

точностью. Введение критерия минимизации тока снижает точность регулирования момента с 0,05 до 0,64%, что приемлемо для большинства практических задач управления.

В то же время введение критерия минимума тока статора снижает ток статора на 4,5%, а также снижает величину потокосцепления статора на 21%. В результате происходит снижение потерь

энергии, как в меди статора, так и существенное снижение потерь энергии в стали машины.

Таким образом, результаты компьютерного моделирования показали работоспособность полученного многокритериального закона управления АД с выполнением всех поставленных целей управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мирошник И.В. Нелинейное адаптивное управление сложными динамическими системами / Мирошник И.В., Никифоров В.О., Фрадков А.Л. – Спб.: "Наука", 2000г. 549 с.
2. Ключев В.И. Теория электропривода. – М.: Энергоатомиздат, 2001. 704 с.
2. Proceedings of the IEEE. Sensorless Control of Induction Motor Drives, Joachim Holtz, Vol. 90, No. 8, Aug. 2002, pp. 1359 – 1394.

□ Авторы статьи:

Завьялов
Валерий Михайлович
- канд.техн.наук, доц. каф. электропривода и автоматизации

Неверов
Андрей Александрович
- ассистент каф. электропривода и автоматизации

Семыкина
Ирина Юрьевна,
- студентка

УДК 621.313.332

Г.И. Разгильдеев, Р.А. Храмцов

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА НА ИНДИВИДУАЛЬНУЮ СЕТЬ СРЕДСТВАМИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В последние годы, в связи с поисками путей энергосбережения в различных отраслях хозяйства, возник интерес к энергетическим комплексам, потребляющим нетрадиционные энергоресурсы. При электроснабжении небольших животноводческих комплексов, например, в качестве первично-го энергоносителя можно рассматривать биогаз, а в качестве генератора - асинхронный двигатель, приводимый двигателем внутреннего сгорания. Возможностями применения простого в эксплуатации асинхронного генератора (АГ) в небольших по мощности (до 100 кВт) электростанциях посвящено ряд исследований, в которых отмечаются трудности поддержания частоты генерируемого напряжения при наличии индуктивной нагрузки.

Для возбуждения АГ применяют конденсаторы емкостью, зависящей от характера и режима нагрузки. Найти законы регулирования емкости конденсаторов можно моделированием работы АГ с разным характером и уровнем нагрузки.

Анализ публикаций, посвященных разработкам математических моделей АГ, показывает разнообразие методов преобразований и описаний электрической машины. Различия в математических описаниях АГ заключаются в результате исследования, т.е. какой результат необходимо получить при моделировании. Определив объект исследования, технические условия, точность результатов расчета, что позволит сделать возможные допущения, получим интересующую нас математическую модель.

На основе математического описания АГ [1] составлена модель с помощью средства визуального моделирования Simulink из пакета Matlab (рис. 1).

В предложенной модели АГ влияние насыщения моделируется путем использования динамических индуктивностей, а потери в стали учитываются с помощью дополнительной (фиктивной) обмотки статора.

Дифференциальные уравнения АГ в неподвижной системе координат $\alpha\beta$ имеют вид:

для обмотки статора

$$\begin{aligned} -u_{1\alpha} &= i_{1\alpha}r_1 + L_{\sigma 1} \frac{di_{1\alpha}}{dt} + \frac{d\Psi_{\delta\alpha}}{dt}, \\ -u_{1\beta} &= i_{1\beta}r_1 + L_{\sigma 1} \frac{di_{1\beta}}{dt} + \frac{d\Psi_{\delta\beta}}{dt}; \end{aligned}$$

для фиктивной обмотки статора

$$\begin{aligned} 0 &= i_{\mu\alpha}r_{\mu\alpha} + L_{\sigma\mu\alpha} \frac{di_{\mu\alpha}}{dt} + \frac{d\Psi_{\delta\alpha}}{dt}, \\ 0 &= i_{\mu\beta}r_{\mu\beta} + L_{\sigma\mu\beta} \frac{di_{\mu\beta}}{dt} + \frac{d\Psi_{\delta\beta}}{dt}; \end{aligned}$$

для обмотки ротора

$$\begin{aligned} 0 &= i_{2\alpha}r_2 + L_{\sigma 2} \frac{di_{2\alpha}}{dt} + \\ &+ \frac{d\Psi_{\delta\alpha}}{dt} + \omega_p L_{\sigma 2} i_{2\beta} + \omega_p \Psi_{\delta\beta}, \end{aligned}$$

$$0 = i_2\beta r_2 + L_{\sigma 2} \frac{di_2\beta}{dt} + \\ + \frac{d\Psi_{\delta\beta}}{dt} - \omega_p L_{\sigma 2} i_{2\alpha} - \omega_p \Psi_{\delta\alpha},$$

где $u_{1\alpha}$, $u_{1\beta}$ - напряжение по осям α , β ;
 $i_{1\alpha}$, $i_{1\beta}$, $i_{2\alpha}$, $i_{2\beta}$ - токи статора и ротора,
 r_1 , r_2 - активные сопротивления фаз статора и ротора;
 $r_{\mu\alpha}$ - фиктивное сопротивление, эквивалентное потерям в стали;
 $i_{\mu\alpha\alpha}$, $i_{\mu\alpha\beta}$ - токи в фиктивной обмотке статора (активные составляющие намагничивающего тока по соответствующим осям);
 $L_{\delta 1}$, $L_{\delta 2}$, $L_{\delta\mu\alpha}$ индуктивности рассеяния фаз статора и ротора и фиктивной обмотки статора;
 $\Psi_{\delta\alpha}$, $\Psi_{\delta\beta}$ - проекции вектора главного потокосцепления на оси α , β ;

ω_p - частота вращения ротора.

Уравнения учета внешней цепи, т.е. конденсаторов возбуждения и нагрузки:

$$\frac{du_{1\alpha}}{dt} = \frac{i_{C\alpha}}{C}, \quad \frac{du_{1\beta}}{dt} = \frac{i_{C\beta}}{C},$$

$$i_{C\alpha} = i_{1\alpha} - i_{H\alpha}, \quad i_{C\beta} = i_{1\beta} - i_{H\beta}, \\ \frac{di_{H\alpha}}{dt} = \frac{u_{1\alpha} - i_{H\alpha}r_H}{L_H}, \quad \frac{di_{H\beta}}{dt} = \frac{u_{1\beta} - i_{H\beta}r_H}{L_H},$$

где $i_{C\alpha}$, $i_{C\beta}$ - токи в конденсаторах возбуждения;
 $i_{H\alpha}$, $i_{H\beta}$ - токи нагрузки по соответствующим осям;
 C - емкость конденсаторов возбуждения;
 r_H , L_H - активное сопротивление и индуктивность нагрузки.

С помощью представленной модели были проведены исследования работы АГ на индивидуальную сеть при различных нагрузках. В качестве АГ была использована асинхронная машина 4A132S4УЗ, параметры которой имеют следующие значения: $r_1 = 0.739$ Ом; $r_2 = 0.471$ Ом; $L_1 = 0.004$ Гн; $L_2 = 0.006$ Гн. Индуктивность рассеяния фиктивной обмотки статора принималась равной $L_\mu = 0.112$ Гн, фиктивное сопротивление $r_\mu = 64$ Ом. Коэффициенты аппроксимирующих полиномов, рассчитанные на основе зависимости $i_\mu = f(\Psi_\delta)$, $k_1 = 12.6$, $k_3 = 30.2$. Частота вращения ротора АГ принята постоянной $\omega = 330$ рад/с.

При работе машины в установившемся режиме общие активные и реактивные сопротивления

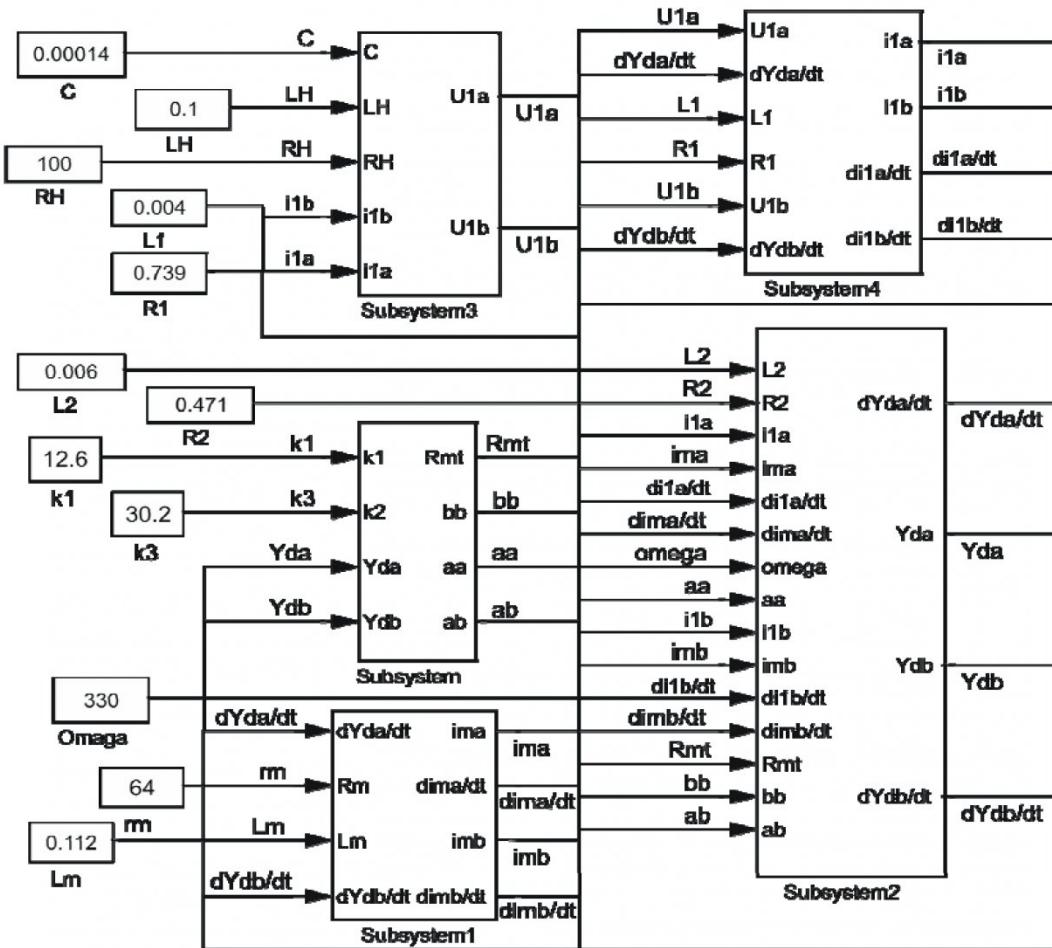


Рис.1. Модель асинхронного генератора с короткозамкнутым ротором под нагрузкой

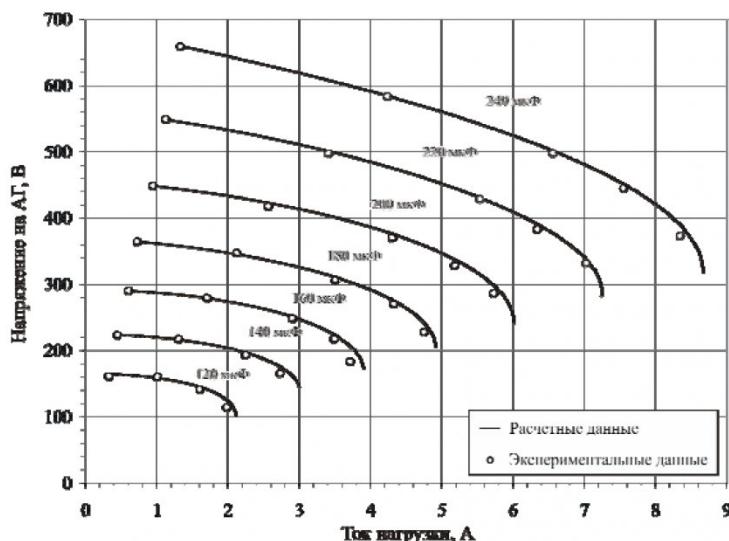


Рис.2. Внешние характеристики асинхронного генератора, работающего на активную нагрузку при постоянном числе оборотов ротора

машины должны быть равны по величине, соответственно, активному и реактивному сопротивлениям внешней цепи, что равносильно равенству полных проводимостей машины и её внешней сети [2].

$$\dot{Y}_e = \dot{Y}_c + \dot{Y}_n,$$

где \dot{Y}_e , \dot{Y}_c , \dot{Y}_n — полные проводимости фазы асинхронного генератора, группы конденсаторов и нагрузки.

Во внешнюю сеть, на которую работает асинхронный генератор с конденсаторным возбуждением, была включена активная нагрузка, величина

которой может изменяться в широких пределах.

Считаем, что асинхронный генератор работает при постоянной частоте генерируемых колебаний. Проводимость конденсаторов возбуждения при постоянной частоте генерируемых колебаний зависит только от величины их емкости. Проводимость фазы нагрузки с постоянным коэффициентом мощности зависит исключительно от величины фазы токоприемника.

Что же касается проводимости фазы асинхронного генератора, то она определяется параметрами машины, т.е. ее активными и индуктивными сопротивлениями.

По мере изменения нагрузки напряжение изменяется, что приводит к различному состоянию насыщения магнитных цепей машины.

Это сказывается на изменении величины взаимной индуктивности фаз статора и ротора. Изменение тока нагрузки, сопровождается установлением того или иного скольжения, вызывая значительные изменения приведенного активного сопротивления ротора.

Таким образом, первостепенными факторами, влияющими на проводимость асинхронного генератора, являются напряжение на зажимах машины и величина скольжения, определяющие собой численные значения параметров нагружаемой асинхронной машины.

Для поддержания заданного напряжения постоянным реактивная проводимость намагничивающего контура должна оставаться неизменной, независимой от нагрузки. Для этого необходимо, чтобы любое приращение реактивной проводимости главного контура, обусловленное изменением нагрузки, было компенсировано соответствующим приращением реактивной проводимости конденсаторов.

На рис. 2 представлены внешние характеристики асинхронного генератора, работающего на активную нагрузку при разных значениях емкости возбуждения.

Из рассмотрения представленных кривых видно, что величина возбуждающей емкости оказывает существенное влияние на характеристики $U_\phi = f(I_n)$ при $\cos\phi = const$.

Применение сравнительно больших емкостей, приводит к повышению напряжения и высокому состоянию насыщения магнитной системы генератора. Этим обеспе-

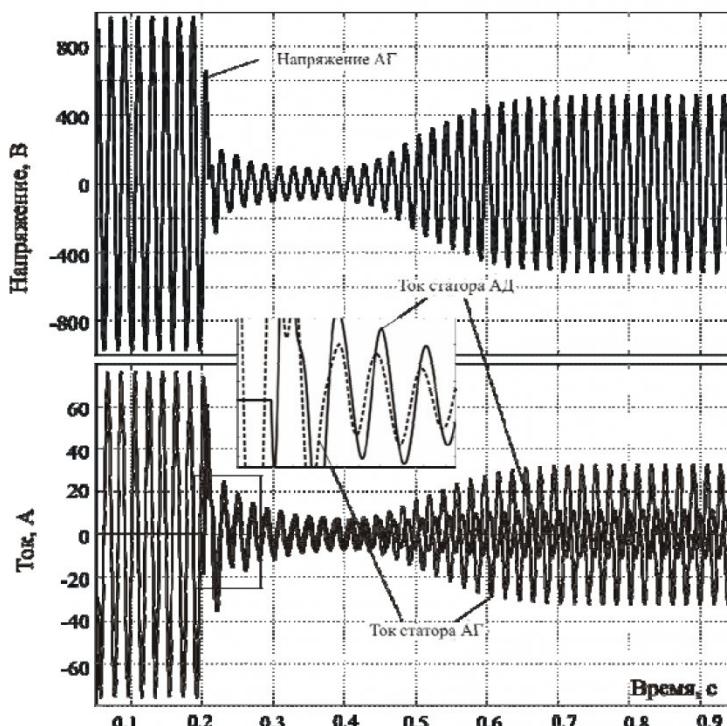


Рис.3. Кривые напряжения, тока статора АГ и тока статора АД при пуске

чивается сравнительно пологая форма характеристики и значительная перегрузочная способность машины.

Небольшие емкости не дают возможности снять с генератора номинальную мощность, и приводят к быстро спадающим кривым.

На рис.2 кружками обозначены данные, полученные из эксперимента. Вращение ротора АГ осуществлялось с помощью асинхронного двигателя (АД) мощностью 11 кВт со скоростью на 5% больше синхронной в двигательном режиме. В качестве нагрузки использовались нагревательные элементы различной мощности. Совпадение данных, полученных при моделировании и экспериментальных данных говорит об адекватности разработанной математической модели реальным процессам в АГ.

Работа асинхронного генератора на симметричную нагрузку в значительной степени усложняется, если среди потребителей имеются потребители с моторной нагрузкой. Возникающие при этом затруднения особенно остро проявляются при пуске короткозамкнутых асинхронных двигателей потребителей.

Короткозамкнутые асинхронные двигатели, потребляя во время пуска большие пусковые токи при низком коэффициенте мощности, вызывает большое падение напряжения генератора, снижают устойчивость его работы, и могут привести к размагничиванию машины при пуске двигателей относительно большой мощности.

Так как при любом характере нагрузок в рассматриваемой энергетической системе должен иметь место баланс реактивных мощностей, то при неизменном возбуждении емкость конденсаторов будет ограничивать мощность пускаемых от генератора короткозамкнутых двигателей, реактивная проводимость которых при пуске значительно увеличивается, достигая 6-18 кратного увеличения по сравнению с проводимостью при номинальной нагрузке [2].

Процесс пуска АД типа 4A100S4У в сети АГ был смоделирован при помощи Simulink. Для создания математической модели АД было использовано математическое описание, рассмотренное в [3]. На рис. 3 показаны кривые напряжения, тока АГ и тока статора АД полученные в результате моделирования.

Устойчивая работа генератора возможна только тогда, когда емкость конденсаторов возбуждения подобрана так, что создает достаточную реак-

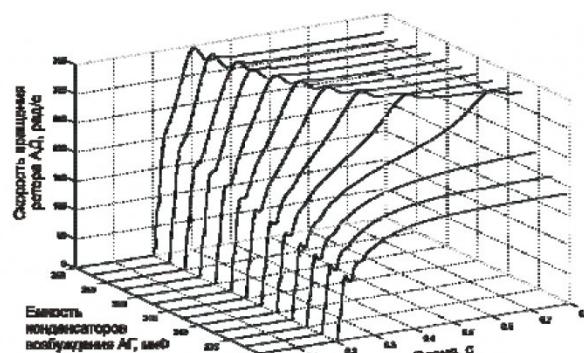


Рис. 4 . Изменение скорости АД 4A100S4У при пуске от сети АГ 4A132S4УЗ в условиях различной емкости возбуждения

тивную мощность для покрытия нужд как генератора, так и потребителей, без перехода работы генератора на неустойчивую часть его характеристики.

Было определено, что при работе асинхронного генератора с постоянной частотой вращения ротора и номинальной для него емкостью возбуждения, устойчивая работа генератора возможна при пуске АД мощностью не более 10% от номинальной мощности генератора. Под номинальной мощностью генератора подразумевается мощность при двигательном режиме работы электрической машины.

Применением дополнительной емкости, можно увеличить мощность пускаемых короткозамкнутых асинхронных двигателей до 40% от номинальной мощности генератора.

На рис. 4 показана зависимость изменения скорости вращения ротора АД в процессе пуска в зависимости от емкости конденсаторов возбуждения АГ.

При емкости возбуждения АГ меньше 237 мкФ на фазу при соединении конденсаторов в звезду запуск АД приводит к размагничиванию генератора, что не позволяет двигателю достигнуть номинальной скорости вращения. При увеличении емкости запуск АД становится возможным, при этом, чем больше емкость возбуждения, тем время, необходимое на запуск, меньше.

Таким образом, исследовав работу асинхронного генератора на индивидуальную сеть с различными видами нагрузки, можно сделать вывод, что асинхронный генератор можно использовать не только для сетей с активной нагрузкой, но и для сетей с двигательной нагрузкой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Джендубаев А.-З.Р. Математическая модель асинхронного генератора с учетом потерь в стали // Электричество. 2003. №7. С. 36-45.
2. Зубков Ю.Д. Асинхронные генераторы с конденсаторным возбуждением. - Алма-Ата: Изд. АН КазССР, 1949. 112 с.
3. Беспалов В.Я., Мошинский Ю.А., Петров А.П. Математическая модель асинхронного двигателя в обобщенной ортогональной системе координат // Электричество. 2002. №8. С. 33-39.

□ Авторы статьи:

Разгильдеев
Геннадий Иннокентьевич
- докт. техн. наук, проф.
каф. электроснабжения горных и
промышленных предприятий

Храмцов
Роман Анатольевич
- аспирант каф. электро-
снабжения горных и промышленных
предприятий

УДК 621.3.015.38

И.В. Сарычев

АНАЛИЗ ОТКЛЮЧЕНИЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ КЕМЕРОВСКОГО РАЙОНА

В 1936 г. завершилось строительство линии электропередач Белово – Прокопьевск напряжением 110 кВ. Стали работать в параллель на общую электрическую сеть ТЭЦ КМК и Кемеровская ГРЭС. Это был ввод первой воздушной линии 110 кВ и начало создания энергетической системы Кузбасса.

За семьдесят лет мощность энергосистемы возросла многократно, в настоящее время в эксплуатации находятся 224 электроподстанции высокого напряжения и более 30 тысяч км. воздушных линий электропередач.

На сегодняшний день протяженность воздушных линий (ВЛ) составляет: 110 кВ – 2814 км., в то время как ВЛ 500 кВ – 311 км., ВЛ 220 кВ – 985 км., и ВЛ 35 кВ – 2683 км. эти данные наглядно показаны на рис 1.

Наиболее протяжена сеть 110 кВ это составляет 41% от общей сети воздушных линий электропередач, 35 кВ – 39%, 220 кВ – 15%, 500 кВ – 5%.

По данным статистики ОАО «Кузбассэнерго» за последние 10 лет в энергосистеме произошло три тысячи триста отключений воздушных линий 35 кВ и выше. Из них на ВЛ 500 кВ – 136 отключений, на ВЛ 220 кВ – 252 отключения, в то время как на ВЛ 110 кВ произошло 2055 отключений, оставшаяся часть отключений приходится на ВЛ 35 кВ – 923. В процентном соотношении отключения в сети 35 кВ и выше приведены в табл. 1.

На рис.2. показано количество отключений а последние 10

лет по энергосистеме.

Большую часть отключений ВЛ составляют самоликвидирующиеся нарушения работы линий, длительность которых не превышает времени действия релейной защиты и автоматики. Сведения об устойчивых от-

ключениях воздушных линий электропередач за прошедшие 10 лет приведены так же в табл. 1. На рис.3. приведено количество отключений с неуспешным АПВ за последние 10 лет.

На отключения в сети 110 кВ приходится наибольшая

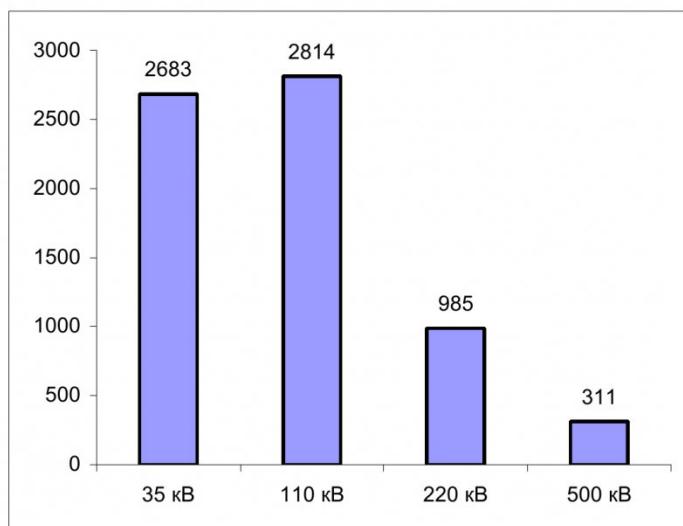


Рис.1. Диаграмма протяженности воздушных линий

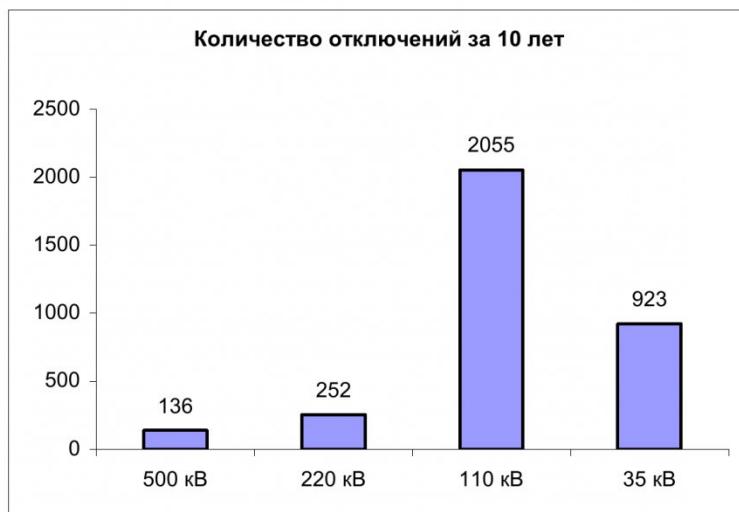


Рис.2. Диаграмма количества отключений за 10 лет