

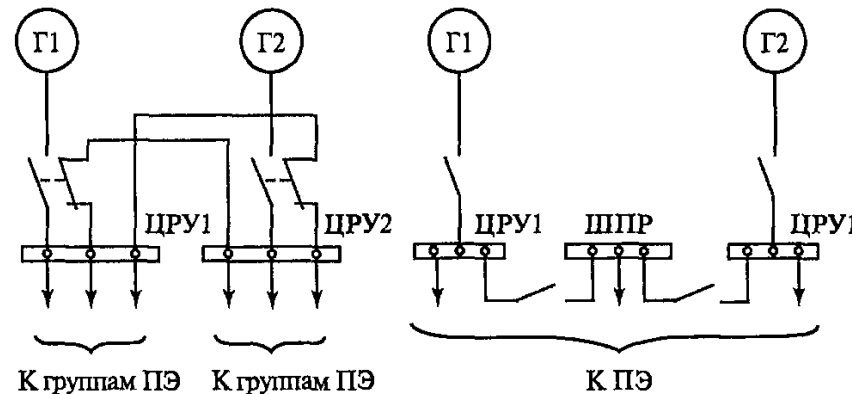
Параллельная работа авиационных генераторов

Маргацкая Елена Александровна

<http://model.exponenta.ru/MEA/>

Способы объединения каналов генерирования

1. Все каналы работают независимо друг от друга и обеспечивают свою группу потребителей – потребители разделяют по мощности на группы, которые связаны с центральным распределенным устройством соответствующего генератора
2. Параллельная работа генераторов – все магистральные генераторы и нагрузка связаны. ШПР – шина параллельной работы



Способы объединения каналов генерирования

«+» первого способа:

- Неравномерное распределение нагрузок не влияет на работу генератора
- Более легкий процесс подключения генератора и аварийные режимы

«-» первого способа:

- Установленная мощность СЭС может оказаться завышенной
- В случае отказа одного генератора переключение нагрузки на шины другого генератора происходит не мгновенно

Способы объединения каналов генерирования

«+» второго способа:

- Отсутствует проблема бесперебойного питания
- Проще обеспечить режим «пиковых» нагрузок
- Меньшее искажение кривой напряжения при нелинейной нагрузке
- Необходимый резерв мощности уменьшается, что уменьшает полетную массу СЭС

«-» второго способа:

- Установленная мощность зависит от равномерного распределения нагрузки между параллельно работающими генераторами.

Требования к параллельной работе

ИСТОЧНИКОВ

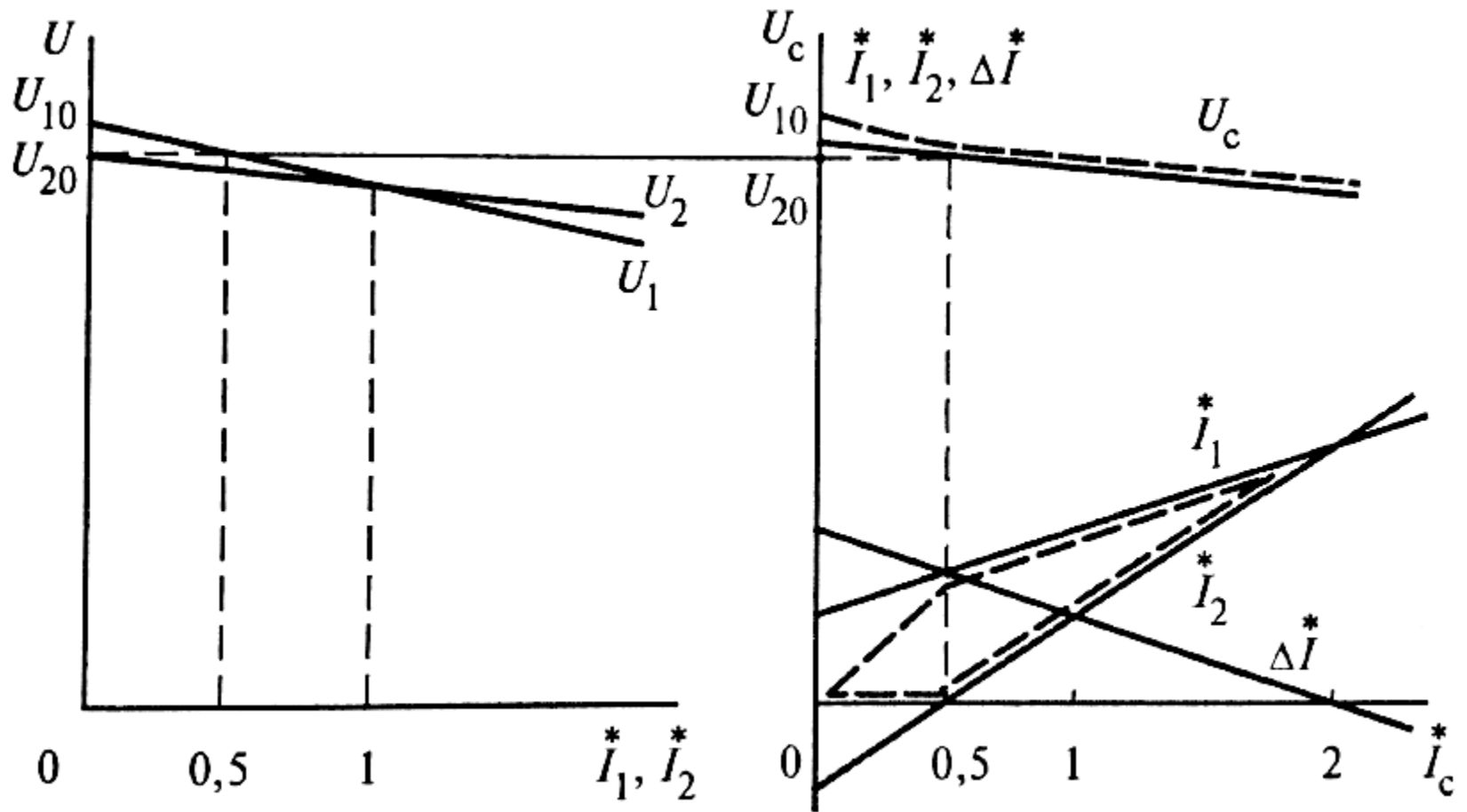
СЭС с параллельно работающими генераторами должны отвечать требованиям:

1. Высокой надежности и качества вырабатываемой энергии
2. Экономичности
3. Условия для параллельной работы генераторов постоянного тока:
 - Равенство напряжений
 - Одинаковая полярность в общих точках
 - Статичность внешних характеристик
4. Условия для параллельной работы генераторов переменного тока:
 - Равенство напряжений
 - Равенство частот
 - Равенство числа фаз
 - Одинаковый порядок следования фаз
 - Одинаковая форма кривой напряжения
 - Статичность внешних характеристик

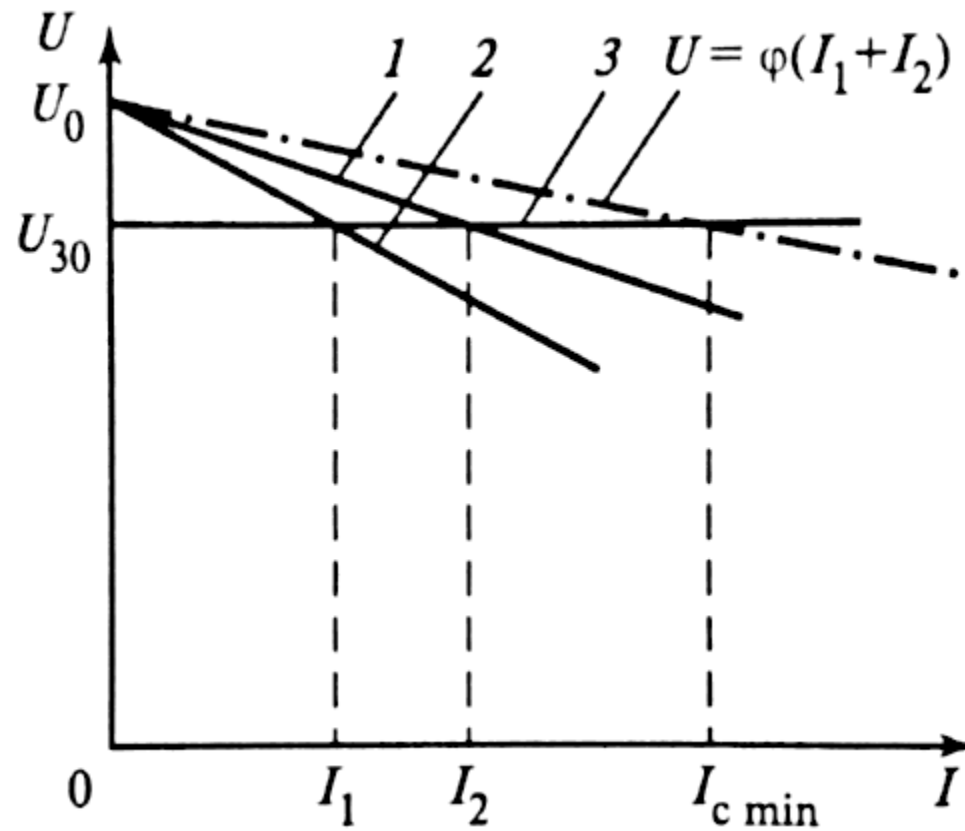
Методы параллельной работы генераторов

- Метод статических характеристик
- Метод астатической характеристики
- Метод ведущего генератора
- Метод мнимостатических характеристик
- Метод поочередной загрузки генераторов

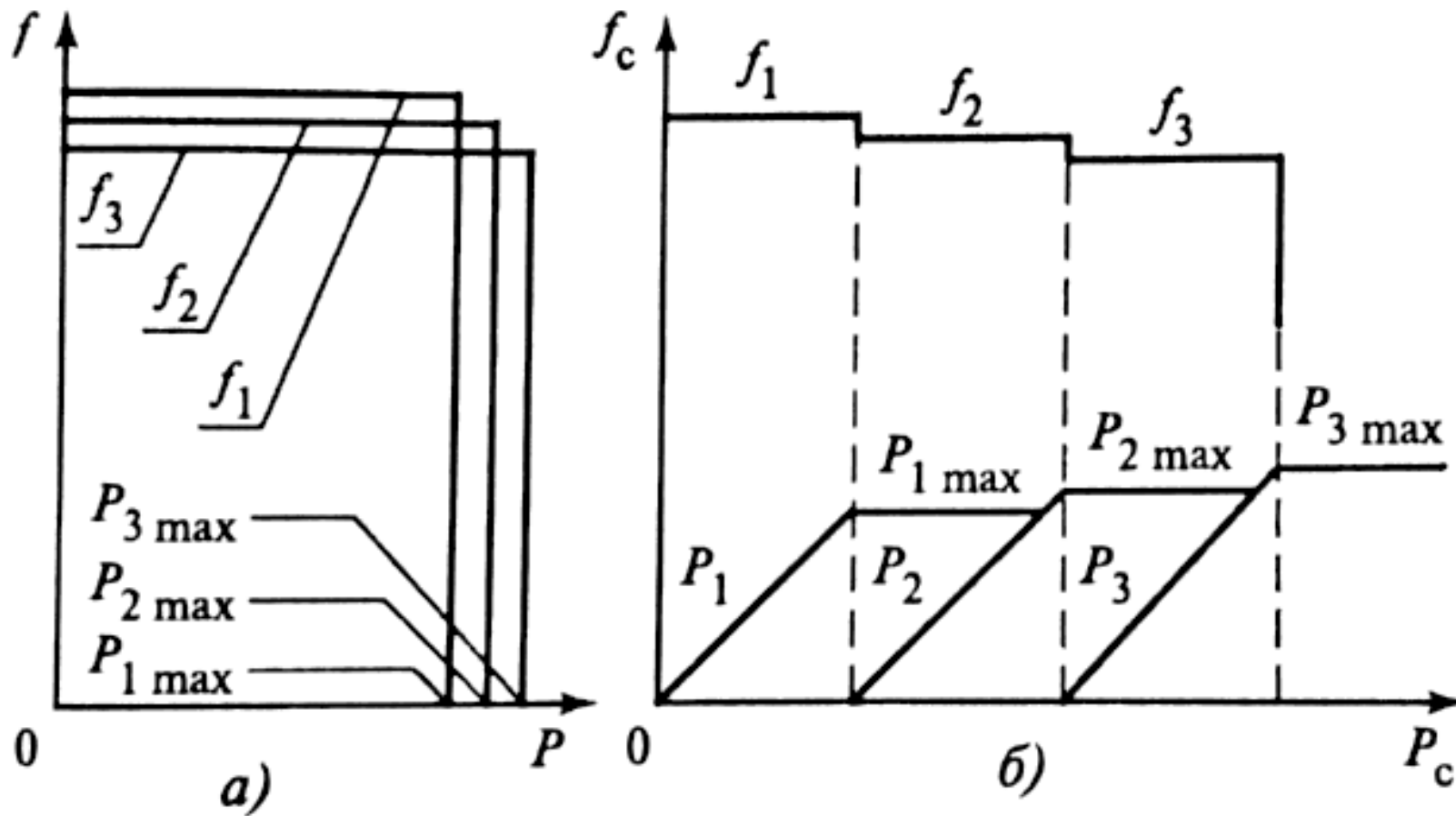
Метод статических характеристик



Метод астатической характеристики



Метод поочередной загрузки генераторов / векторных выпрямителей



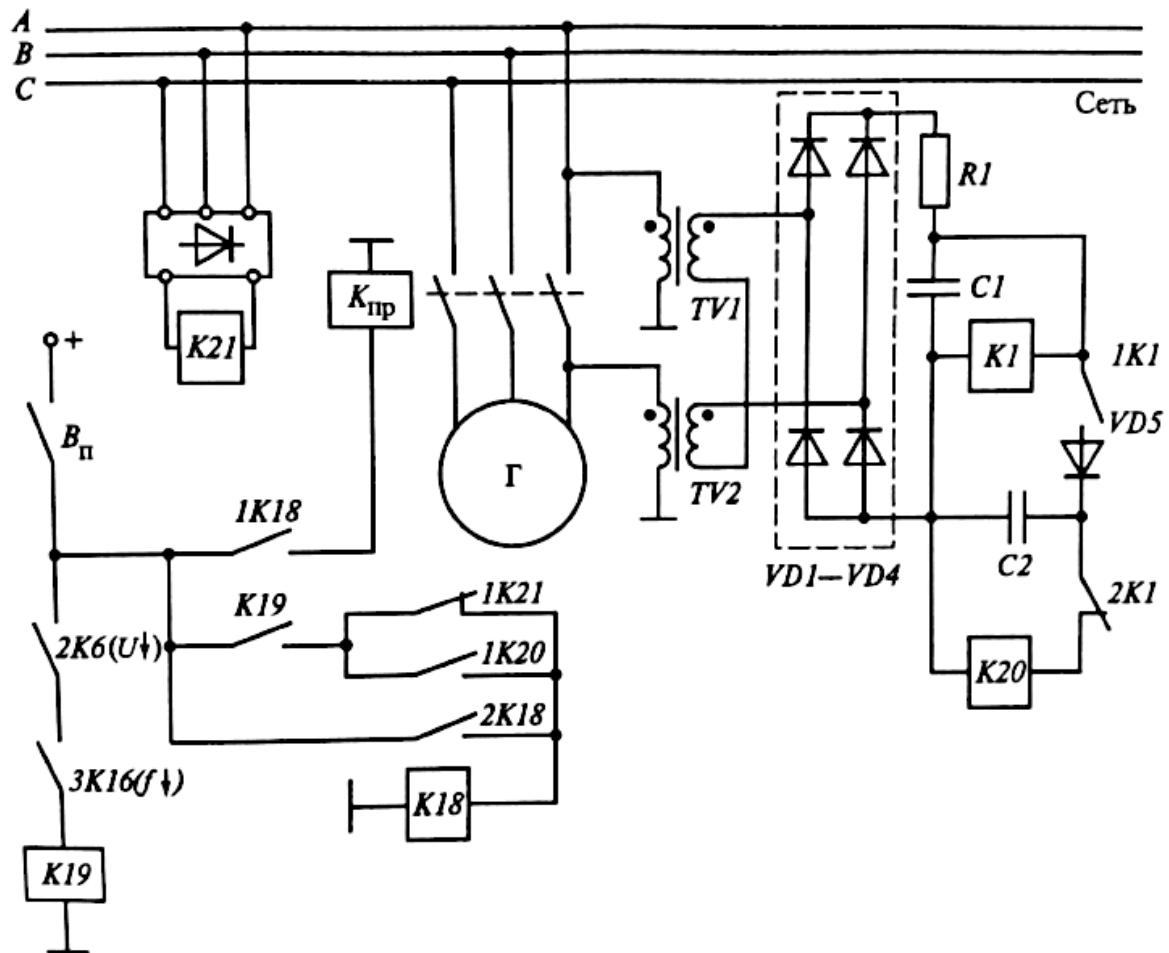
Включение генераторов на параллельную работу

Процесс подключения к сети осуществляется различными способами:

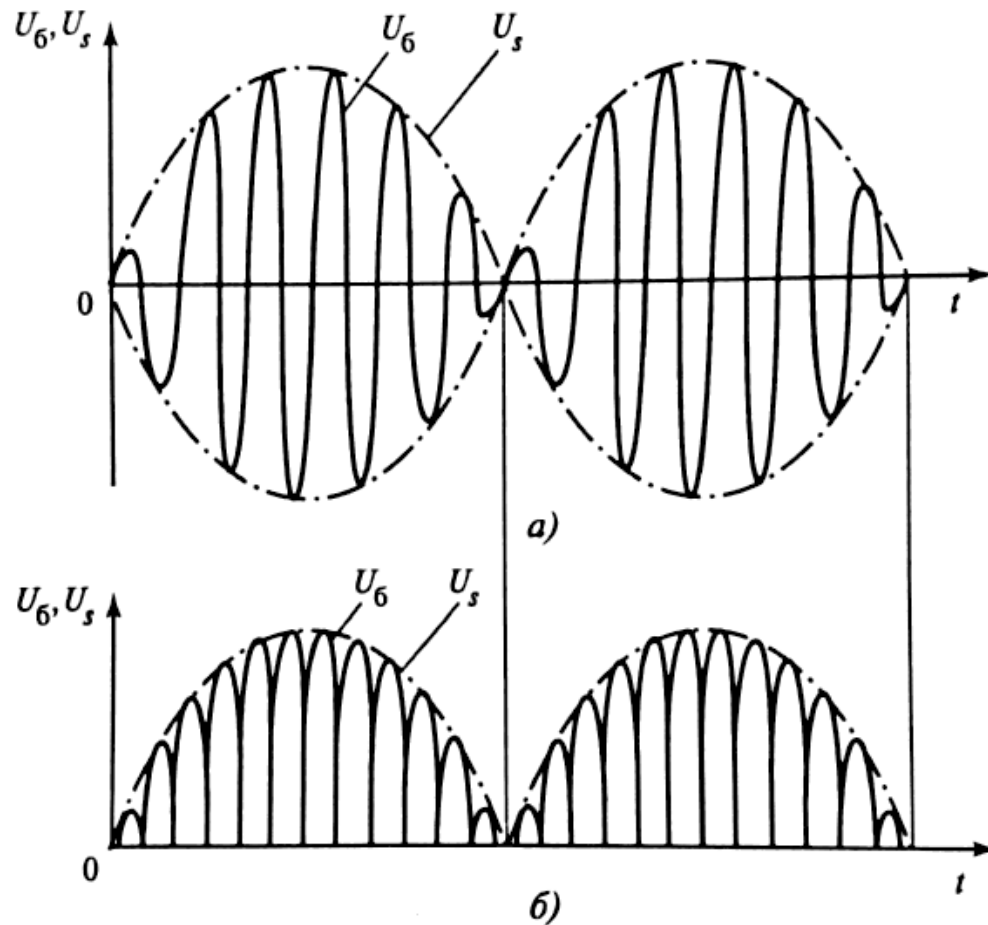
1. Самосинхронизация – частота вращения вала подключаемого генератора близка к синхронной, ОВ отключена от источника. После включения СГ на параллельную работу ОВ подключается к источнику, генератор втягивается в синхронизм.
2. Грубая синхронизация – канал генерирования с напряжением и частотой, близкими к номинальным, подключается к сети через дополнительный резистор. После втягивания в синхронизм резистор шунтируется
3. Точная синхронизация с помощью синхронизаторов – соблюдаются все условия синхронизации, обеспечивая минимальный уравнительный ток.

Пассивный синхронизатор

Пассивные синхронизаторы – не воздействуют на регуляторы, а ожидают момента совпадения фаз ЭДС и частот включаемых генераторов.



Момент совпадения фаз ЭДС и частот включаемых генераторов

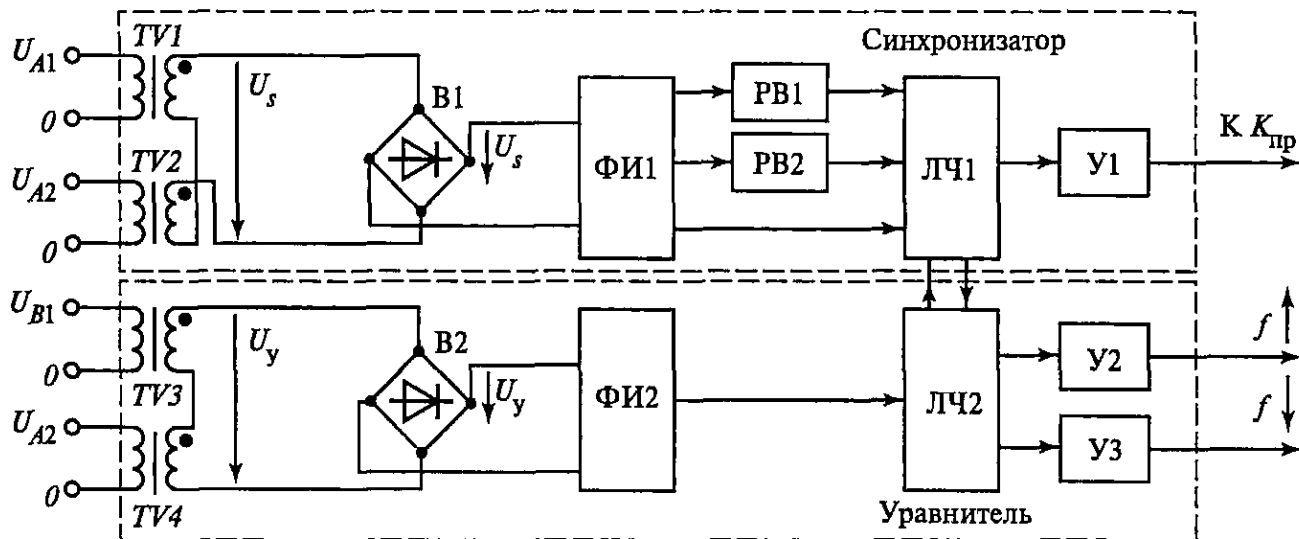


Активный синхронизатор

Активные синхронизаторы – воздействуют на РН и РЧ для выполнения условий синхронизации, затем выдают сигнал на включение генератора в сеть.

Синхронизирующая часть реагирует на разность напряжений одноименных фаз – на вход В1 подается

$$U_6 = U_{A1} - U_{A2} = U_{m1} \sin \omega_1 t - U_{m2} \sin \omega_2 t.$$



Активный синхронизатор

После выпрямления и фильтрации U_b подается на ФИ1, где сравнивается с эталонным значением.

В момент t_1 запускается реле РВ1 при $U_s < U_{эт}$, в момент t_2 запускается второе реле РВ2, если время его срабатывания не превышает допустимых значений, то срабатывает контактор на присоединение.

Если условия не выполняются, то включается уравниватель частот и воздействует на корректор регулятора частоты привода.

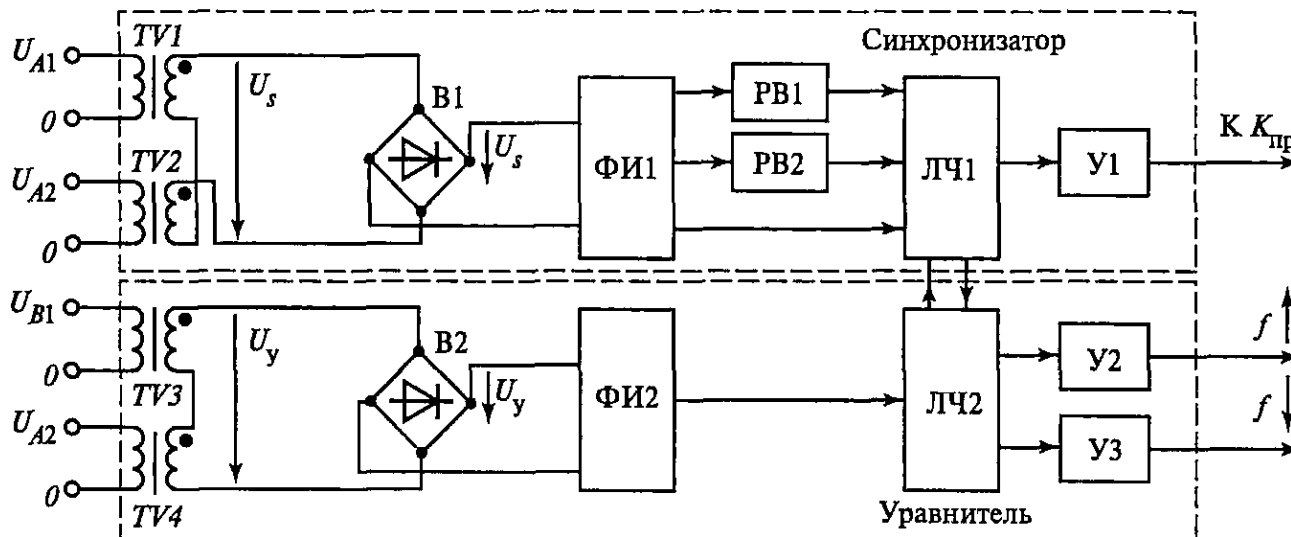
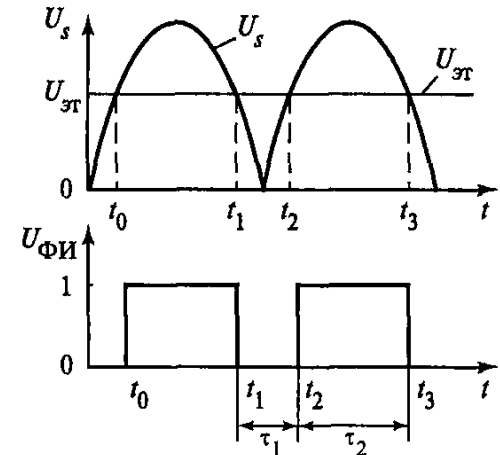


Схема уравнильных цепей и дифференциальных корректоров U

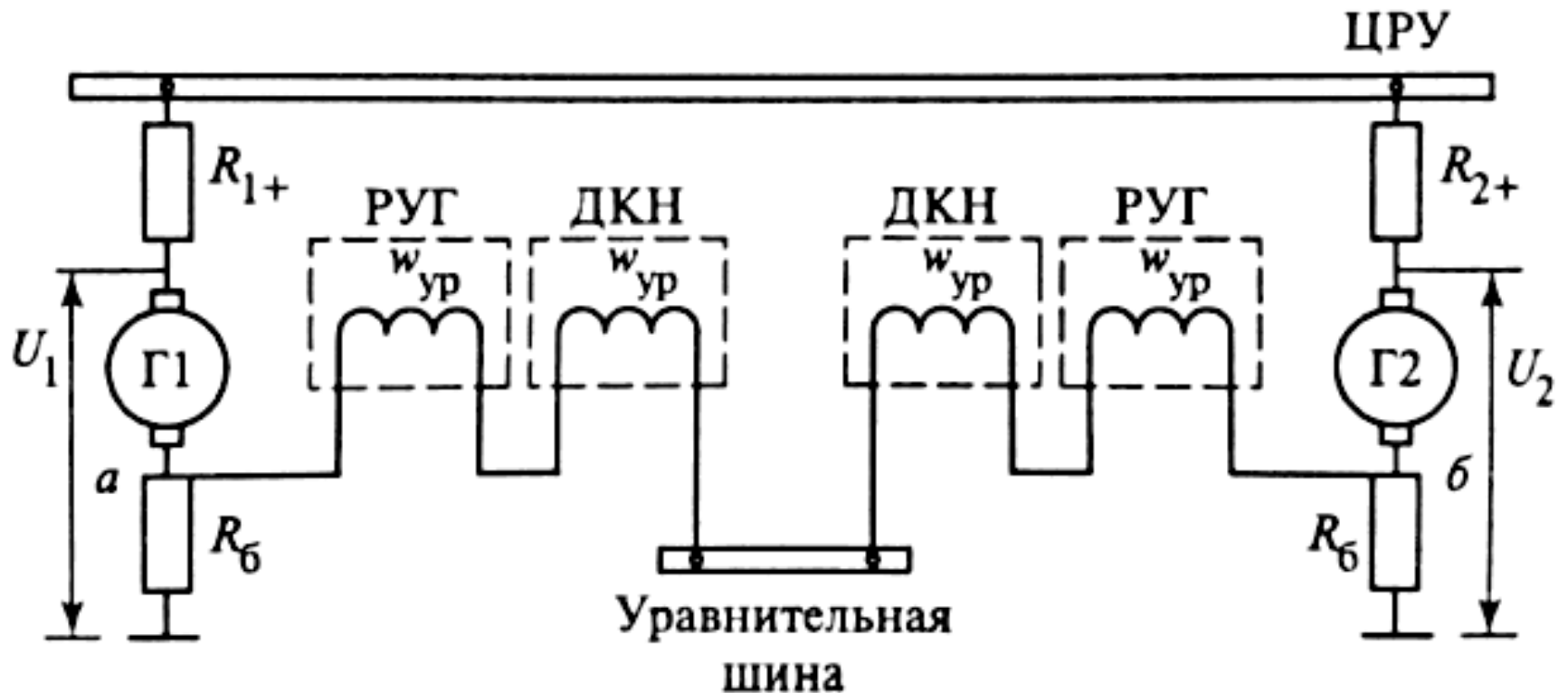
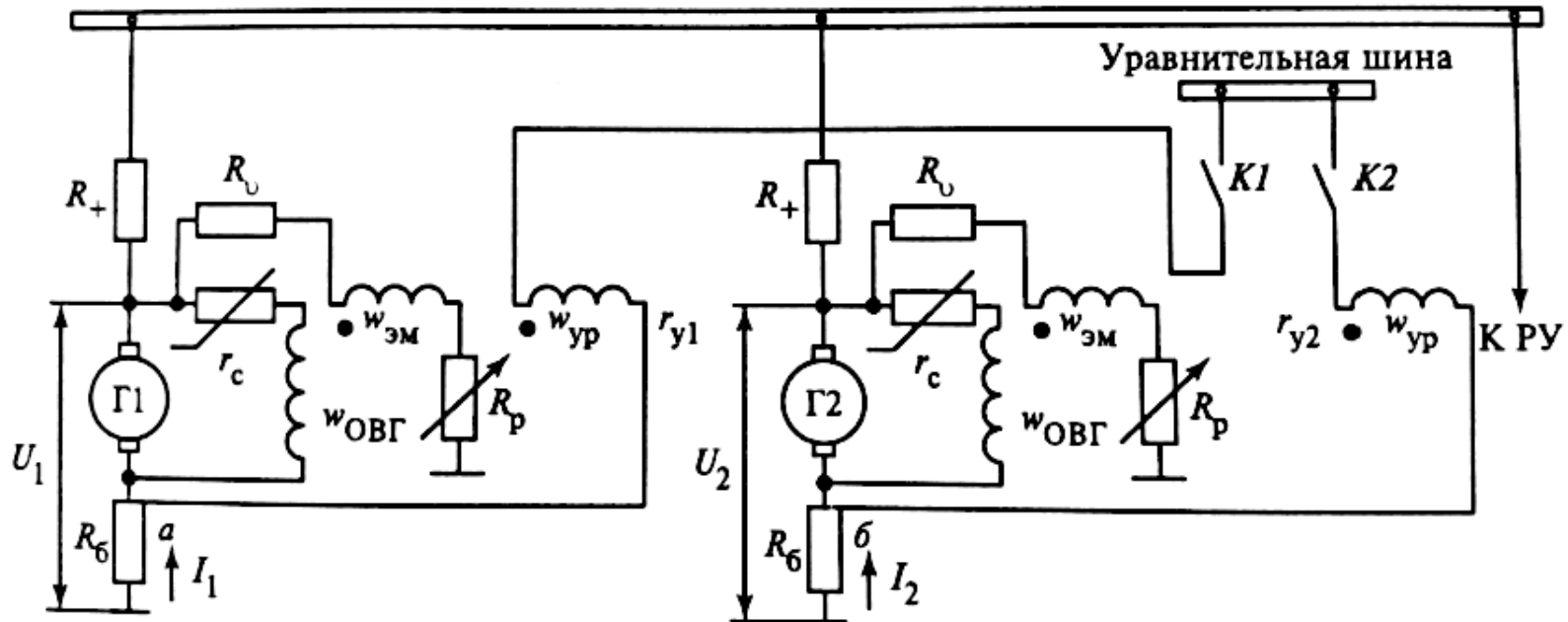


Схема параллельной работы

генераторов постоянного тока

Нагрузка генераторов (токи I_1 и I_2) контролируются автоматически по падению напряжения на балластных резисторах R_6 . Генераторы работают в комплекте с угольными РН, катушка каждого из которых состоит из рабочей $w_{ЭМ}$ и уравнивательной $w_{УР}$ обмоток. В точках подключения $w_{ЭМ}$ к генератору напряжение поддерживается постоянным.



Основные уравнения параллельной работы ГПТ

$$I_1 = \frac{U_{10} - U_{20} + I_c(2S_2 + R_{2+})}{2S_1 + 2S_2 + R_{1+} + R_{2+}};$$

$$I_2 = \frac{U_{20} - U_{10} + I_c(2S_1 + R_{1+})}{2S_1 + 2S_2 + R_{1+} + R_{2+}};$$

$$S_1 = \frac{\alpha R_{61}}{R_{yp1} + R_{yp2}}; S_2 = \frac{\alpha R_{62}}{R_{yp1} + R_{yp2}}$$

$$U_c = \frac{U_{10}(S_1 + S_2 + R_{2+}) + U_{20}(S_1 + S_2 + R_{1+})}{2S_1 + 2S_2 + R_{1+} + R_{2+}} - I_c \frac{S_1 R_{2+} + S_2 R_{1+} + R_{1+} R_{2+}}{2S_1 + 2S_2 + R_{1+} + R_{2+}}.$$

$$I_c = I_1 + I_2;$$

$$U_c = U_1 - I_1 R_{1+} = U_2 - I_2 R_{2+}.$$

$$\begin{aligned} U_1 &= U_{10} - I_1 \frac{\alpha R_{61}}{R_{yp1} + R_{yp2}} + I_2 \frac{\alpha R_{62}}{R_{yp1} + R_{yp2}} = \\ &= U_{10} - S_1 I_1 + S_2 I_2; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_2 &= U_{20} - I_2 \frac{\alpha R_{62}}{R_{yp1} + R_{yp2}} + I_1 \frac{\alpha R_{61}}{R_{yp1} + R_{yp2}} = \\ &= U_{20} - S_2 I_2 + S_1 I_1, \end{aligned}$$

S_1, S_2 – коэффициенты статизма, α – чувствительность РН к уравнительному току

Влияние неидентичности каналов генерирования на распределение нагрузки

$$U_c = \frac{U_{10}(S_1 + S_2 + R_{2+}) + U_{20}(S_1 + S_2 + R_{1+})}{2S_1 + 2S_2 + R_{1+} + R_{2+}} - I_c \frac{S_1 R_{2+} + S_2 R_{1+} + R_{1+} R_{2+}}{2S_1 + 2S_2 + R_{1+} + R_{2+}}.$$

1. Неравенство напряжений настройки РН

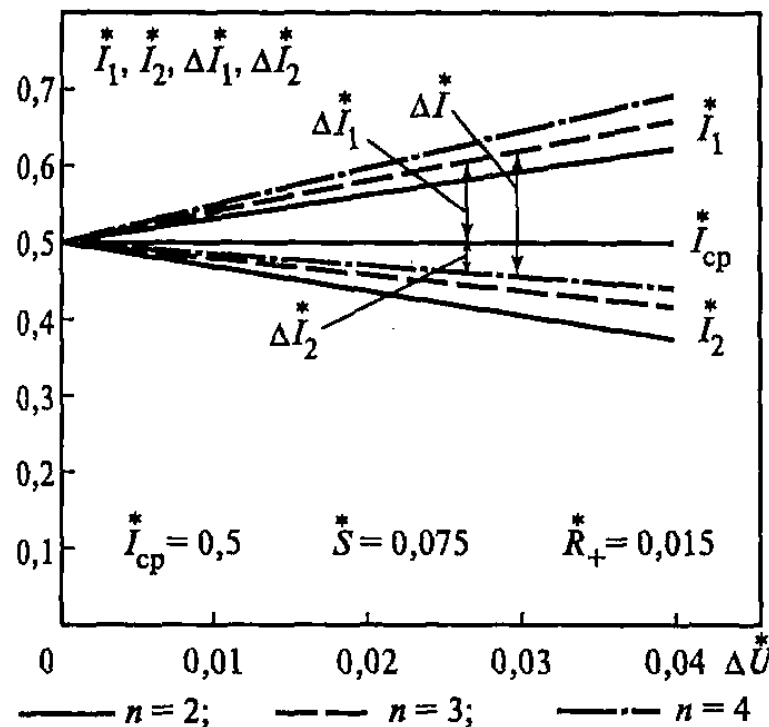
Пусть:

$$U_{10} = U_{20} + \Delta U, S_1 = S_2 = S, R_{1+} = R_{2+} = R_+$$

$$I_1 = \frac{(n-1)\Delta U}{n(2S + R_+)} + I_{cp} = \Delta I_1 + I_{cp};$$

$$I_2 = -\frac{\Delta U}{n(2S + R_+)} + I_{cp} = \Delta I_2 + I_{cp};$$

$$\Delta I = I_1 - I_2 = -\frac{\Delta U}{2S + R_+}.$$



Влияние неидентичности каналов генерирования на расп-е нагрузки

Согласно выражению $\Delta I = I_1 - I_2 = -\frac{\Delta U}{2S + R_+}$ можно оценить влияние уравнивающей связи (коэф-т S) на неравномерность распределения нагрузки ΔI .

Примем $S^* = 0,075$ и $R_+^* = 0,015$ $\Delta U = 0,5$ В. Тогда:

- при наличии уравнивающей связи:

$$\Delta I' = \frac{\Delta U}{2S + R_+} = 3.03$$

- в отсутствии уравнивающей связи:

$$\Delta I'' = \frac{\Delta U}{R_+} = 33.33$$

Т.е. наличие уравнивающей связи при параллельной работе уменьшает неравномерность распределения тока в 11 раз.

Без уравнивающих связей параллельная работа невозможна.

Влияние неидентичности каналов генерирования на расп-е нагрузки

2. Неравенство коэффициентов статизма

Пусть $U_{10} = U_{20} = U_0$, $S_2 = S = \text{const}$, $S_1 = S - \Delta S$, $R_{1+} = R_{2+} = R_+$

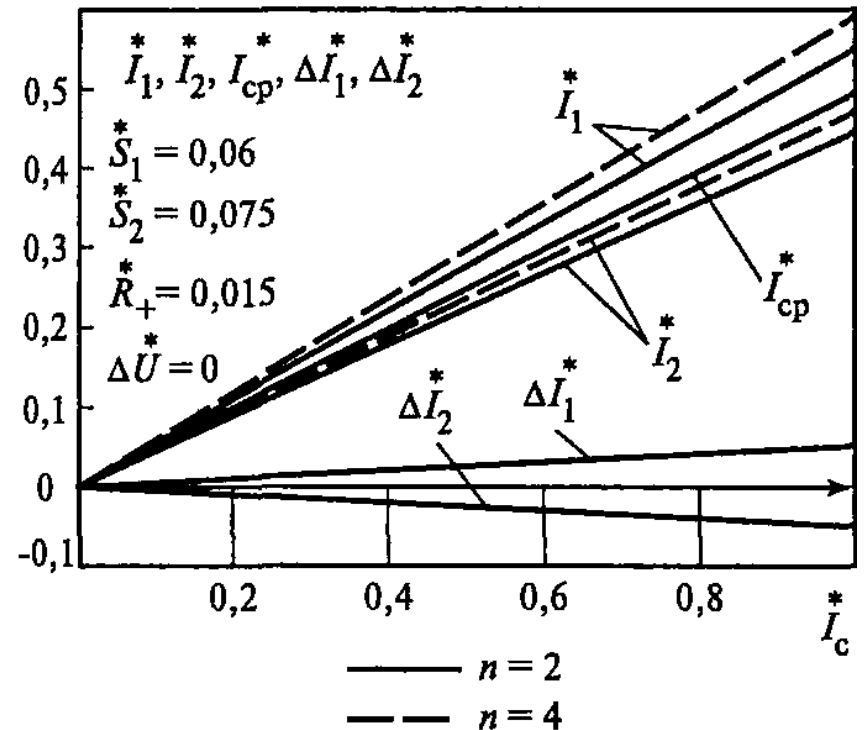
$$\Delta I = I_1 - I_2 = \frac{2\Delta S I_{\text{cp}}}{2S + R_+ - 2\Delta S \frac{n-1}{n}}$$

$$I_1 = \frac{(2S + R_+) I_{\text{cp}}}{2S + R_+ - 2\Delta S \frac{n-1}{n}};$$

$$I_2 = \frac{(2S + R_+ - 2\Delta S) I_{\text{cp}}}{2S + R_+ - 2\Delta S \frac{n-1}{n}};$$

$$\Delta I_1 = I_1 - I_{\text{cp}} = \frac{2\Delta S(n-1)I_{\text{cp}}}{n(2S + R_+) - 2\Delta S(n-1)};$$

$$\Delta I_2 = I_2 - I_{\text{cp}} = -\frac{2\Delta S I_{\text{cp}}}{n(2S + R_+) - 2\Delta S(n-1)};$$



Влияние неидентичности каналов генерирования на расп-е нагрузки

2. Неравенство коэффициентов статизма

Пусть $U_{10} = U_{20} = U_0$, $S_2 = S = \text{const}$, $S_1 = S - \Delta S$, $R_{1+} = R_{2+} = R_+$

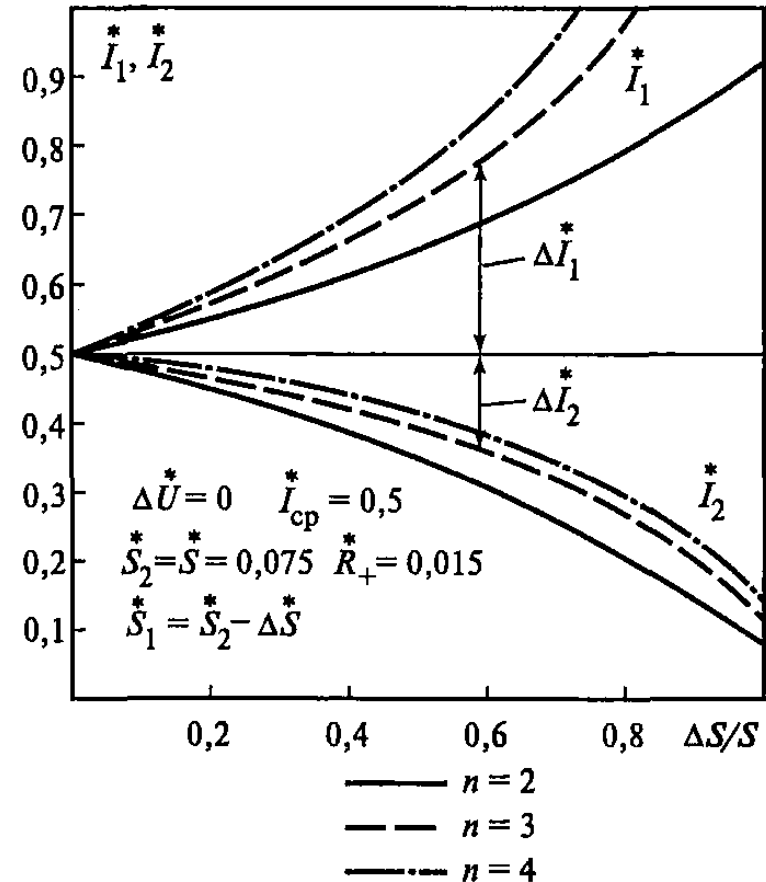
$$\Delta I = I_1 - I_2 = \frac{2\Delta S I_{\text{cp}}}{2S + R_+ - 2\Delta S \frac{n-1}{n}}$$

$$I_1 = \frac{(2S + R_+) I_{\text{cp}}}{2S + R_+ - 2\Delta S \frac{n-1}{n}};$$

$$I_2 = \frac{(2S + R_+ - 2\Delta S) I_{\text{cp}}}{2S + R_+ - 2\Delta S \frac{n-1}{n}};$$

$$\Delta I_1 = I_1 - I_{\text{cp}} = \frac{2\Delta S(n-1) I_{\text{cp}}}{n(2S + R_+) - 2\Delta S(n-1)};$$

$$\Delta I_2 = I_2 - I_{\text{cp}} = -\frac{2\Delta S I_{\text{cp}}}{n(2S + R_+) - 2\Delta S(n-1)};$$



Влияние неидентичности каналов генерирования на расп-е нагрузки

3. Неравенство сопротивления подводящих проводов

Пусть $U_{10} = U_{20} = U_0$, $S_1 = S_2$, $R_{1+} = R_+$, $R_{2+} = R_+ + \Delta R$

$$I_1 = \frac{I_{\text{cp}}(2S + R_+ + \Delta R)}{2S + R_+ + \frac{\Delta R}{n}};$$

$$\Delta I_1 = \frac{I_{\text{cp}} \Delta R \frac{n-1}{n}}{2S + R_+ + \frac{\Delta R}{n}}$$

$$I_2 = \frac{I_{\text{cp}}(2S + R_+)}{2S + R_+ + \frac{\Delta R}{n}};$$

$$\Delta I_2 = \frac{I_{\text{cp}} \frac{\Delta R}{n}}{2S + R_+ + \frac{\Delta R}{n}}$$

В целом, при реальных возможных отклонениях сопротивления R_+ изменения в распределении нагрузок практически незаметны.