

# **Релейная защита и автоматизация ЭЭС**

*Семестр 8*

*Тема 4 «Расчет АПВ и АВР»*

**Подготовил:** ст. преподаватель кафедры ЭГиПП

Непша Федор Сергеевич

сот. тел. 8-904-994-25-15

e-mail: nepshafs@gmail.com

# Общие сведения об АПВ

Практика эксплуатации энергосистем показала, что большинство КЗ являются неустойчивыми, т.е. такими, которые самоустраняются после кратковременного снятия напряжения.

Использование автоматического повторного включения позволяет в 50-90% случаях восстановить работу потребителей.

Устройство автоматики, выполняющее повторное включение электроустановки после отключения ее от релейной защиты, называют - **автоматическим повторным включением (АПВ).**

# Классификация устройств АПВ



# Классификация устройств АПВ

Условно все устройства АПВ можно классифицировать по ряду признаков.

## **Количество включаемых фаз:**

- Однофазные;
- Трехфазные;
- Комбинированные.

Экономическая обоснованность однофазного АПВ заключается в том, что большинство замыканий в сетях 110 кВ и выше являются однофазными (до 80%).

# Классификация устройств АПВ

Трехфазные АПВ делятся на 2 группы:

**1) АПВ на линиях с односторонним питанием.**

**2) АПВ на линиях с двухсторонним питанием**, которое в свою очередь делится на следующие виды:

а) несинхронное АПВ (НАПВ). Включает выключатели по концам линии одновременно ( $t_{Q1} = t_{Q2}$ );

б) быстродействующее АПВ (БАПВ);

в) АПВ с ожиданием синхронизма (АПВОС). Сначала включает выключатель с одной стороны, а затем с другой;

г) АПВ с улавливанием синхронизма (АПВУС)

# Классификация устройств АПВ

**По числу циклов повторного включения:**

- АПВ однократного действия
- АПВ многократного действия.

По статистическим данным, процент успешных АПВ воздушных ЛЭП составляет:

Первое АПВ	(65...90) %
Второе АПВ (при неуспешном первом)	(10...15) %
Третье АПВ (при неуспешном втором)	(3...5) %

# Классификация устройств АПВ

## По виду включаемого оборудования:

- ВЛ и КВЛ напряжением выше 1000 В (для КЛ в случае если АПВ эффективно или при наличии неселективных защит);
- сборные шины станций и подстанций при отсутствии АВР;
- одиночно работающие понижающие трансформаторы мощностью более 1000 кВА;
- ОВ и ШСВ;
- ответственные электродвигатели собственных нужд.

# Классификация устройств АПВ

## По способу пуска:

- пуск от релейной защиты и
- пуск от несоответствия положения ключа управления и выключателя.

Пуск от релейной защиты выполняется после отключения оборудования релейной защитой.

**Недостаток** – выполняет запуск АПВ при включении выключателя.



## Требования к АПВ (п. 3.3.3 ПУЭ)

Все устройства автоматического включения должны удовлетворять следующим основным требованиям:

1. Устройство АПВ должно приходить в действие при любых аварийных отключениях выключателя за исключением случая, когда выключатель включается оперативным персоналом на короткое замыкание.
2. АПВ не должно работать при отключении выключателя оперативным персоналом.
3. Схема АПВ должна обеспечивать заданную кратность действия.
4. Время работы АПВ должно быть минимально возможным.
5. Устройство АПВ должно выполняться с автоматическим возвратом в исходное состояние.

# Согласование работы устройств АПВ и РЗ

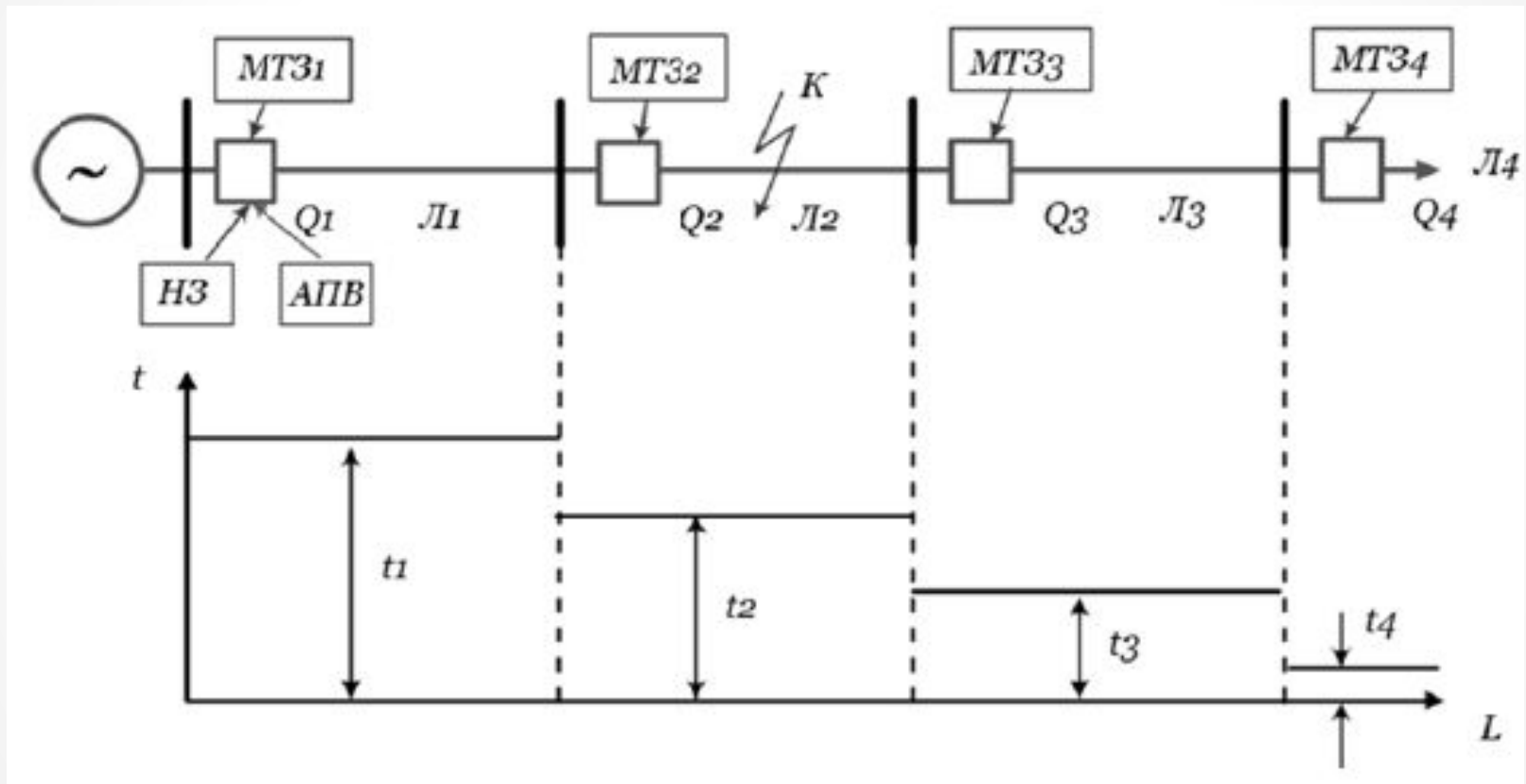


Рис. 1. Ускорение защиты до АПВ

# Согласование работы устройств АПВ и РЗ

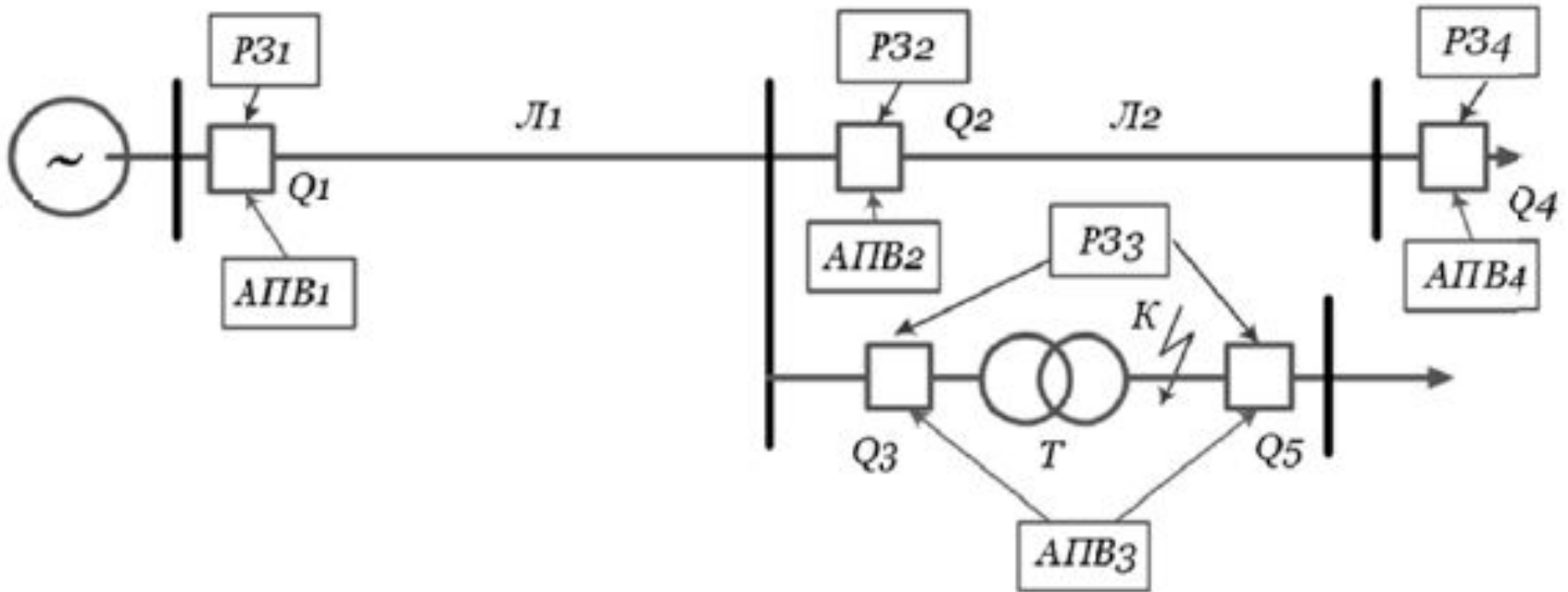


Рис. 2. Ускорение защиты после АПВ

# Согласование работы устройств АПВ и РЗ

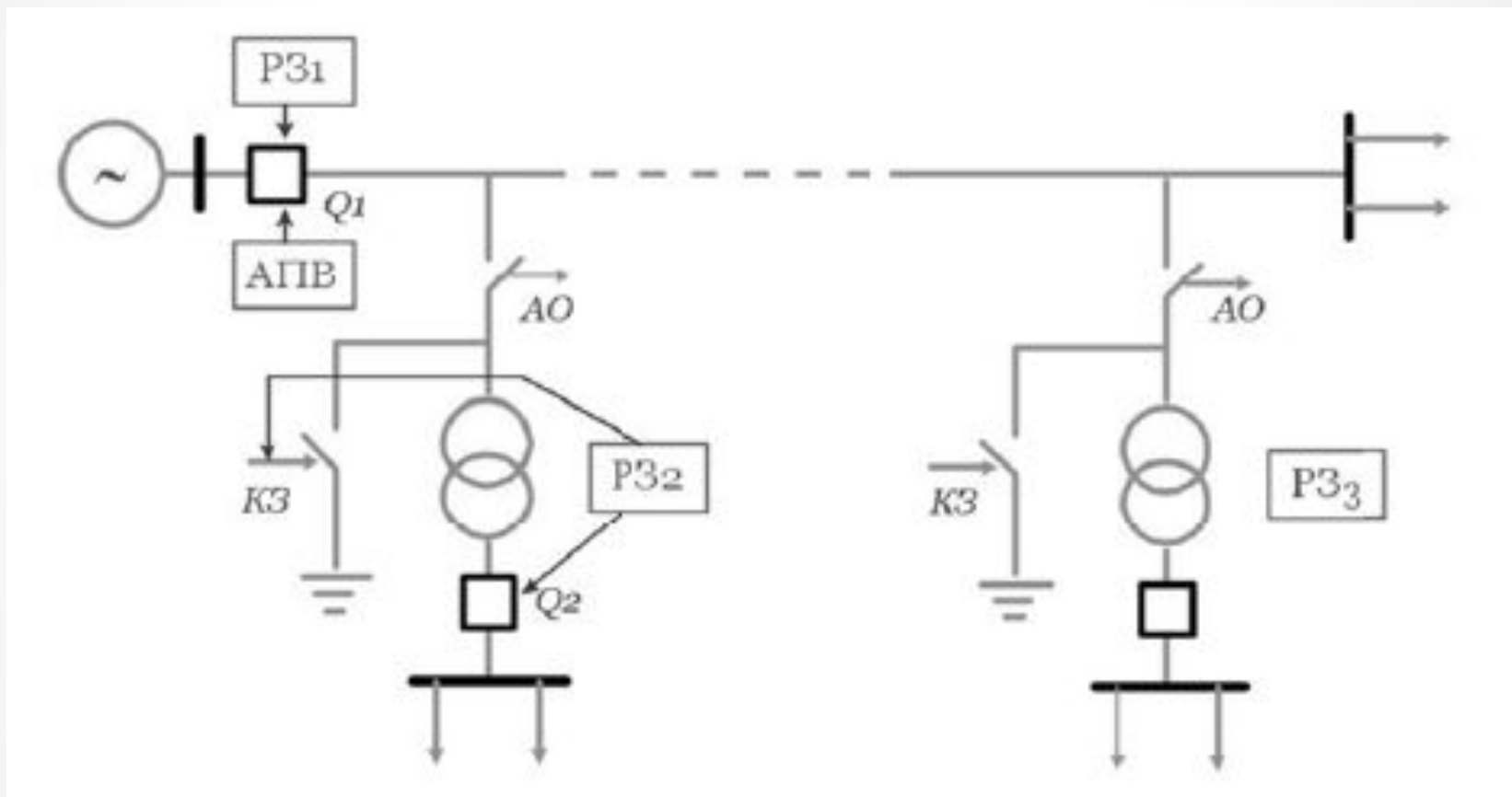


Рис. 3. АПВ линий с ответвлениями к ПС без выключателей на стороне ВН

# Выбор уставок АПВ линий с односторонним питанием

Время срабатывания однократного АПВ определяется по следующим условиям:

– *время готовности привода к включению*

$$t_{\text{АПВ}} \geq t_{\text{г.п.}} + t_{\text{зап}} \quad (1)$$

где  $t_{\text{г.п.}}$  – время готовности привода, которое в зависимости от типа привода находится в пределах от 0,1 до 0,2 с;

– *время деионизация изоляционной среды*

$$t_{\text{АПВ}} \geq t_{\text{д}} + t_{\text{зап}} \quad (2)$$

где  $t_{\text{д}}$  – время деионизации среды в месте КЗ на ВЛ.

Ориентировочно принимается: для сетей до 35 кВ – 0,1 с.,

• для сетей 110 кВ – 0,17 с., для сетей 220 кВ – 0,32 с.

# Выбор уставок АПВ линий с односторонним питанием

– *время готовности выключателя*

$$t_{\text{АПВ}} \geq t_{\text{Г.В.}} - t_{\text{В.В.}} + t_{\text{зап}} \quad (3)$$

где  $t_{\text{Г.В.}}$  – время готовности выключателя, которое в зависимости от типа выключателя обычно находится в пределах от 0,2 до 2 с, но для некоторых типов может быть больше;  $t_{\text{В.В.}}$  – время включения выключателя;

Время запаса  $t_{\text{зап}}$ , для выражений (1) – (3) принимается равным примерно 0,5 с.

Однако на практике время срабатывания АПВ принимается равным 2-3 сек.

# Выбор уставок АПВ линий с односторонним питанием

**Время автоматического возврата АПВ** в исходное положение после срабатывания (время готовности) должно обеспечивать однократность действия АПВ. Возврат должен происходить только после того, как выключатель вновь отключится защитой имеющей наибольшую выдержку.

# Особенности АПВ линий с двухсторонним питанием

1. Сначала включается выключатель, оборудованный устройством контроля напряжения на линии в режиме опробования. При устойчивом коротком замыкании действие АПВ с другого конца линии блокируется, при успешном АПВ – разрешается

2. Особенностью применения АПВ на линиях с двухсторонним питанием является возможность появления броска тока при включении линии под напряжение.

В случае если линия является единственной связью между двумя энергосистемами (что бывает довольно редко), то при ее отключении энергосистемы начинают работать несинхронно. При этом в момент включения линии вектора напряжений по концам линии разойдутся на угол  $\delta$ .



# Классификация двухсторонних АПВ

Условно все устройства АПВ можно разделить на две группы:

1. Устройства, допускающие несинхронное включение. К ним относится несинхронное АПВ (НАПВ).

2. Устройства, выполняющие включение с ограничением значения по углу включения. К ним относятся АПВ с ожиданием синхронизма (АПВОС), быстродействующее АПВ (БАПВ), АПВ с улавливанием синхронизма (АПВУС).

# Несинхронное АПВ (критерии допустимости)

- для гидрогенераторов с успокоительными контурами и для турбогенераторов с косвенным охлаждением обмоток

$$\frac{I_{нс}}{I_{ном}} \leq \frac{0,625}{X_d''},$$

- для гидрогенераторов без успокоительных контуров и для турбогенераторов с непосредственным охлаждением обмоток

$$\frac{I_{нс}}{I_{ном}} \leq 3,$$

# Несинхронное АПВ (критерии допустимости)

- для синхронных компенсаторов

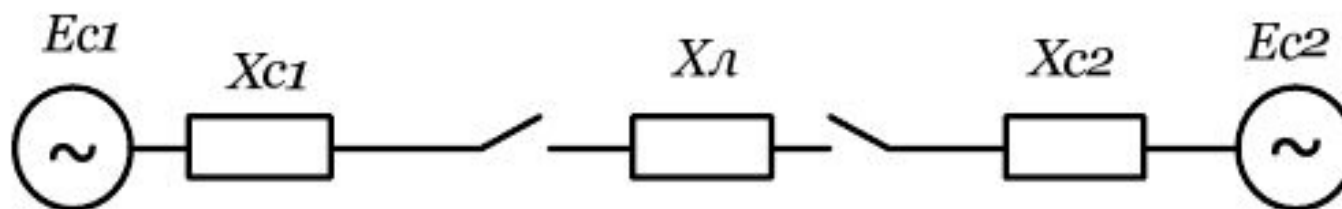
$$\frac{I_{нс}}{I_{ном}} \leq \frac{0,84}{X''_d} ;$$

- для трансформаторов и автотрансформаторов

$$\frac{I_{нс}}{I_{ном}} \leq \frac{100}{u_k \%} ,$$

# Несинхронное АПВ (критерии допустимости)

Для определения значения тока несинхронного включения составляется схема замещения без учета нагрузок.



$$I_{НС} = \frac{E_{C1} + E_{C2}}{X_{C1} + X_L + X_{C2}}$$

В этом выражении  $E_{C1}, E_{C2}$  – фазные э.д.с., в первом приближении принимаются равными  $E_{C1} = E_{C2} = 1.05U_{НОМ} / \sqrt{3}$ ;  $X_{C1}, X_{C2}, X_L$  – сопротивления разделившихся частей энергосистемы и включаемой линии.

# АПВ с ожиданием синхронизма

Повторное включение допускается при одновременном выполнении следующих условий:

1. Разность модулей включаемых напряжений не должна превышать 5%.
2. Угол сдвига между векторами напряжений в момент включения не должен превышать  $70^\circ$
3. Разность частот не должна превышать 0,2 Гц.

# АПВ с ожиданием синхронизма

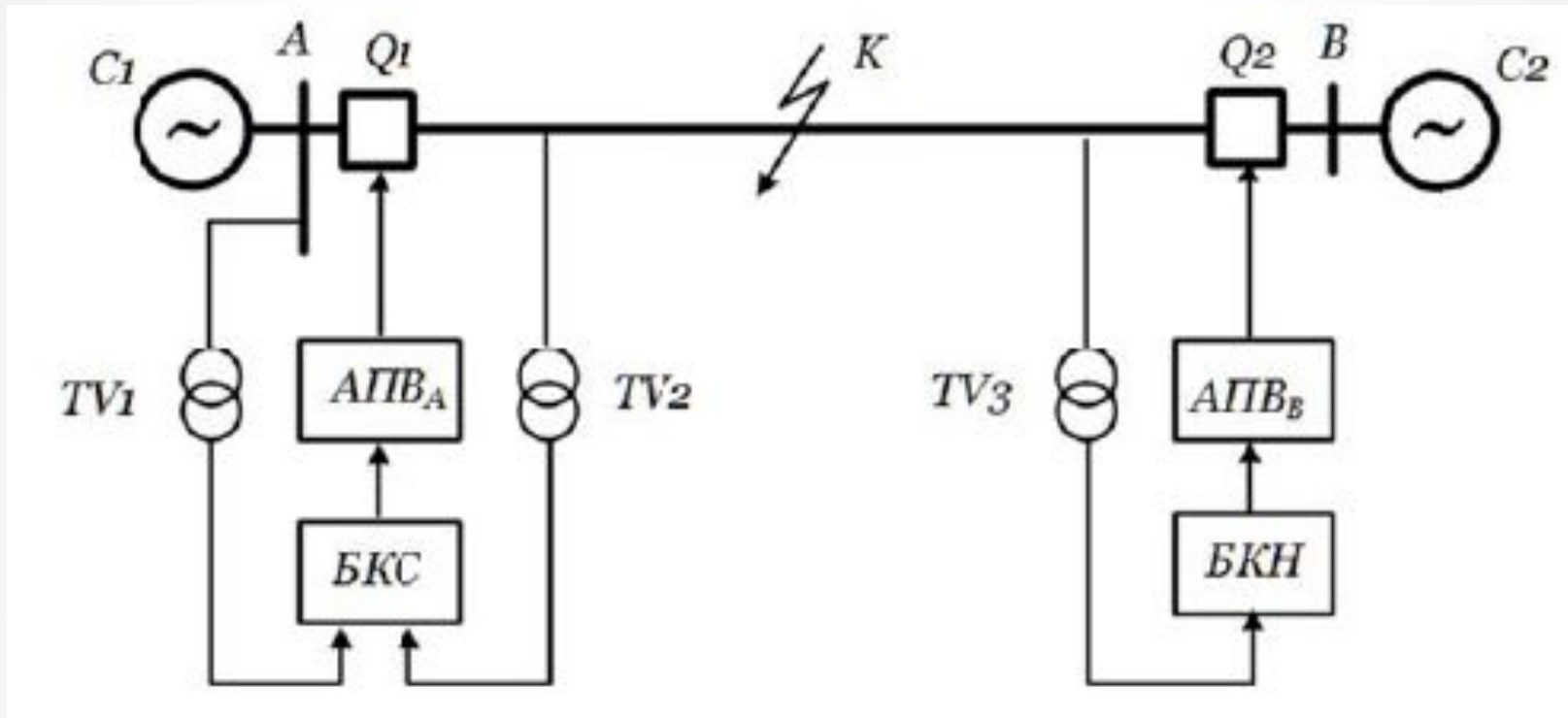


Рис. 1. АПВОС на линии с двухсторонним питанием

# Особенности выполнения АПВ шин

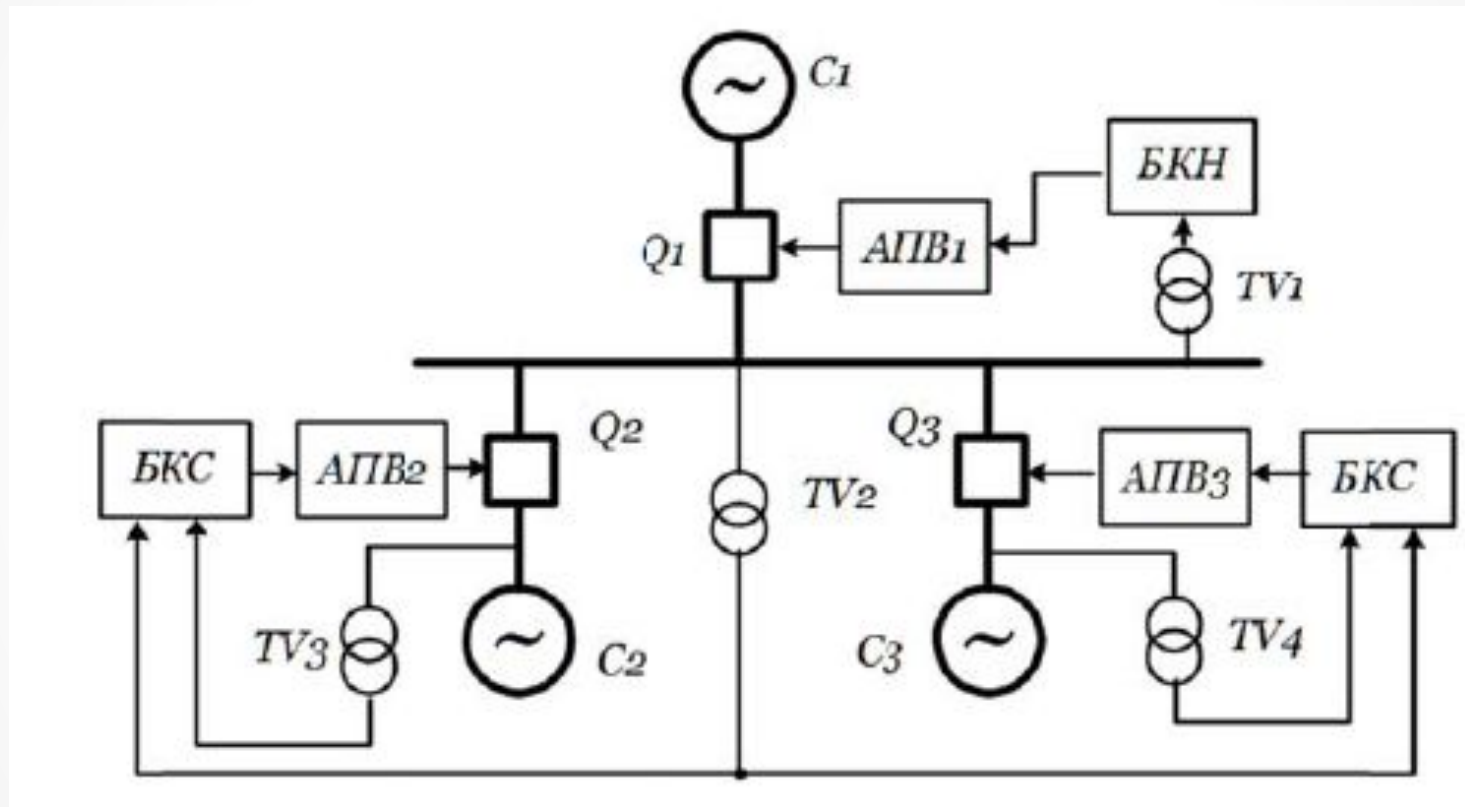


Рис. 2. АПВ шин

# Назначение АВР

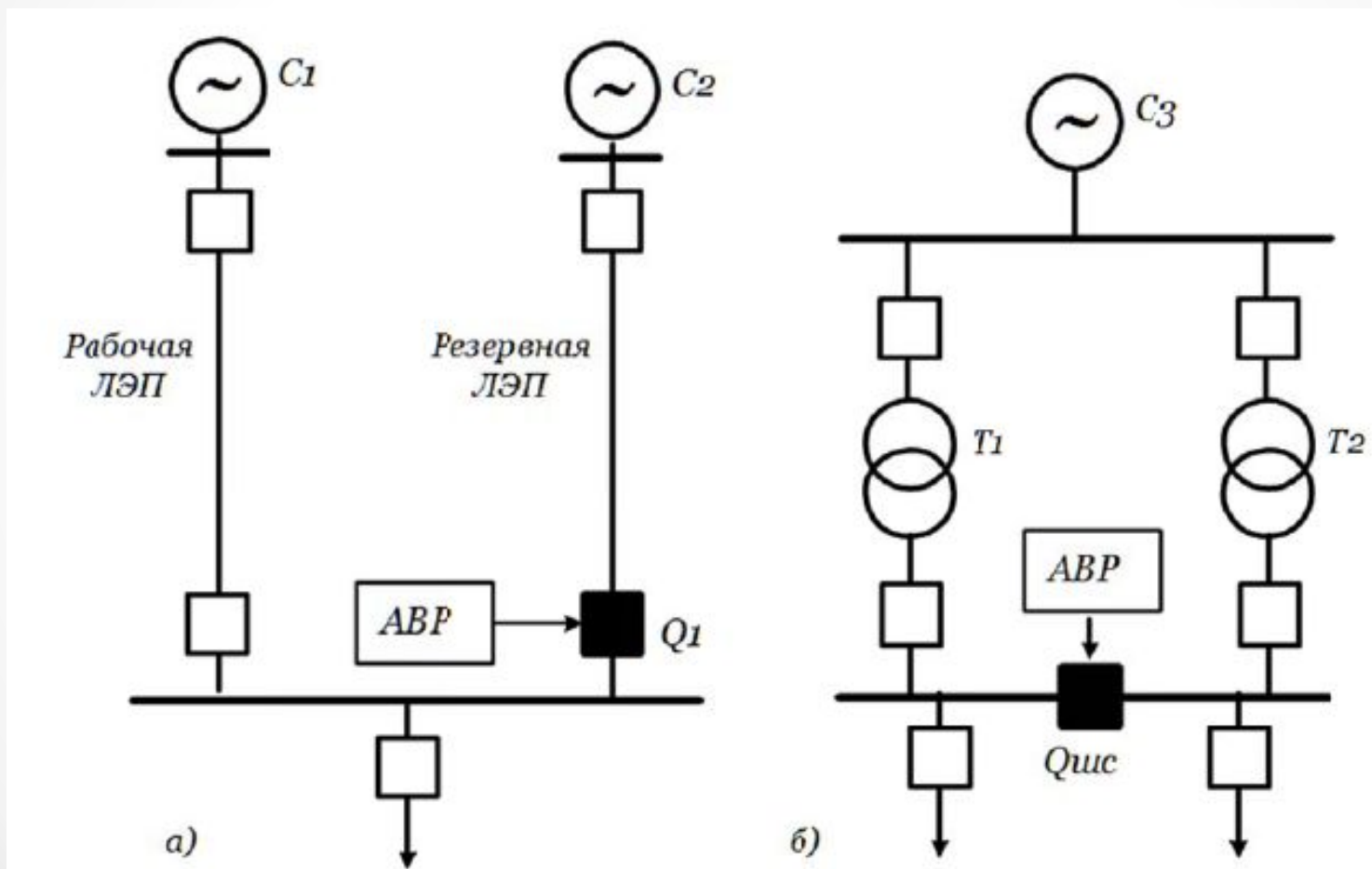
Автоматическое включение резерва (АВР) – составляющая автоматики энергосистем, направленная на повышение ее надежности. Заключается в автоматическом подключении к

Системе дополнительных источников питания в случае потери системой электроснабжения из-за аварии или ошибочного отключения.

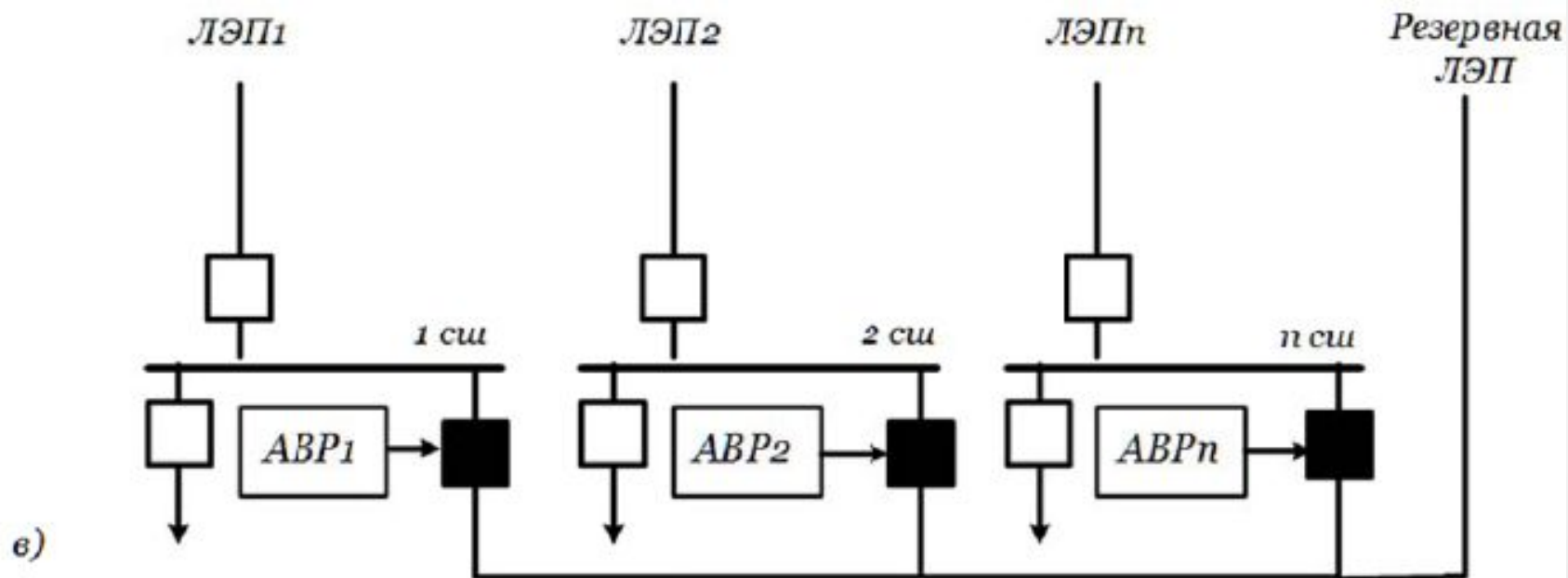
Виды АВР по области применения можно разделить на 3 группы.



# Группа 1,2: АВР с явным и неявным резервированием



## Группа 3: Групповое резервирование



# Требования к АВР

1. АВР должно приходить в действие при исчезновении напряжения на шинах потребителя по любым причинам: аварийное отключение источника, ошибочное или самопроизвольное отключение выключателя.

2. Включение резерва должно происходить как можно быстрее для уменьшения вероятности нарушения технологического цикла электроприемника.

## Требования к АВР

3. Действие АВР должно быть однократным, чтобы не включать несколько раз резервный источник на устойчивое короткое замыкание.

4. Включение резервного источника должно происходить только после отключения выключателей рабочего источника.

5. Схема АВР не должна приходить в действие при повреждениях во вторичных цепях.

# Принципы выполнения пусковых органов АВР (Пуск от реле напряжения)

## АВР (Пуск от реле напряжения)

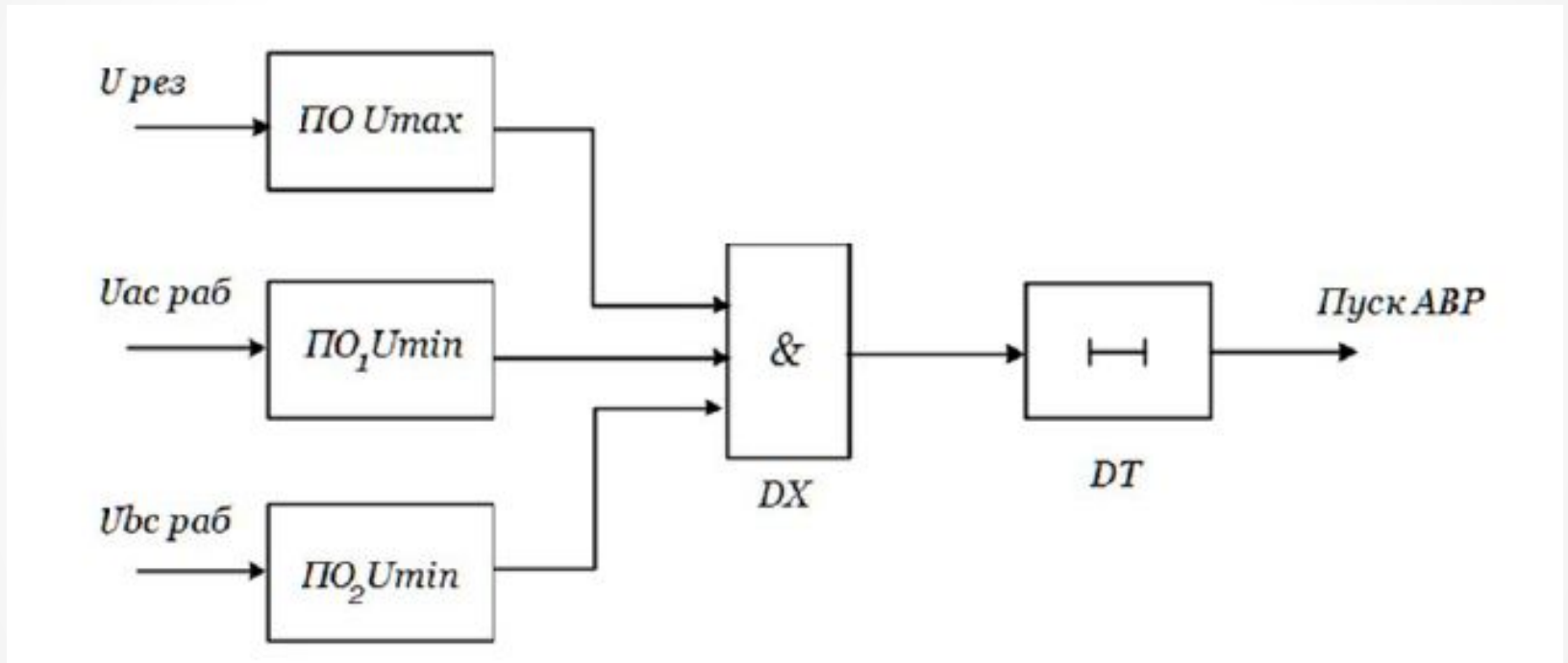


Рис. 1. Логическая схема АВР с пуском от КВ

# Принципы выполнения пусковых органов АВР (Пуск от реле напряжения)

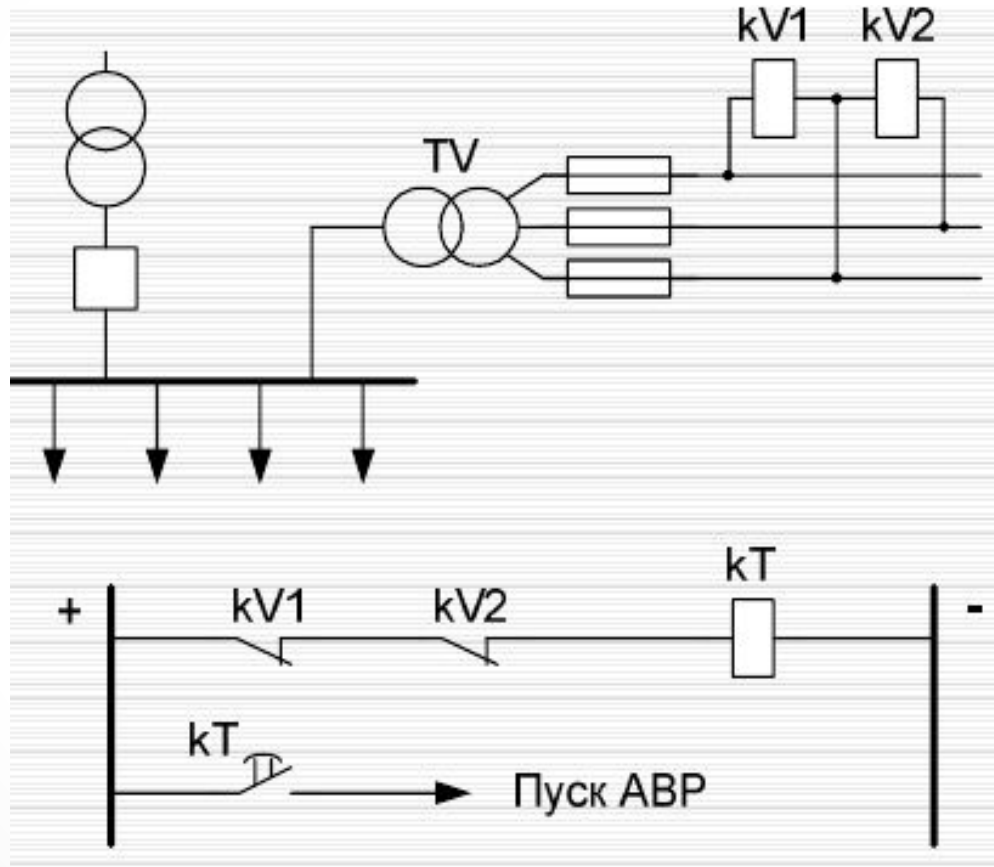


Рис. 2. Схема вторичных и оперативных цепей АВР с пуском по U

# Принципы выполнения пусковых органов АВР (Пуск по факту исчезновения $U$ и $I$ )

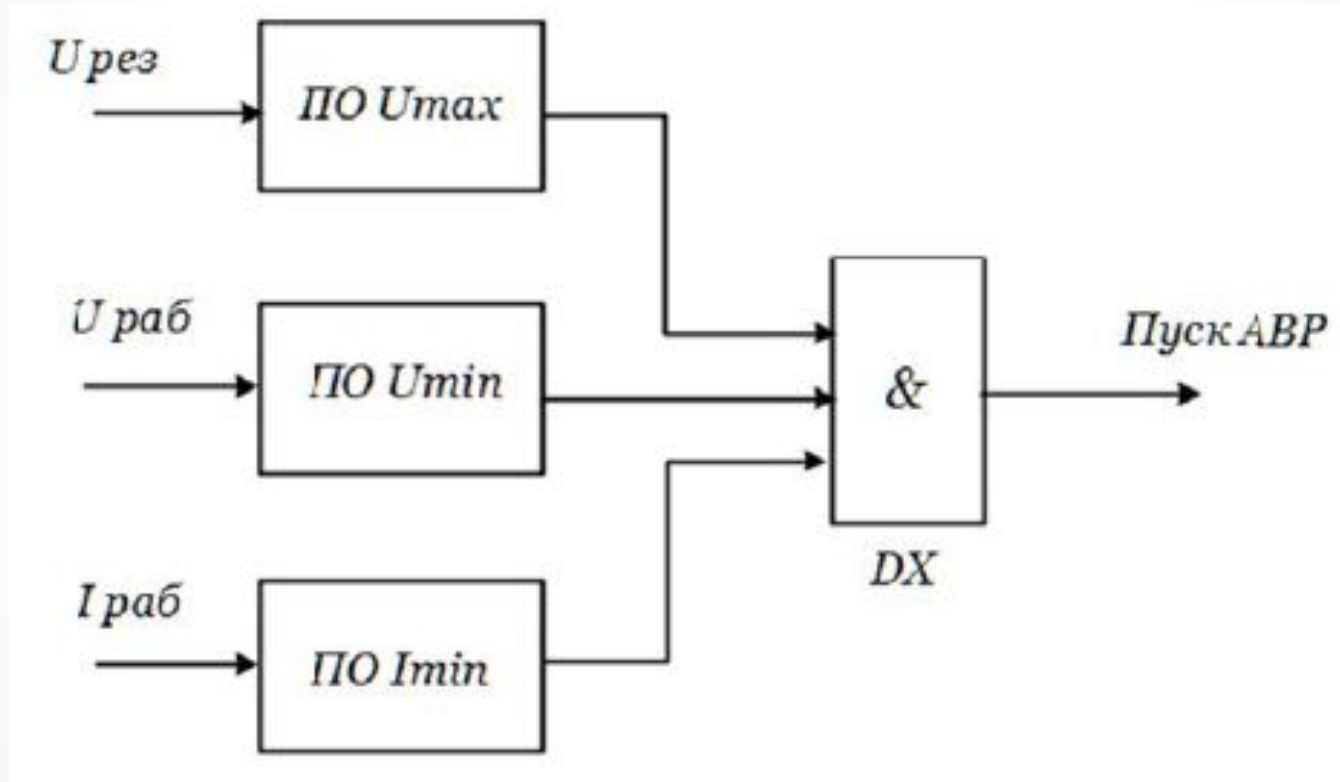


Рис. 3. Логическая схема АВР с пуском от КВ и КА

# Принципы выполнения пусковых органов АВР (Пуск по факту исчезновения $U$ и $I$ )

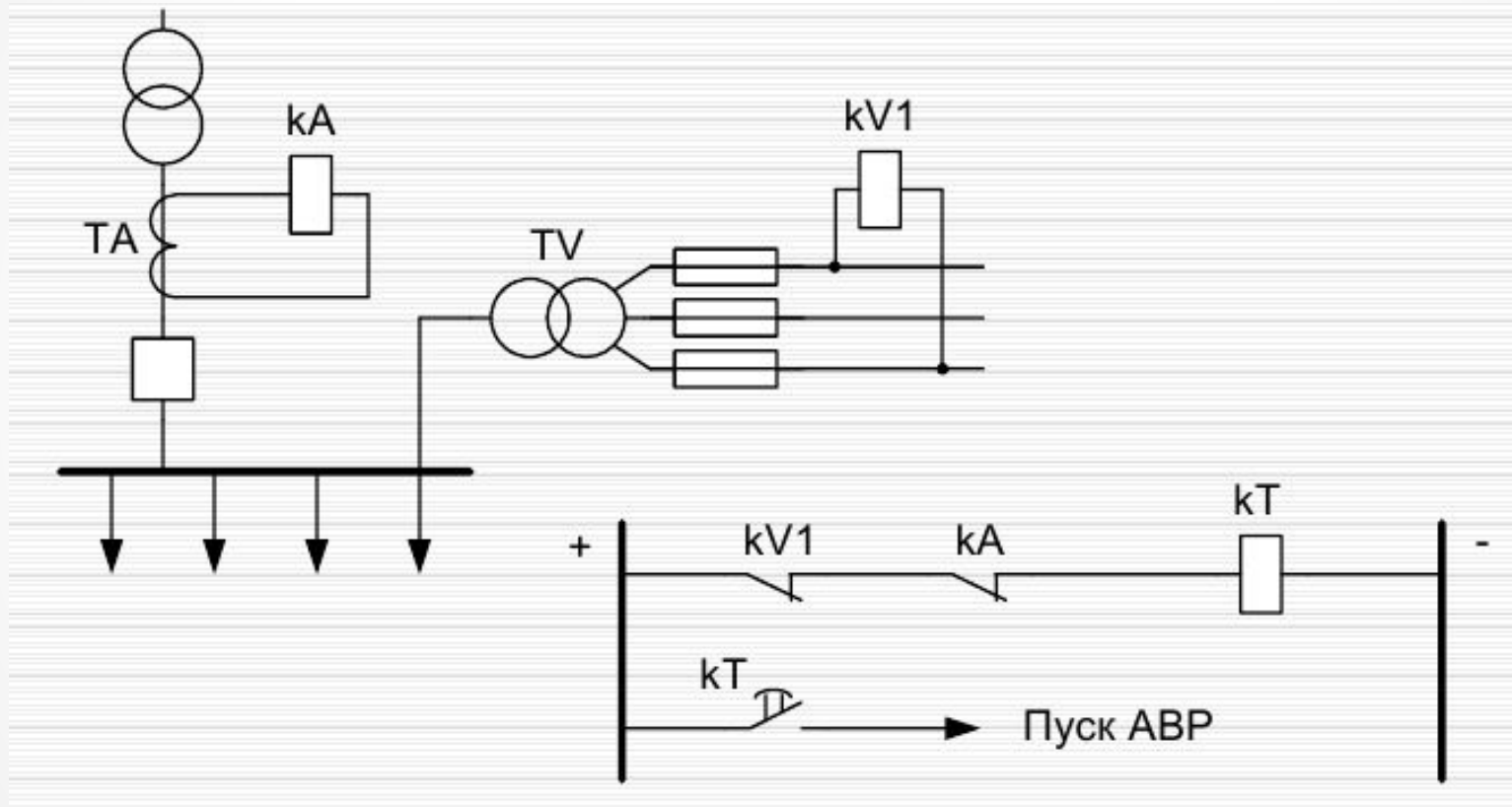


Рис. 4. Схема вторичных и оперативных цепей АВР с пуском от KV и KA



# Принципы выполнения пусковых органов АВР (Пуск по факту исчезновения $I$ и $f$ )

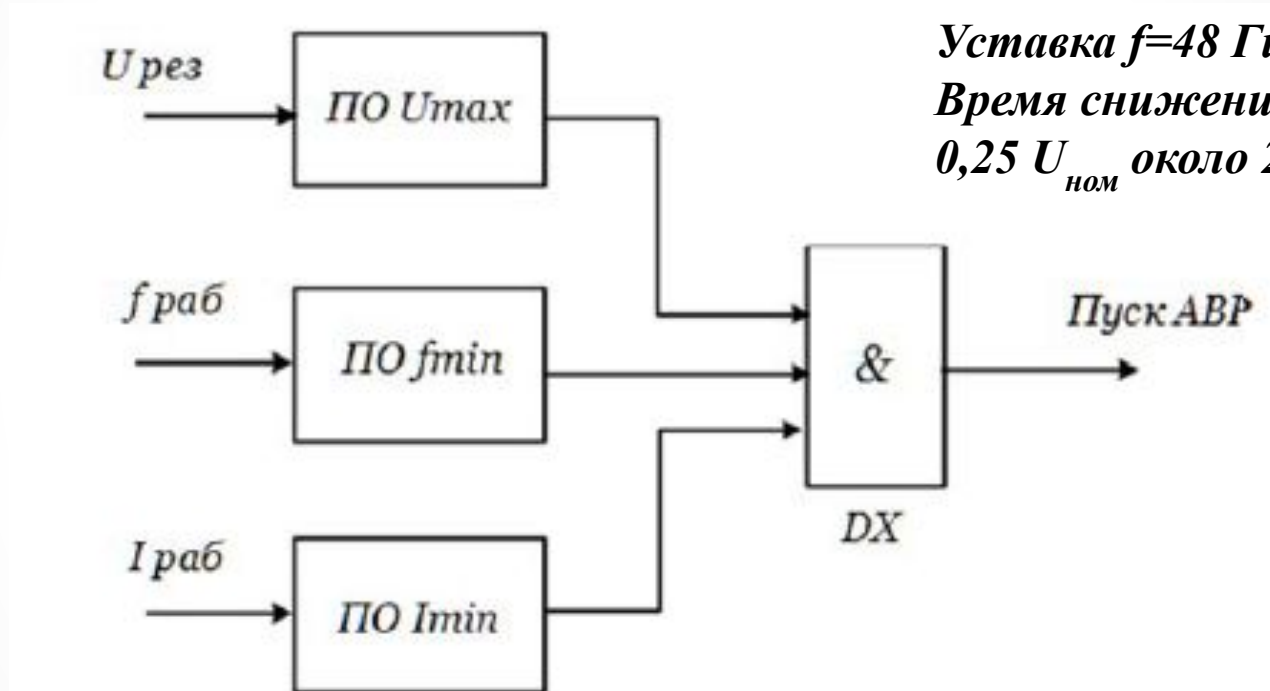


Рис. 5. Логическая схема АВР с пуском от КА и КФ

# Принципы выполнения пусковых органов АВР (Пуск по факту исчезновения I и f)

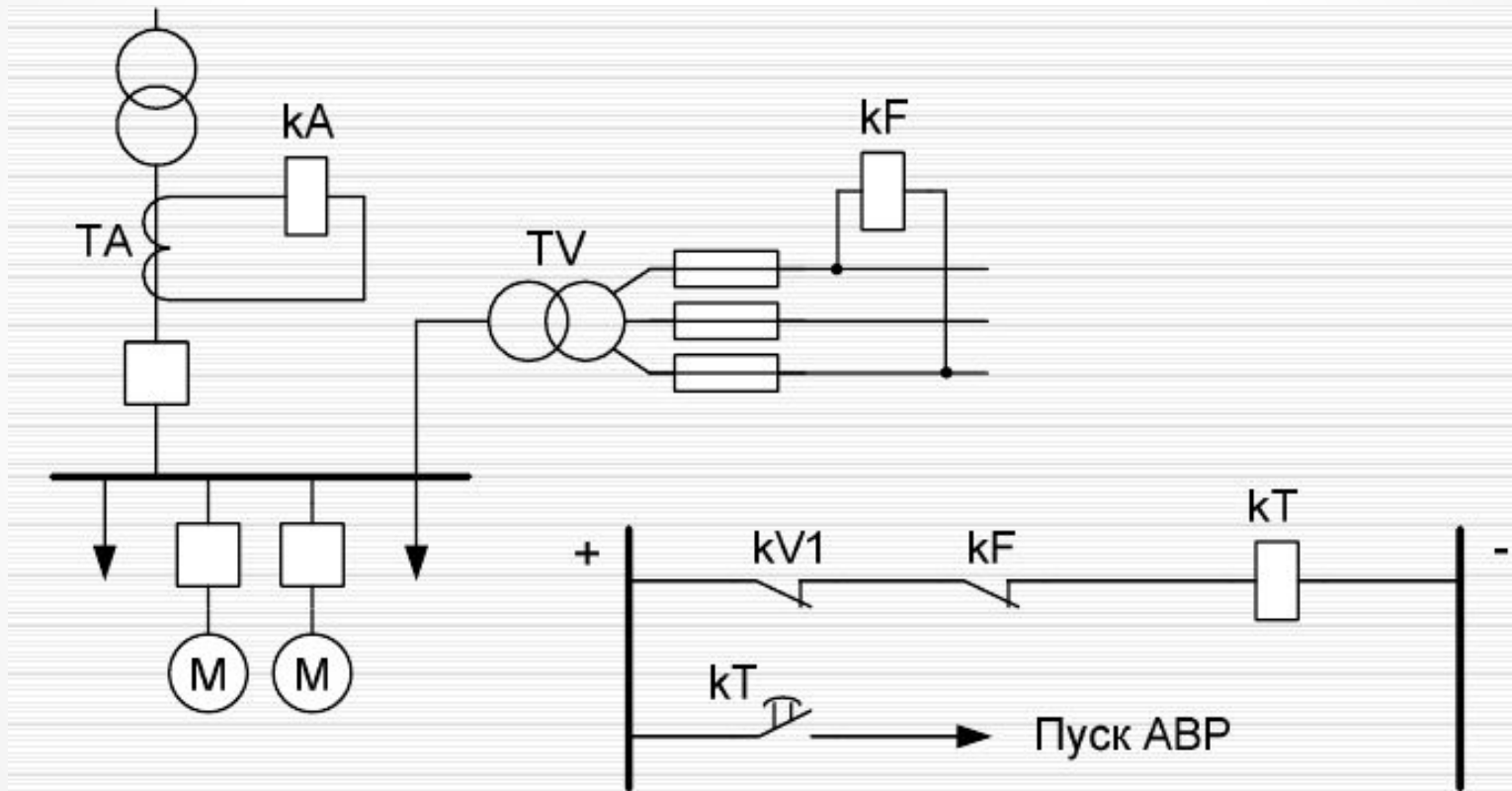


Рис. 6. Схема вторичных и оперативных цепей АВР с пуском от КА и КФ

# Расчет уставок АВР с пуском по U

## 1) Напряжение срабатывания пускового органа минимального напряжения

По условию несрабатывания при внешнем КЗ:

$$U_{с.р.} = \frac{U_{ост.к.}}{k_{отс} \cdot K_U} \quad (1)$$

По условию несрабатывания при самозапуске:

$$U_{ср} = \frac{U_{сам}}{k_{отс} \cdot K_U} \quad (2)$$

В большинстве случаев можно принять значение:

$$U_{врм} = (0,25 \div 0,4)U \quad (3)$$

## Расчет уставок АВР с пуском по U

2) Напряжение срабатывания реле контроля наличия напряжения на резервном источнике питания

$$U_{с.р} = \frac{U_{раб.мин}}{k_{отс} \cdot K_U \cdot k_v} \quad (4)$$

3) Время выдержки пускового органа минимального напряжения.

Пуск схемы АВР при снижении напряжения ниже напряжения срабатывания должен осуществляться с выдержкой времени для предотвращения излишних действий АВР при КЗ в питающей сети и для обеспечения правильной последовательности работы автоматики.

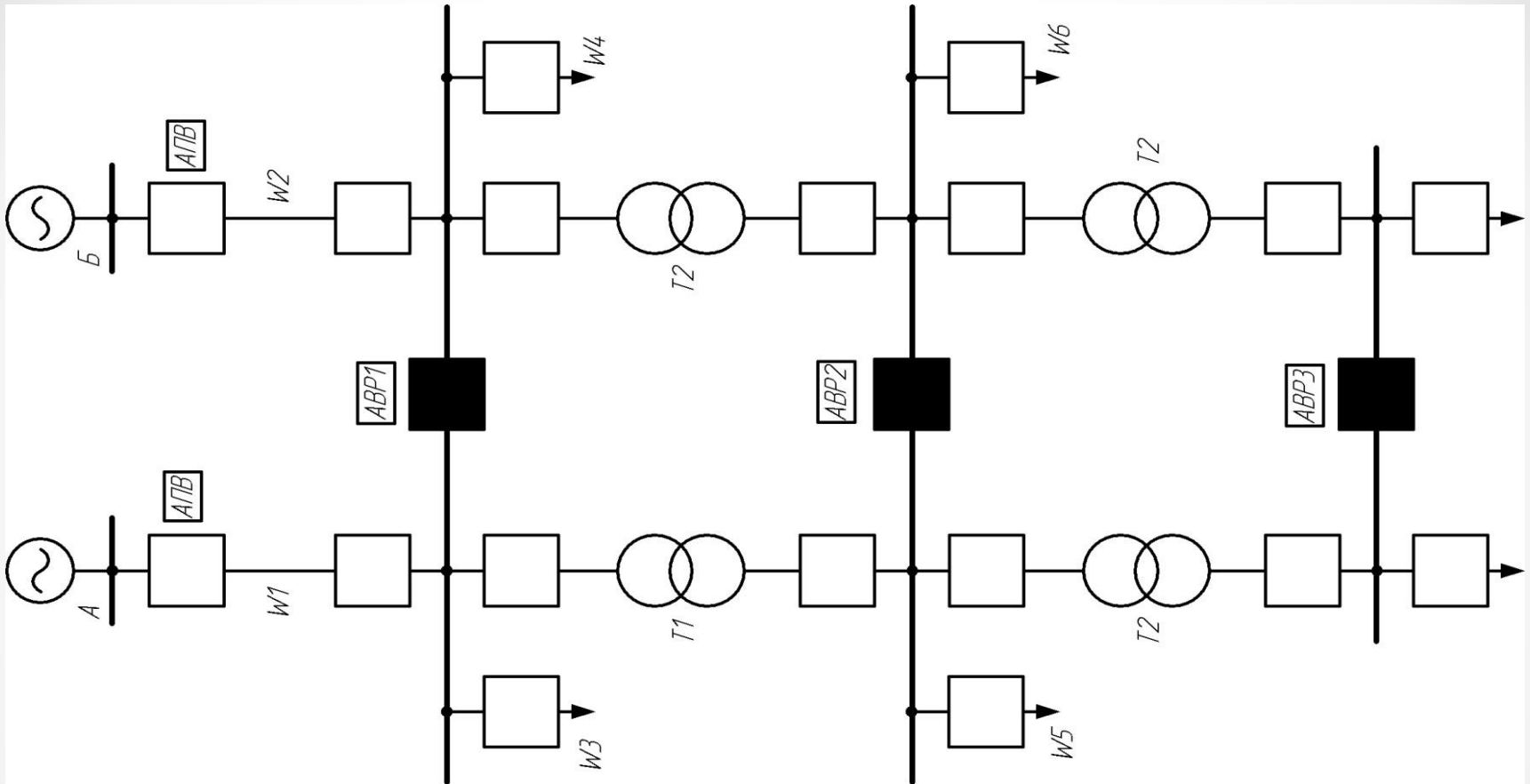


Рис. 7. Схема нормально разомкнутой распределительной сети с несколькими устройствами местных АВР двухстороннего действия и АПВ линий

## Расчет уставок АВР с пуском по U

а) По условию отстройки от времени срабатывания тех защит, в зоне действия которых КЗ могут вызывать снижения напряжения ниже принятого по формуле

$$t_{с.АВР} \geq t_1 + \Delta t \quad (5)$$

$$t_{с.АВР} \geq t_2 + \Delta t \quad (6)$$

$t_1$  - наибольшее время срабатывания защиты присоединений шин высшего напряжения подстанции (например, защиты линий W3 или W4 при выборе уставок АВР2 в схеме на рис.7);  $t_2$  - то же для присоединений шин, где установлен АВР (для АВР2 - линий W5, W6 или трансформаторов, рис.7):

## Расчет уставок АВР с пуском по U

б) По условию согласования действий АВР с другими устройствами противоаварийной автоматики узла (АПВ, АВР, делительной автоматикой).

Например, для устройства АВР1 (рис.6) с целью ожидания срабатывания двух циклов АПВ W1(W2):

$$t_{\text{АВР}1} \geq_{\text{сз}} (t_{\text{АПВ}} + t'_{\text{сз}} + t_{\text{АПВ}W})_{W1(W2)} + t_{\text{зап}} \quad (7)$$

где  $t_{\text{сз}}$  - время действия той ступени защиты линии W1 (W2), которая надежно защищает всю линию;  $t'_{\text{сз}}$  - время действия защиты W1 (W2), ускоряемой после АПВ;  $t_{1\text{АПВ}}$ ,  $t_{2\text{АПВ}}$  - уставки по времени первого и второго циклов двукратного АПВ линии W1 (W2);  $t_{\text{зап}} \approx 2,5 \div 3,5\text{с}$  в зависимости от типов выключателей, реле времени в цепях защит, АПВ и АВР.

# Расчет уставок АВР с пуском по U

Для устройства АВР2 с целью ожидания срабатывания АВР1, расположенного ближе к источникам питания,

$$t_{\text{АВР}2} \geq t_{\text{АВР}1} + t_{\text{зап}} \quad (8)$$

$t_{\text{зап}} \approx 2 \div 3$  с в зависимости от типов выключателей и реле времени в схемах АВР1 и АВР2.

## 4) Выдержка времени реле однократности включения

$$t_{\text{о.в}} = t_{\text{вкл}} + t_{\text{зап}} \quad (9)$$

где  $t_{\text{вкл}}$  - время включения выключателя резервного источника питания;  $t_{\text{зап}}$  - время запаса, принимаемое равным  $0,3 \div 0,5$ с.



# Расчет уставок АВР прочих АВР

Уставка пускового органа минимального реле тока

$$I_{c.p} = \frac{I_{\text{нагр. min}}}{k_{отс} \cdot K_I}, \quad (10)$$

$I_{\text{нагр. min}}$  — минимальный ток нагрузки рабочего присоединения;

$k_I$  — коэффициенты трансформации трансформатора тока.

Уставка пускового органа реле частоты — 48 Гц.

**Благодарю за внимание!**  
...