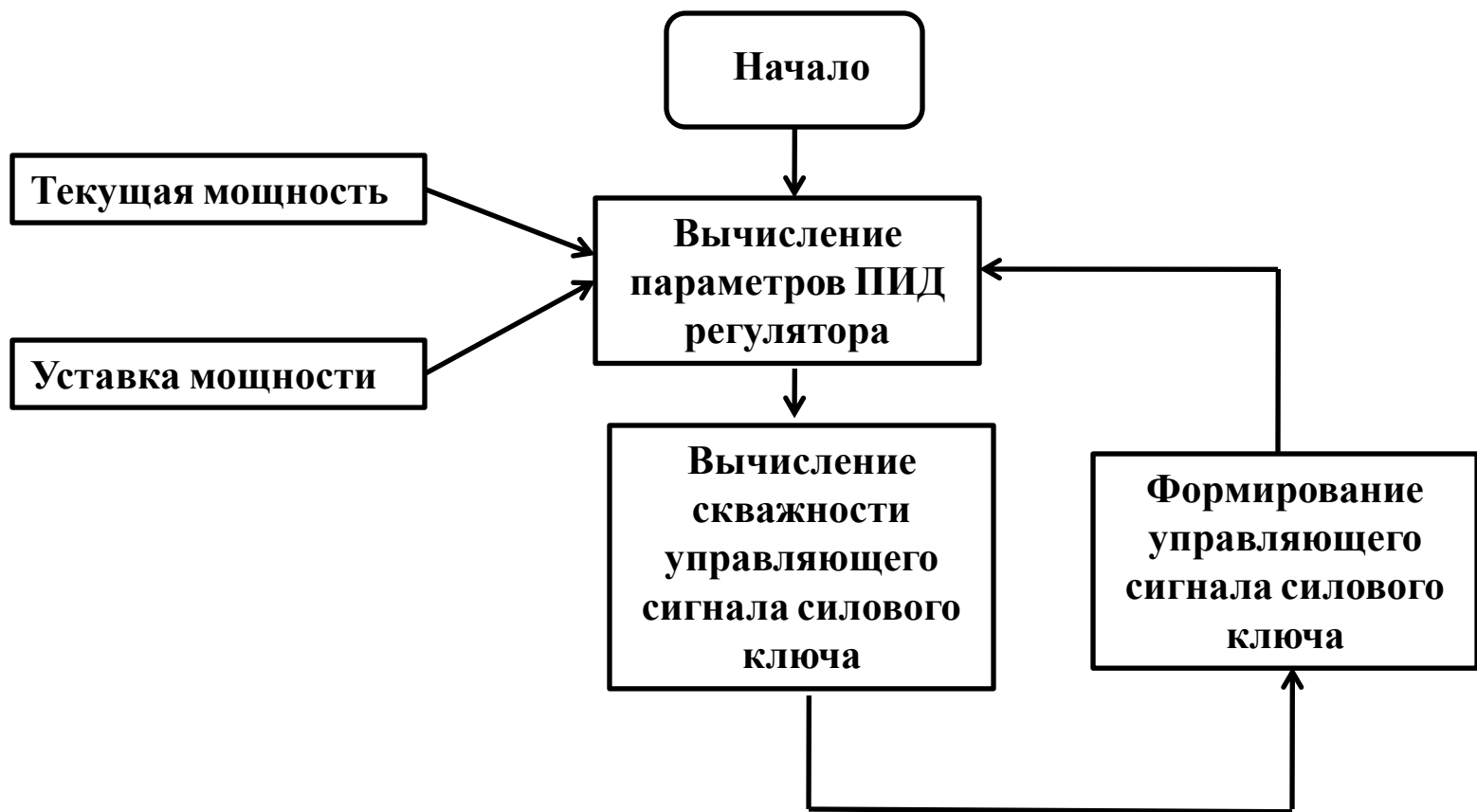
Эпюры напряжений, токов и управляющих сигналов чопперного регулятора



-  - потребляемый из электрической сети ток (пульсации 50 Гц);
-  - напряжение на нагрузке (пульсации 50 Гц);
-  - импульсы управления силовым ключом чоппера (~60 кГц).



Алгоритм управления чопперным регулятором

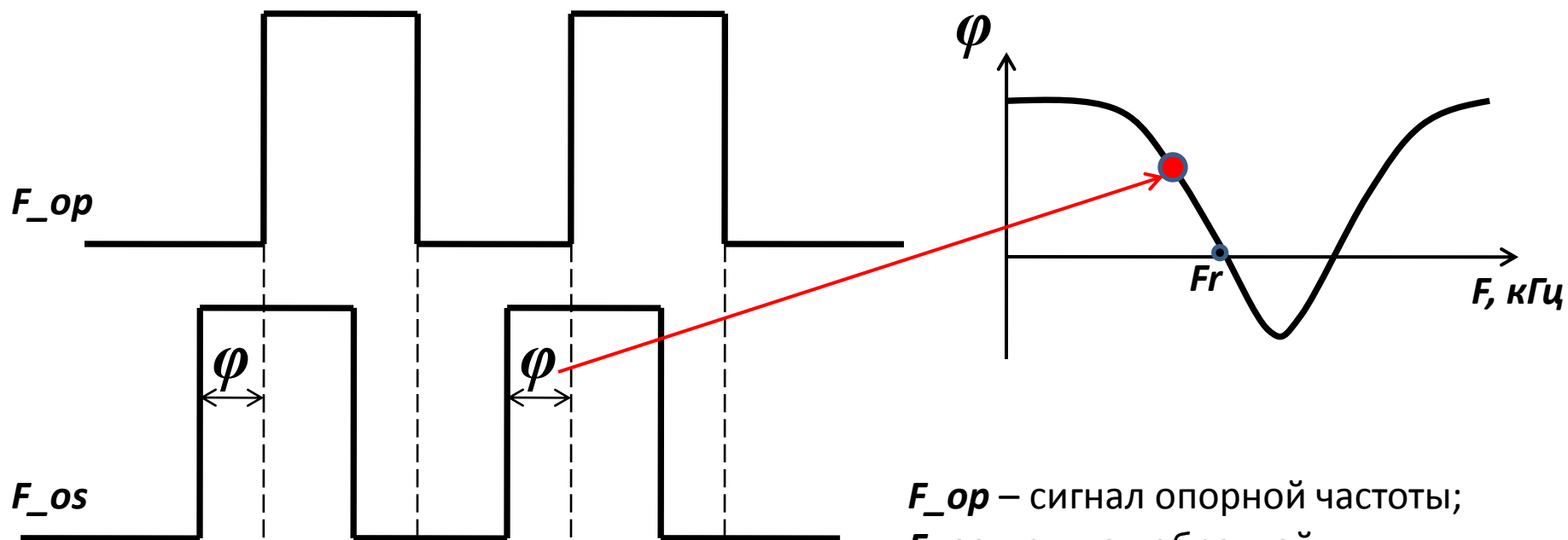


Управление частотой УЗ генераторов

Принцип: фазовая автоматическая подстройка частоты электронного генератора.

Критерий настройки на резонанс: равенство нулю (или определенному значению) сдвига фаз между сигналом опорного генератора F_{op} и сигналом обратной связи F_{os} (током, протекающий через пьезопреобразователь УЗ излучателя).

Фазовые соотношения сигналов обратной связи и опорной частоты в процессе работы системы ФАПЧ.



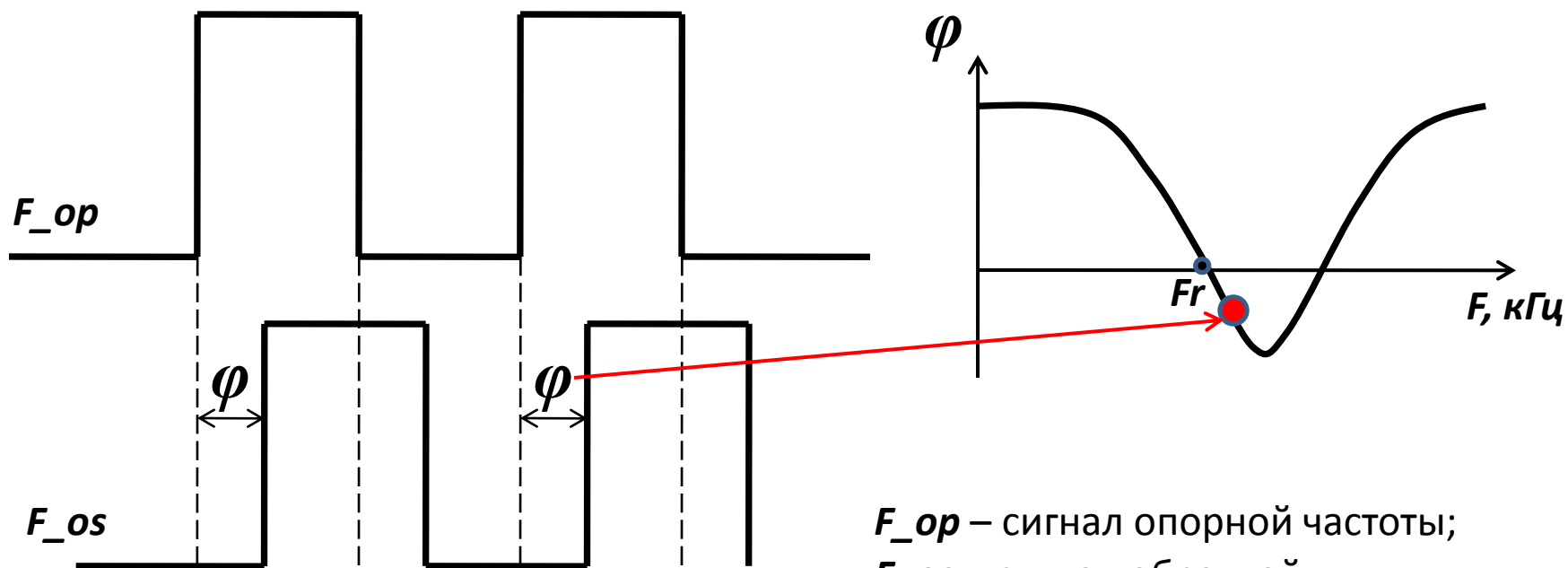
**Частота задающего генератора
ниже резонансной частоты УЗ
излучателя.**

F_{op} – сигнал опорной частоты;
 F_{os} – сигнал обратной
связи;

Fr – резонансная частота;

φ – сдвиг фаз между сигналами
опорной частоты и обратной
связи.

Фазовые соотношения сигналов обратной связи и опорной частоты в процессе работы системы ФАПЧ.



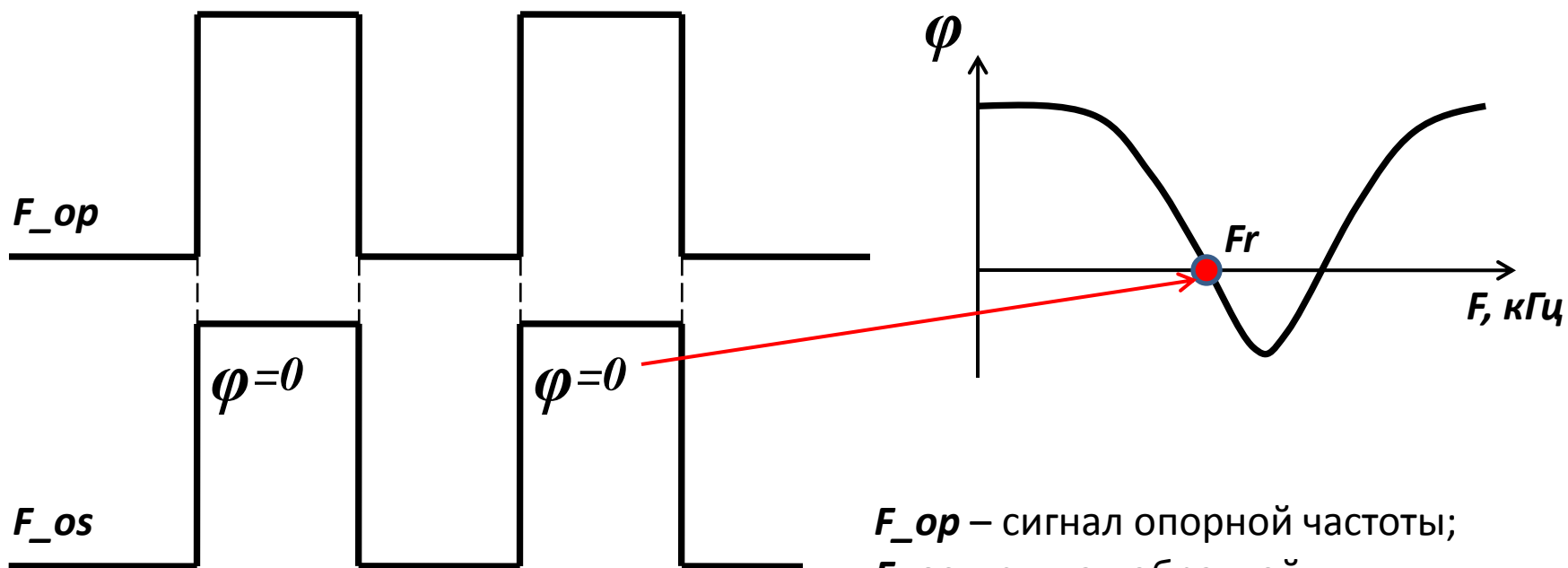
Частота задающего генератора **выше** резонансной частоты УЗ излучателя.

F_{op} – сигнал опорной частоты;
 F_{os} – сигнал обратной связи;

Fr – резонансная частота;

φ – сдвиг фаз между сигналами опорной частоты и обратной связи.

Фазовые соотношения сигналов обратной связи и опорной частоты в процессе работы системы ФАПЧ.



Частота задающего генератора **равна** резонансной частоте УЗ излучателя.

F_{op} – сигнал опорной частоты;
 F_{os} – сигнал обратной связи;

Fr – резонансная частота;

φ – сдвиг фаз между сигналами опорной частоты и обратной связи.

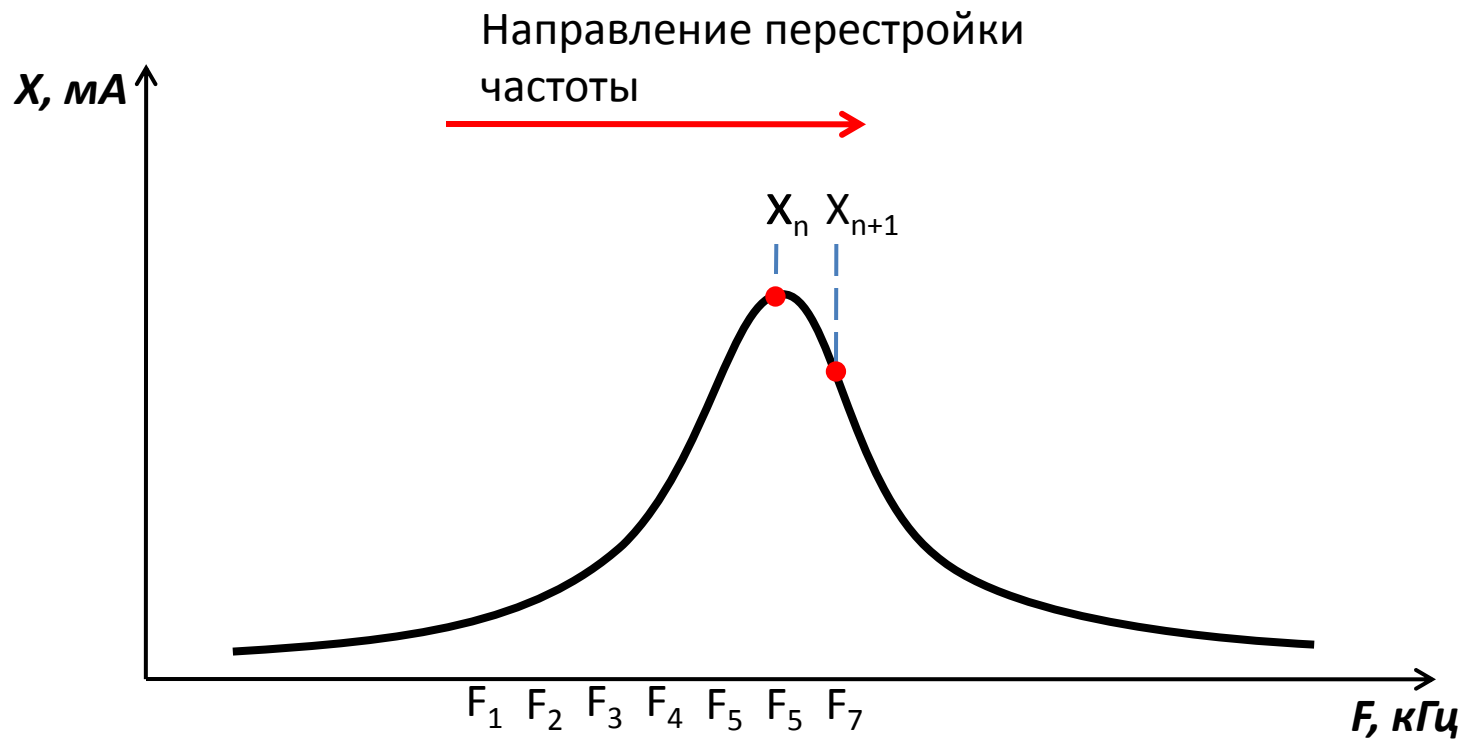
Обеспечение оптимальных режимов работы генератора

- 1. Поиск резонансной частоты УЗ излучателя для обеспечения оптимального воздействия
- 2. Восстановление резонансного режима работы. Перенастройки и перезапуски
- 3. Формирование сигналов для контроля работы аппаратов.

Принципы поиска резонансной частоты УЗ излучателя

- По **максимальному значению** амплитудно-частотной характеристики УЗ излучателя.
- По **максимуму** амплитудно-частотной характеристики УЗ излучателя.

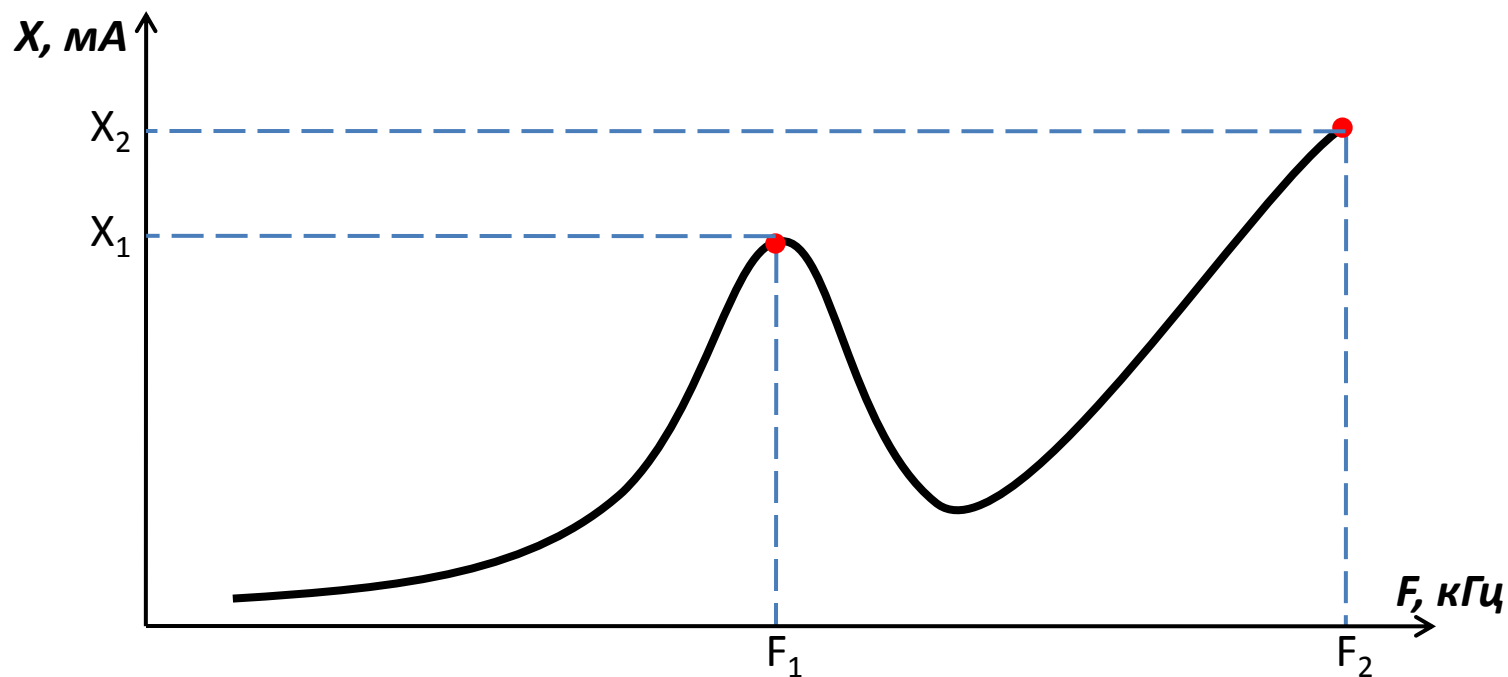
Алгоритм поиска резонансной частоты УЗ излучателя (поиск максимального значения)



Шаг перестройки по частоте: $dF = F_{n+1} - F_n$

Условие нахождения резонанса: $X_{n+1} < X_n$

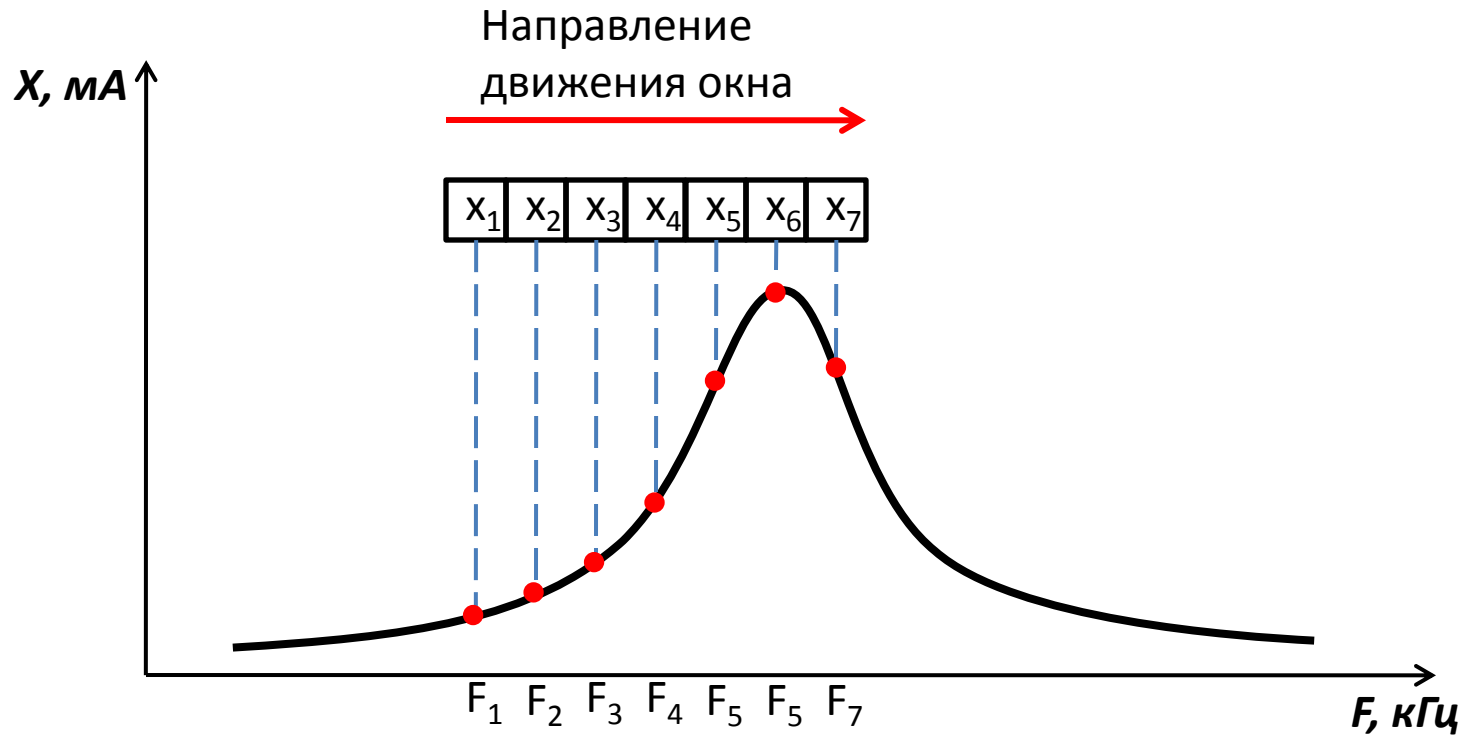
Недостатки алгоритма поиска резонансной частоты УЗ излучателя по максимальному значению АЧХ



F_1 - частота, соответствующая максимуму функции (резонансная частота);

F_2 - частота, соответствующая максимальному значению функции.

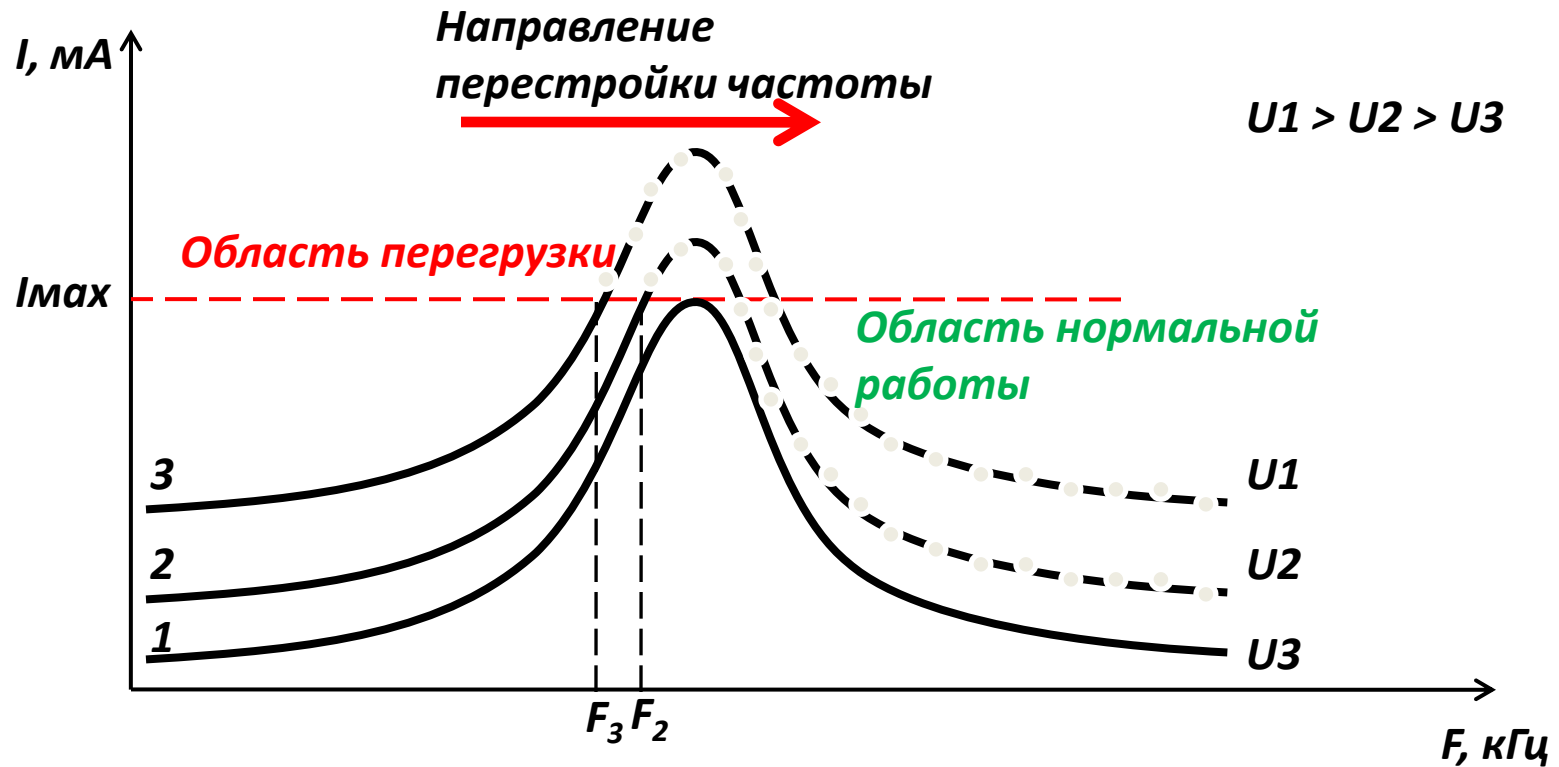
Алгоритм поиска резонансной частоты УЗ излучателя (поиск максимума)



Шаг перестройки по частоте: $dF = F_{n+1} - F_n$

Условие нахождения резонанса: $x_1 < x_2 < x_3 < x_4 > x_5 > x_6 > x_7$

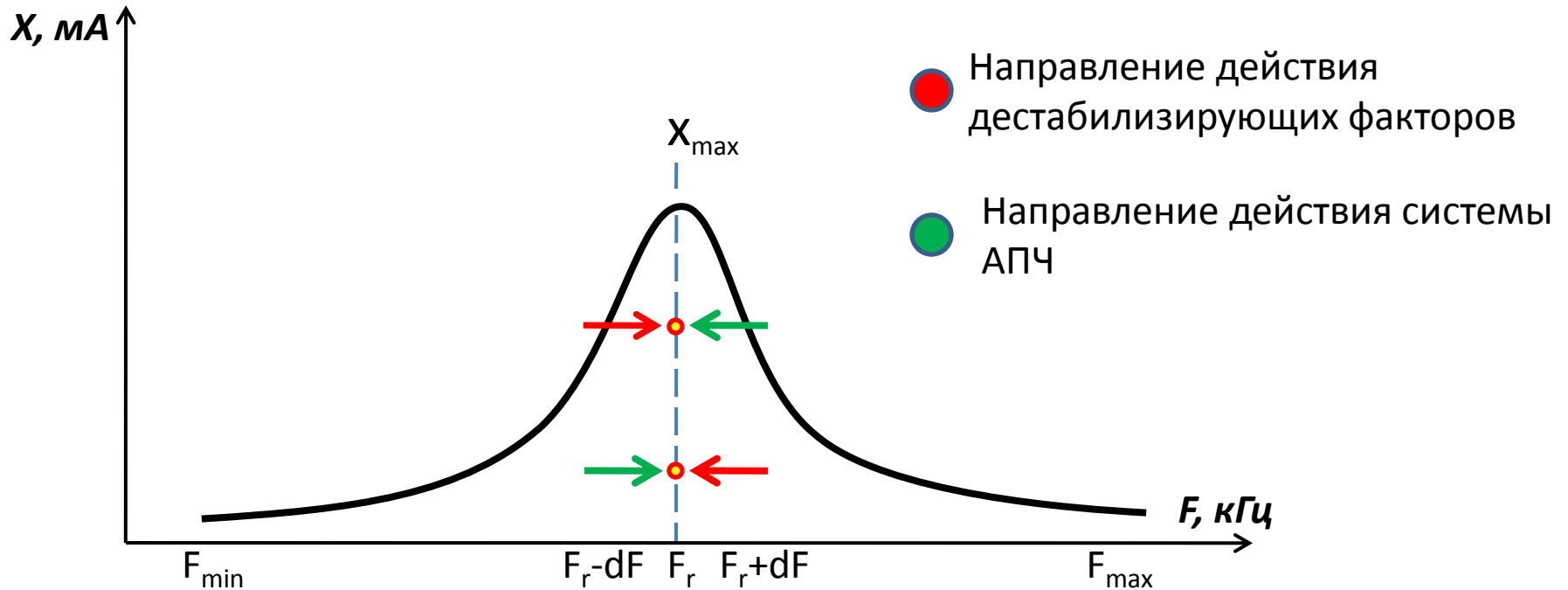
Особенности получения частотных характеристик УЗКС для определения резонансной частоты



- 1 – частотная характеристика без «перегрузки»;
- 2,3 – частотные характеристики с «перегрузкой»;
- F_2, F_3 – частоты, при которых получение АЧХ 2 и АЧХ 3 останавливается;
- $U1, U2, U3$ – напряжения при которых определяются частотные характеристики 1, 2 и 3 соответственно.

**Принципы определения «срывов»
резонансного режима работы УЗ
излучателя. Особенности «перезапуска»
электронного генератора при «срывах»
резонансного режима работы УЗ
излучателя.**

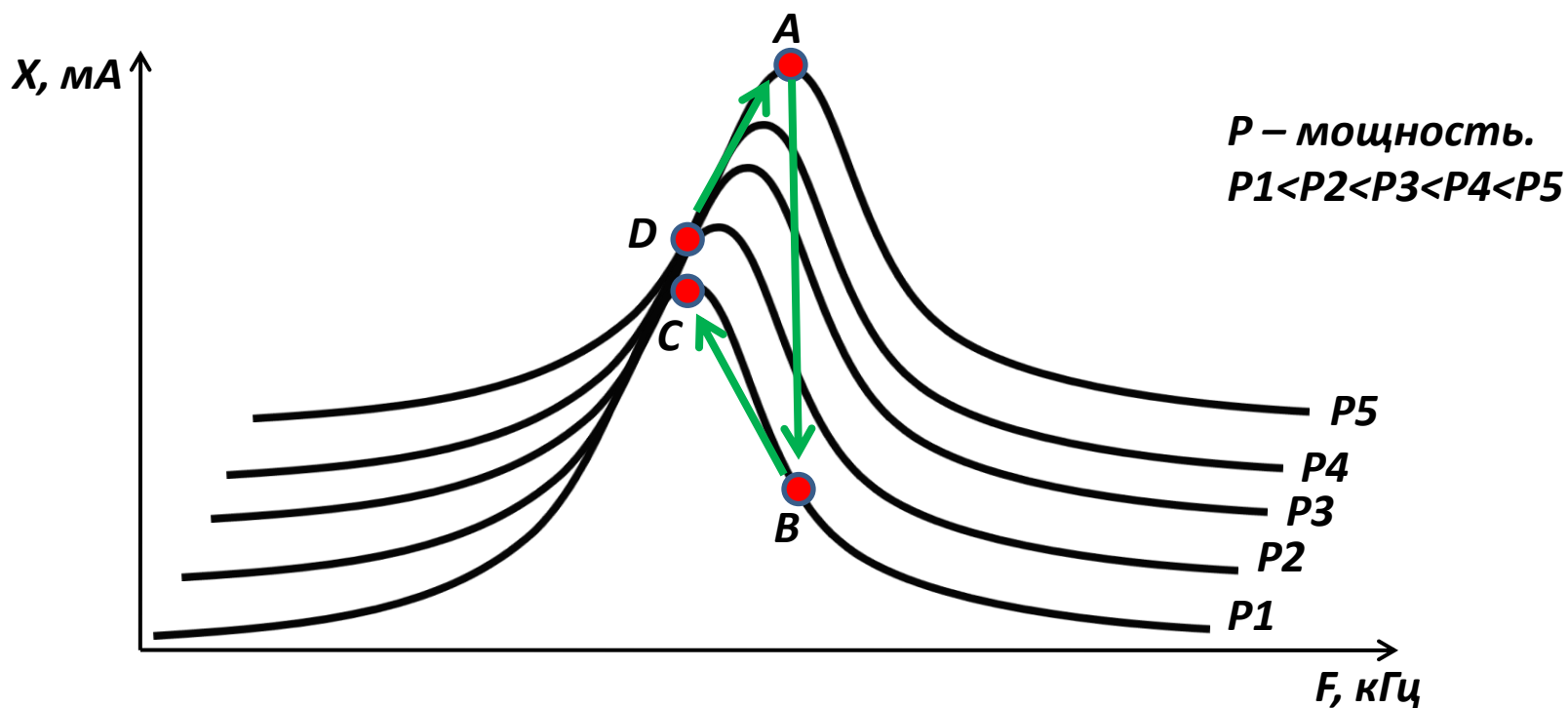
Способ определения «срывов» резонансного режима работы УЗКС



Условие «срыва» резонансного режима работы:

1. $F < F_{\text{min}}$ или $F > F_{\text{max}}$.
2. Задающий генератор в течении определенного интервала времени перестраивает частоту либо вверх, либо вниз по частоте.

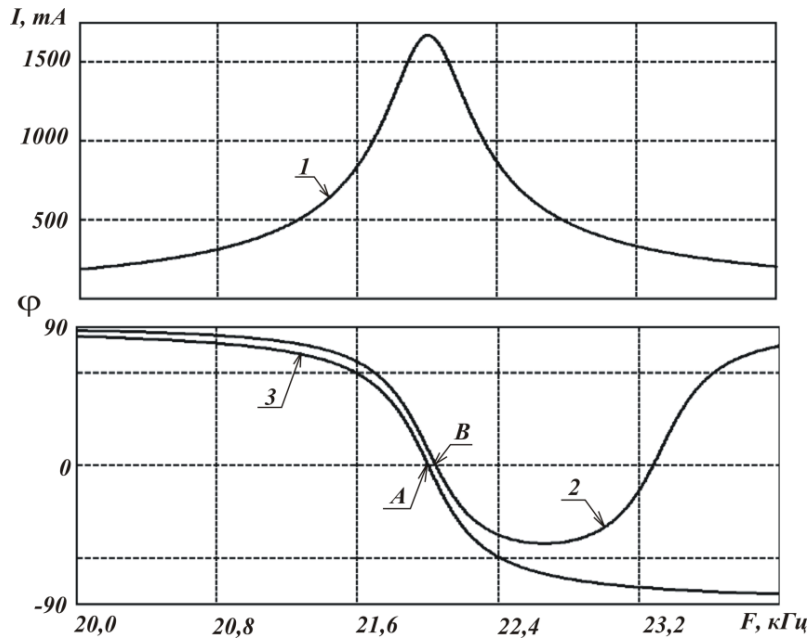
Особенности перезапуска УЗГ после «срыва» резонансного режима работы



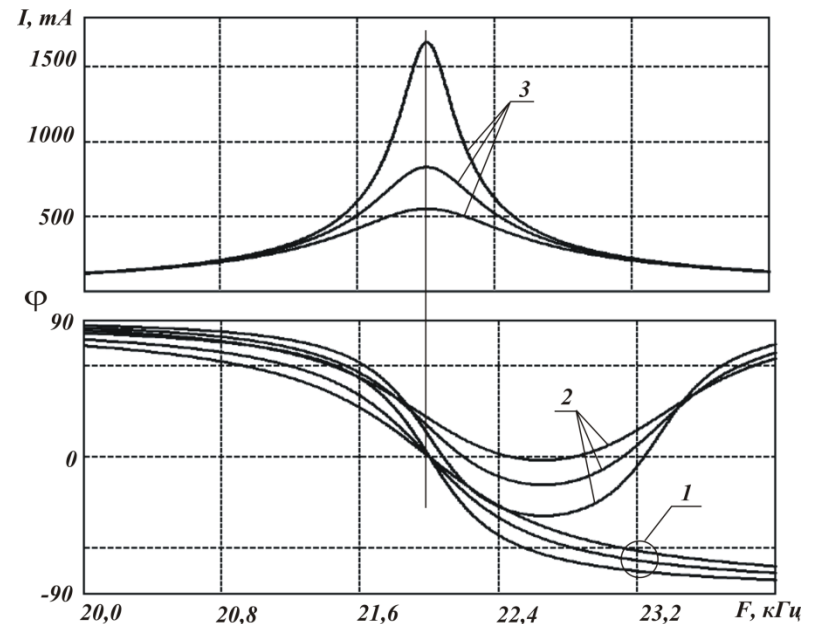
Семейство амплитудно-частотных характеристик, полученные для различных мощностей

**Принцип формирования сигналов
обратной связи для работы систем
управления мощностью
(амплитудой) и автоматической
подстройки частоты**

Частотные характеристики УЗ излучателя



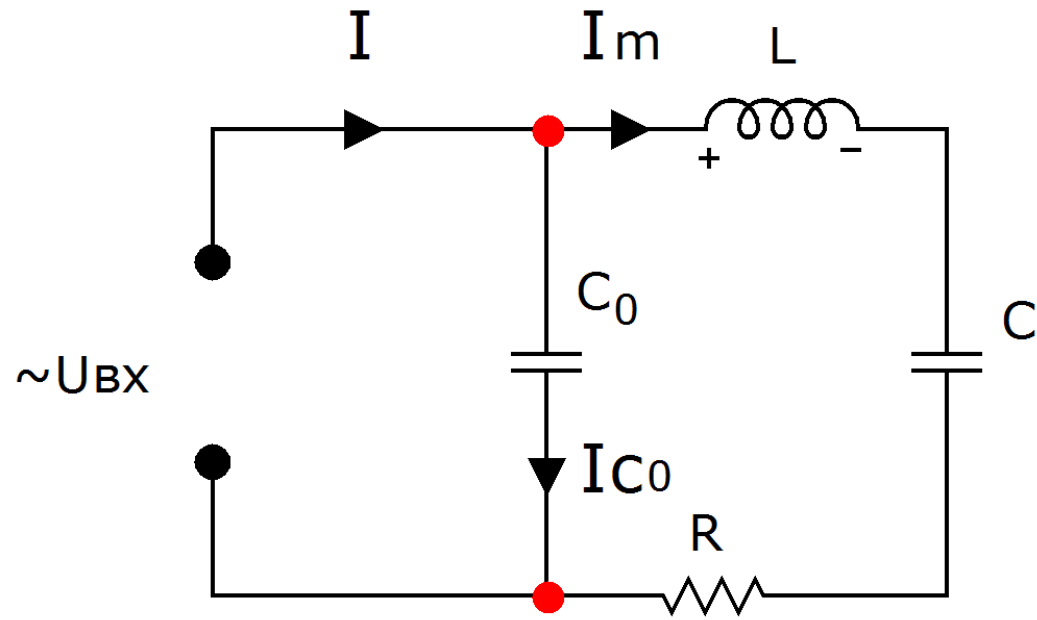
- 1 – АЧХ тока механической ветви колебательной системы;
- 2 – ФЧХ тока, потребляемого от генератора;
- 3 – ФЧХ тока механической ветви колебательной системы;
- А – точка перехода через нуль фазы тока механической ветви УЗКС;
- В – точка перехода через нуль фазы тока колебательной системы



Амплитудно-частотные и фазочастотные характеристики в зависимости от изменения акустической нагрузки

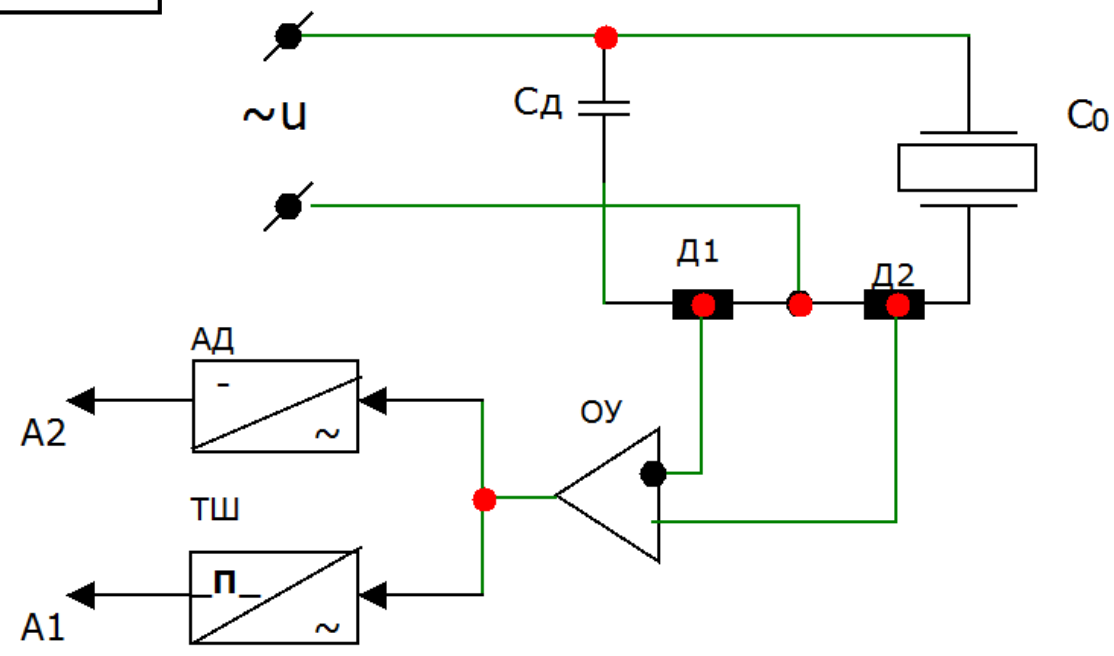
- 1 – ФЧХ тока механической ветви системы;
- 2 – ФЧХ тока, потребляемого от генератора;
- 3 – АЧХ тока, протекающего в механической ветви

Схема выделения тока механической ветви

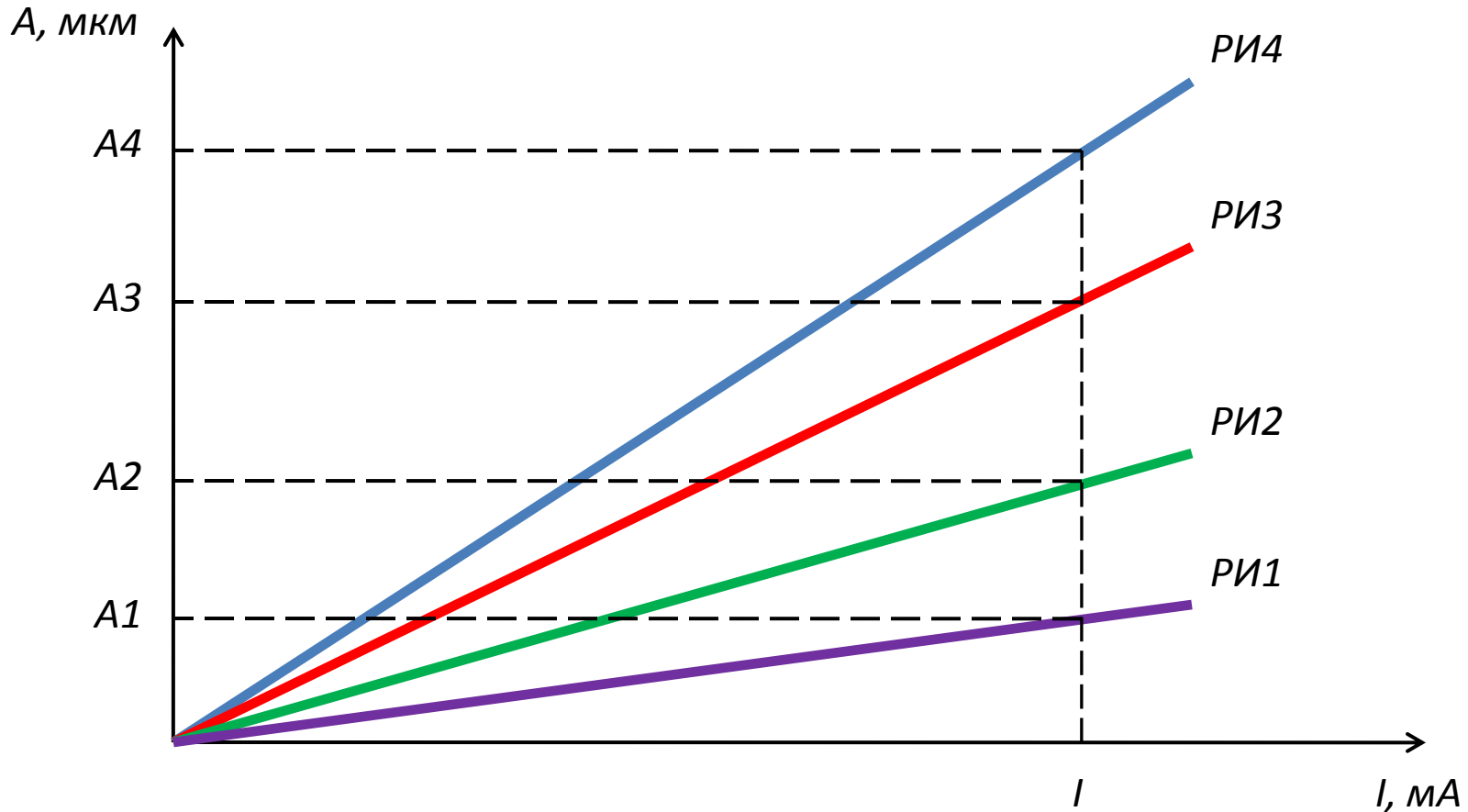


I – полный ток, потребляемый УЗ излучателем;
 I_m – ток механической ветви;
 I_{C_0} – емкостной ток.

АД – блок выделения амплитудного значения тока механической ветви;
ТШ – блок выделения прямоугольного сигнала частота и фаза которого соответствуют частоте и фазе тока механической ветви



Влияние сменных рабочих инструментов на взаимосвязь тока механической ветви с амплитудой механических колебаний



A – амплитуда механических колебаний;

I – ток механической ветви УЗКС;

РИ – сменный рабочий инструмент.