

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН.

Ташкентский Государственный Технический Университет
им. Абу Райхана Беруни

Методические указания
к практическим занятиям по дисциплине
«Вопросы эксплуатации электрических
станций и подстанций»

для бакалавров специальности
5520200 - «Электроэнергетика»

Ташкент - 2007.

Методические указания составил *Григорьев Ю. А.*

Данные методические указания позволяют более глубоко изучить работу генератора в различных режимах в зависимости от параметров P , Q , I_f , а также получить практические навыки в построении круговой диаграммы.

Методические указания утверждены

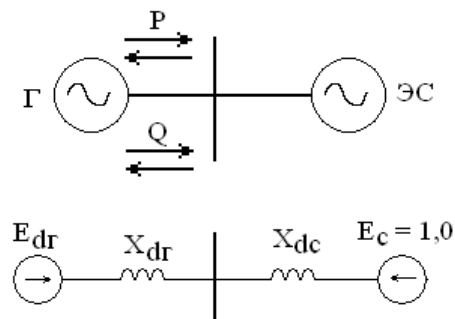
Методическим советом ЭФ ТашГТУ

.....200.....

Программа выполнения работ.

1. Особенности работы ТГ в режиме СК.
2. Особенности работы ГГ в режиме СК.
3. Ограничение режимов работы генератора в режиме СК.
4. Составляющие потерь активной мощности, обусловленные реактивной нагрузкой генератора.

Схема выдачи (потребления) активной и реактивной мощности:



Примечание: 1) $X_{d\Sigma} = X_{dr} + X_{dc}$;

2) X_{dc} состоит из суммы сопротивлений от ЭС до Г.

Отчет должен содержать:

1. Построение круговой диаграммы генератора согласно заданному варианту.
2. Построение векторных диаграмм:
 - а) $Q = \text{var}$, $P = \text{var}$, $I_f = \text{const}$;
 - б) $Q = \text{var}$, $P = \text{const}$, $I_f = \text{var}$;
 - в) $Q = \text{const}$, $P = \text{var}$, $I_f = \text{var}$;

1. Работа турбогенератора в режиме синхронного компенсатора с присоединенной турбиной.

Работа генератора в режиме синхронного компенсатора с присоединенной турбиной возможна в том случае, если турбина допускает длительный беспаровой режим (без повышения температуры отдельных элементов до недопустимых значений).

При работе турбогенератора в режиме синхронного компенсатора, с присоединенной турбиной, турбина мощностью более 50 МВт не может работать длительное время при открытии направляющего аппарата близком к холостому ходу. При полностью закрытом направляющем аппарате, вращение паровой турбины со стороны генератора, перешедшего в двигательный режим, может вызвать перегрев хвостовой части турбины. До 3-х минут турбогенератор может работать электродвигателем с присоединенным валом паровой турбины без пропуска пара для охлаждения. При длительной работе турбогенератора в качестве синхронного компенсатора турбина должна быть отсоединена от генератора.

В настоящее время широко практикуется перевод турбогенераторов в режим синхронного компенсатора без отсоединения турбин. Турбогенераторы мощностью 50 МВт и выше используются в режиме синхронного компенсатора с отсоединением генераторов от турбин. Турбогенераторы мощностью до 6 МВт переводятся в режим синхронного компенсатора без расцепления с турбиной. Опыт перевода более мощных турбогенераторов в режим синхронного компенсатора без отсоединения их от турбины еще мал.

Для обратного перевода агрегата в генераторный режим требуется восстановить жесткое соединение валов, на что затрачивается много времени. Поэтому на станциях, где часто турбогенератор работает в режиме синхронного компенсатора однажды собранную схему оставляют. В покрытии максимума активной нагрузки такой генератор не участвует.

2. Перевод гидрогенератора в режим синхронного компенсатора.

Генераторы по своей конструкции могут работать в режиме синхронных компенсаторов только с присоединенной гидротурбиной. Перевод гидрогенераторов в режим синхронных компенсаторов может производиться без остановки агрегатов и не требует никаких переключений в электрической схеме. При наличии воды, для покрытия дефицита реактивной мощности энергосистем, свободные гидрогенераторы используются в качестве синхронных компенсаторов. Если воды недостаточно, то работа гидрогенератора в компенсаторном режиме производится при непосредственном соединении с турбиной, но с обязательным освобождением рабочего колеса турбины от воды. Если в рабочем колесе остается вода, то рабочее колесо будет перемалывать воду, на что потребуется большая активная мощность, получаемая генератором от системы.

При переводе гидрогенератора в режим синхронного компенсатора в тех случаях, когда рабочее колесо турбины расположено выше уровня нижнего бьефа, необходимо осуществить срыв вакуума впуском воздуха из атмосферы в область рабочего колеса через клапан срыва вакуума.

Процесс срыва вакуума производится в следующей последовательности:

1. Агрегат, работающий в сети, разгружается от активной нагрузки до полного закрытия направляющего аппарата без отключения от сети. Генератор начинает работать двигателем потребляя активную мощность из сети.

2. В камеру рабочего колеса турбины впускается атмосферный воздух через реконструированный клапан срыва вакуума. Контроль за состоянием турбины и ее обслуживанием при работе агрегата в режиме синхронного компенсатора остаются теми же, что и при работе в генераторном режиме. После срыва вакуума увеличением возбуждения генератор загружается реактивной нагрузкой.

Когда рабочее колесо гидротурбины расположено ниже уровня воды в нижнем бьефе, следует отжать воду впуском в область рабочего колеса воздуха под давлением от специальных ресиверов.

Освобождение рабочего колеса от воды путем отжатия ее производится в следующей последовательности:

а) после разгрузки агрегата от активной нагрузки и закрытия направляющего аппарата, в камеру рабочего колеса впускается сжатый воздух от ресивера. Величина создаваемого в камере избыточного давления должна обеспечить снижение уровня воды до отметки нижнего торца рабочего колеса турбины;

б) после освобождения рабочего колеса от воды, что определяется по уменьшению потребляемой активной мощности из сети, впуск воздуха прекращается.

Утечки воздуха из камеры рабочего колеса необходимо восполнять с помощью компрессоров, которые включаются в работу периодически при падении давления в камере. Наблюдение за давлением ведется по манометру.

В конструкции турбины должны быть выполнены уплотнения для поддержания давления воздуха.

3. Ограничение режимов работы генератора в режиме компенсатора.

Как и любая синхронная машина, синхронный генератор может работать в режиме генератора или электродвигателя как с перевозбуждением, так и с недовозбуждением. Известно, что при работе машины в генераторном режиме активная мощность всегда выдается в сеть (положительное направление мощности), а при работе в качестве двигателя

машина получает активную мощность из сети (отрицательное направление мощности). Реактивная мощность выдается в сеть при перевозбуждении машины (положительный знак мощности) и потребляется из сети при недовозбуждении (отрицательный знак мощности). При графическом изображении мощности на диаграмме синхронной машины вектор полной мощности S может проходить в любом из четырех квадрантов тригонометрического круга.

На рисунке 1 изображена диаграмма допустимых мощностей синхронного генератора с учетом ограничений режимов работы генератора и турбины.

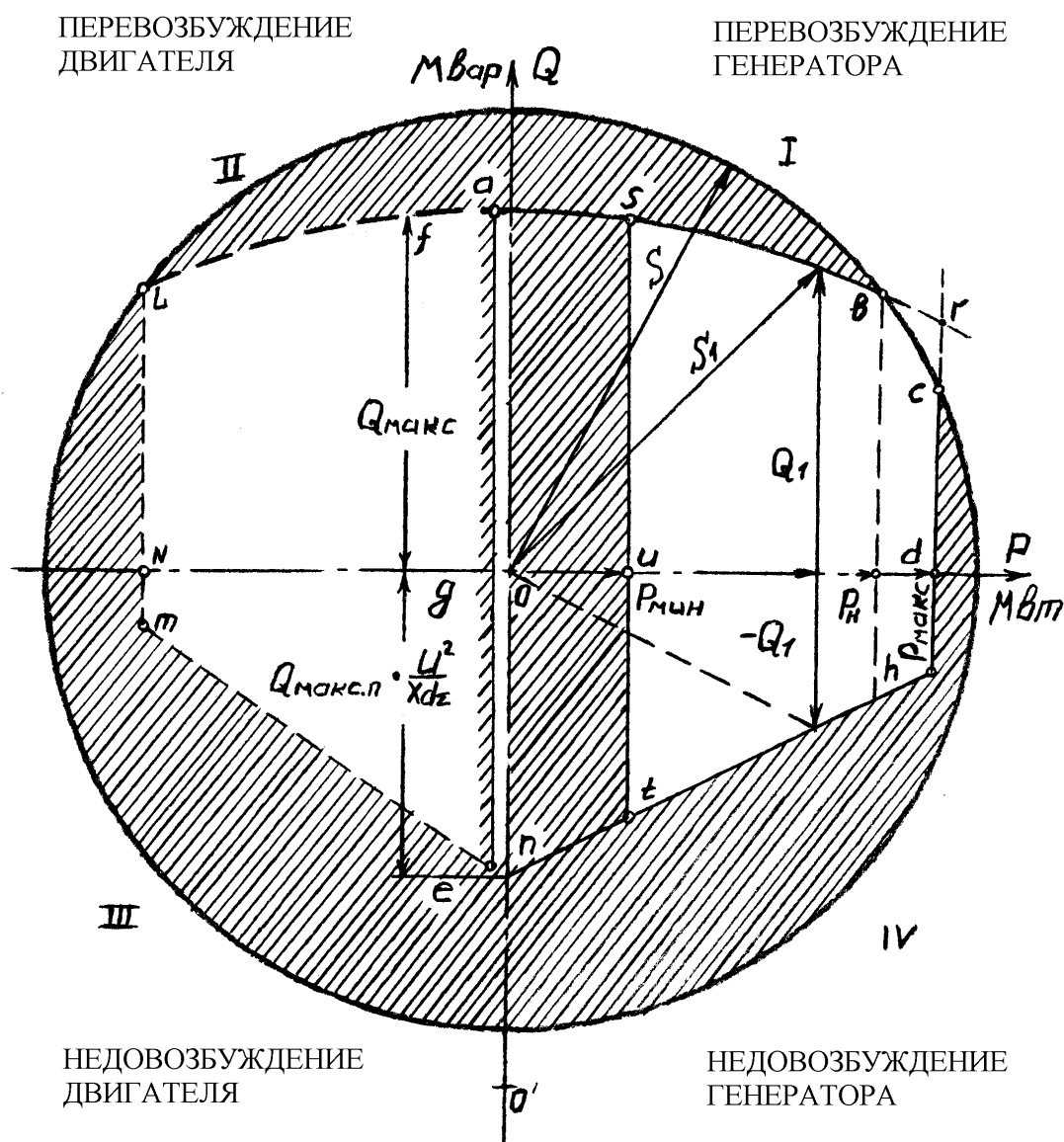


Рис.1 Круговая диаграмма допустимых мощностей синхронного генератора.

Внешней границей диаграммы является окружность радиусом S_n , учитывающая ограничение нагрузки статора генератора по полной мощности. Внутри этой окружности построены границы допустимых нагрузок с учетом ограничений мощности турбины (ак-

тивная мощность P) и тока ротора генератора (реактивная мощность Q). По условиям работы паротурбины ограничиваются величины максимально и минимально допустимых активных нагрузок P_{\max} и P_{\min} . Для гидротурбины не всегда ограничивается минимальная нагрузка, но имеют место ограничения при средних нагрузках, связанные с кавитацией турбины (на диаграмме эти ограничения не показаны). Таким образом, зона допустимых режимов работы агрегата по активной мощности с учетом ограничений нагрузок паротурбины находится в пределах от P_{\min} до P_{\max} . Если генератор имеет необходимые устройства для перевода в режим синхронного компенсатора, то появляется еще одна зона допустимых режимов: между линией нулевой нагрузки $Q=0$ (при $P=0$) и линией $f-g-e$. Ширина этой зоны определяется величиной потерь активной мощности в агрегате при компенсаторном режиме зависящей от реактивной нагрузки генератора. Поэтому линия $f-g-e$ – кривая. Мощность, покрывающая эти потери, поступает из сети в генератор. На насосно-аккумулирующих ГЭС, в период зарядки гидроаккумуляторов, турбины могут работать в качестве насосов, а генераторы - в качестве их синхронного электропривода. Зона режимов работы таких гидрогенераторов на рисунке 1 обозначена пунктирными линиями (a-l-k-m-n).

По условиям нагрева ротора синхронного генератора ограничивается максимально допустимая величина реактивной мощности, выдаваемая в сеть при работе генератора с перевозбуждением.

Ограничение реактивной мощности генератора в зависимости от его активной нагрузки может быть определено графически. Ниже приводится способ графического построения кривой ab ограничения реактивной мощности генератора.

На рисунке 2 построена кривая ab для генератора: $S_H=90$ МВА, $\cos\varphi_H=0.8$, $X_d=0.9$.

Порядок построения:

- 1) из начала координат O проводим дугу окружности радиусом S_H ;
- 2) по оси абсцисс откладываем $P_H=S_H \cdot \cos\varphi_H$;
- 3) определяем точку b на дуге S_H .

Эта точка соответствует номинальному режиму работы генератора, то есть номинальным токам статора и ротора при номинальном напряжении на выводах генератора.

4. по оси ординат вниз откладывают отрезок $OO' = OK_3 \cdot S_H = \frac{S_H}{X_{d0}} = \frac{90}{0.9} = 100 \text{ МВА} .$

5. Из точки O' , как из центра, проводят окружность радиусом $O'b$ и получаем искомую кривую ab .

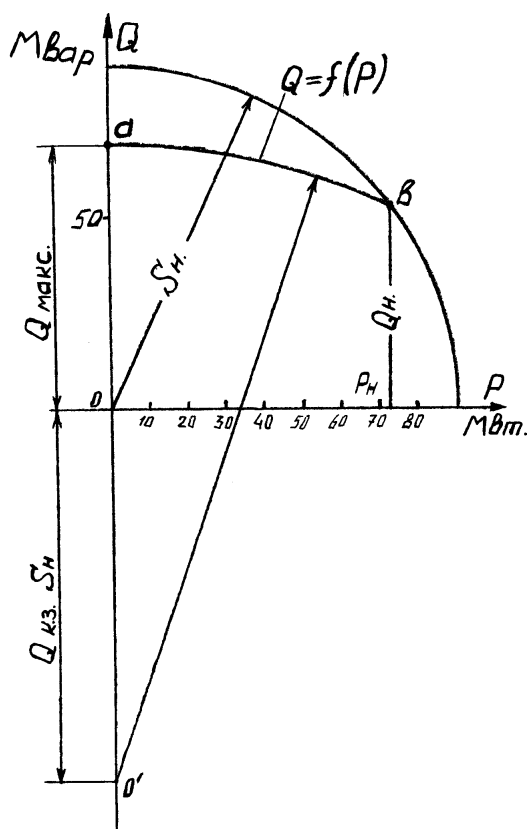


Рис. 2 Графический расчет ограничения реактивной мощности генератора в зависимости от активной мощности.

Таким же путем строится кривая максимально допустимой реактивной мощности и во втором квадранте диаграммы.

Величина максимально допустимой реактивной мощности, потребляемой генератором из сети при работе его с недовозбуждением ограничивается по условиям устойчивой параллельной работы недовозбужденного генератора в системе. Поэтому граничные значения реактивной мощности, потребляемой генератором из сети в режиме недовозбуждения определяются устойчивостью электрических систем. Пределы устойчивой работы зависят от параметров данного генератора и электрической системы, а также от способа регулирования возбуждения. При работе станции на шины бесконечной мощности определение предела передаваемой мощности генератора в режиме недовозбуждения производится по формуле идеального предела мощности при постоянной синхронной ЭДС, то есть при отсутствии автоматического регулирования возбуждения генераторов системы:

$$P_0 = \frac{E_d \cdot U}{X_d} \quad (1),$$

где $X_{d\Sigma}$ -синхронной индуктивное сопротивление генераторов станции совместно с внешним сопротивлением X_c от шин генераторного напряжения до шин системы бесконечной мощности, на которой поддерживается напряжение U .

Синхронная ЭДС с учетом отрицательного знака реактивной мощности в режиме недовозбуждения генератора определяется из выражения:

$$E_d = \sqrt{\left(U - \frac{Q \cdot X_{d\Sigma}}{U}\right)^2 + \left(\frac{P \cdot X_{d\Sigma}}{U}\right)^2} \quad (2).$$

Значение этой ЭДС, получаемое из выражения (1) идеального предела мощности, равно $E_d = \frac{P_0 \cdot X_{d\Sigma}}{U}$, и при запасе устойчивости 15% равно $E_d = \frac{1,15 \cdot P_0}{U} \cdot X_{d\Sigma}$ (3).

Решая совместно уравнения (2) и (3) получим следующее выражение для реактивной мощности генератора (или станции) включенного на шины неизменного напряжения U

энергосистемы за сопротивлением $X_{d\Sigma}$: $Q = \frac{U^2}{X_{d\Sigma}} - 0,566 \cdot P_0$ (4), где Q – предельная ве-

личина реактивной мощности генераторов в режиме недовозбуждения при заданной величине активной нагрузки станции P_0 . При $P_0=0$ получается максимальное значение реактивной мощности, потребляемой генератором в режиме холостого хода или в режиме

компенсатора (точка n на рисунке 1): $Q_{\max} = \frac{U^2}{X_{d\Sigma}}$ (5).

Подставив в выражение (4) значение $Q=0$, находим (за пределами рисунка) точку пересечения прямой линии $Q=f(P_0)$, определяемой выражением (4), с осью абсцисс:

$$P_0 = \frac{U^2}{0,566 \cdot X_{d\Sigma}} \quad (6).$$

Отрезок ch прямой, проведенной через полученные две точки g и d , является линией ограничения реактивной мощности генератора в режиме недовозбуждения по условиям устойчивости (с коэффициентом запаса 1,15). Построение линии ограничения реактивной мощности генератора насосно-аккумулирующей ГЭС, работающего в режиме недовозбуждения синхронного двигателя, производится по этим же формулам. Приведенные формулы справедливы для генераторов, работающих в различных режимах без АРВ. Если же генератор снабжен АРВ пропорционального действия, приспособленным для регулирования недовозбужденных синхронных машин, то в этих формулах вместо значения X_d подставляется значение переходного сопротивления $X'd$.

4. Потери активной мощности, обусловленные реактивной нагрузкой генераторов.

В энергосистемах основным источником реактивной мощности являются генераторы.

Если в зарубежных энергосистемах электростанции производят 30-50% всей потребляемой реактивной мощности, то в энергосистемах стран СНГ доля электростанций в балансе реактивной мощности составляет 70-90%. Поэтому часть генераторов пиковых станций не останавливается в резерв, а работает специально для покрытия реактивной нагрузки потребителей. На пиковой станции различают два вида источников реактивной мощности: совмещенные и специальные. Совмещенными источниками являются те генераторы, которые вырабатывая активную мощность производят также реактивную как побочный продукт.

Потери активной мощности на производство реактивной в совмещенных источниках невелики: они равны 0,003-0,01 кВт/кВАр. В технико-экономических расчетах ими обычно пренебрегают.

Специальные источники реактивной мощности – это конденсаторы, асинхронные компенсаторы и генераторы, работающие в данный момент только для выработки реактивной мощности. Потери в этих генераторах, механические потери в турбинах и расходы энергии на собственные нужды обусловлены производством недостающей реактивной мощности.

В этом случае удельные потери составляют 0,03÷0,06 кВт/кВАр, то есть в 6÷10 раз больше, чем в совмещенных источниках. Потери мощности в генераторе при любой его нагрузке состоят из трех основных слагающих:

- 1) постоянные потери $\Delta P_{\text{пост}}$ (на трение, на перемагничивание, на вентиляцию);
- 2) переменные потери в статоре $\Delta P_{\text{С}}$, пропорциональные квадрату тока в обмотке статора;
- 3) переменные потери в роторе $\Delta P_{\text{В}}$, пропорциональные квадрату тока в роторе (возбуждение).

Таким образом, суммарные потери в номинальном режиме равны:

$$\Delta P_{\text{ГН}} = \Delta P_{\text{пост}} + \Delta P_{\text{СН}} + \Delta P_{\text{ВН}}.$$

При нагрузке генератора S отличной от номинальной $S_{\text{н}}$ потери равны:

$$\Delta D_{\bar{A}} = \Delta D_{i \bar{N} \bar{D}} + \Delta D_{\bar{N} i} \cdot \left(\frac{S}{S_f}\right)^2 + \Delta D_{\bar{A} i} \cdot \left(\frac{i_{\bar{a}}}{i_{\bar{a}i}}\right)^2;$$

Часть этих потерь связана с активной мощностью генератора, часть с реактивной.

Варианты задания.

| Вариант | Тип генератора | Sном, МВА | Pном, МВт | Uном, кВ | cosφ | Сопротивление генератора, * | | | ОКЗ, * | Запас устойчивости генератора | Система | | |
|---------|----------------|--------------|--------------|-------------|------|--------------------------------|-------|-------|--------|----------------------------------|-----------|----------|-----------|
| | | | | | | X''d | X'd | Xd | | | Uс, кВ | L, кМ | Xс, Ом |
| 1 | T-12-2У3 | 15 | 12 | 10,5 | 0,8 | 0,114 | 0,174 | 1,85 | 0,658 | 1,22 | 35 | 10 | 5 |
| 2 | T-20-2У3 | 25 | 20 | 10,5 | 0,8 | 0,131 | 0,2 | 2,07 | 0,6 | 1,18 | 35 | 20 | 8 |
| 3 | TBC-32У3 | 40 | 32 | 10,5 | 0,8 | 0,143 | 0,238 | 2,458 | 0,488 | 1,15 | 110 | 40 | 4 |
| 4 | ТВФ-63-2У3 | 78,75 | 63 | 10,5 | 0,8 | 0,136 | 0,202 | 1,513 | 0,756 | 1,1 | 110 | 60 | 4 |
| 5 | ТВФ-120-2У3 | 125 | 100 | 10,5 | 0,8 | 0,192 | 0,278 | 1,907 | 0,499 | 1,25 | 110 | 50 | 0 |
| 6 | ТВВ-160-2ЕУ3 | 188 | 160 | 18 | 0,85 | 0,213 | 0,304 | 1,713 | 0,615 | 1,17 | 220 | 80 | 0 |
| 7 | ТВВ-200-2АУ3 | 235,3 | 200 | 15,75 | 0,85 | 0,18 | 0,272 | 2,1 | 0,572 | 1,16 | 220 | 100 | 2 |
| 8 | СВ-420/60-24 | 10 | 8 | 6,6 | 0,8 | 0,27 | 0,27 | 1,02 | 1,32 | 1,15 | 110 | 50 | 8 |
| 9 | СВ-546/80-36 | 15 | 12 | 6,6 | 0,8 | 0,38 | 0,38 | 1,09 | 1,82 | 1,19 | 35 | 17 | 6 |
| 10 | СВ-800/76-60 | 18 | 14,5 | 10,5 | 0,8 | 0,27 | 0,28 | 0,998 | 1,52 | 1,21 | 35 | 22 | 10 |
| 11 | СВ-600/110-40 | 25 | 20 | 10,5 | 0,8 | 0,24 | 0,22 | 0,95 | 1,24 | 1,24 | 110 | 35 | 12 |
| 12 | СВ-800/105-60 | 30 | 24 | 10,5 | 0,8 | 0,2 | 0,3 | 1 | 1,1 | 1,2 | 220 | 110 | 0 |
| 13 | СВ-850/120-60 | 40 | 32 | 10,5 | 0,8 | 0,23 | 0,31 | 0,82 | 1,42 | 1,23 | 110 | 55 | 0 |
| 14 | СВ-840/130-52 | 50 | 40 | 15,75 | 0,8 | 0,23 | 0,31 | 0,64 | 1,78 | 1,19 | 220 | 85 | 0 |
| 15 | СВ-850/190-40 | 100 | 90 | 13,8 | 0,9 | 0,22 | 0,34 | 1 | 1 | 1,2 | 220 | 90 | 1 |

Список литературы:

1. Баркан Я. Д. «Эксплуатация электрических систем», Москва 1990г.
2. ПТЭ Электрических сетей России, Москва 2003г.
3. Мандрыкин С. А., Филатов А. А. «Эксплуатация и ремонт электрооборудования станций и систем», Москва 1990г.
4. Филатов А. А. «Оперативное обслуживание электрических ПС», Москва 1990г.
5. Учебная литература по ЭЧС.
Авторы: Васильев А. А., Неклепаев Б. Н., Усов С. В.
6. Дорошев К. И. «Эксплуатация КРУ 6-220 кВ», Москва 1987г.