

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
Институт электродинамики

Препринт 740

А.Г. Мазуренко, И.К. Паляниченко, А.Ф. Кравчук,
В.Ф. Резцов

ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОНОМНОГО АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА
ПРИ РАБОТЕ В ИМПУЛЬСНОМ РЕЖИМЕ

Киев 1993

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
Институт электродинамики

Препринт 749

А.Г. Мазуренко, И.К. Паланиченко, А.Ф. Кравчук,
В.Ф. Резцов

ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОНОМНОГО АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА
ПРИ РАБОТЕ В ИМПУЛЬСНОМ РЕЖИМЕ

Киев 1993

Исследование автономного асинхронного генератора при работе в импульсном режиме / Мазуренко А.Г., Паляниченко И.К., Кравчук А.Ф., Резцов В.Ф. - Киев, 1993. - 38 с. - / Препр./АН Украины. Ин-т электродинамики; № 740 /.

Рассмотрены общие положения и сформулированы математическая модель работы автономного асинхронного генератора /ААГ/ на периодически разряжающуюся емкость. При дополнительных физических обоснованных предположениях дано численное решение математической модели системы автономный генератор - емкость.

Выполнен анализ режимов и приведены результаты исследования автономного асинхронного генератора на емкость при схеме соединения обмоток генератора звезда - звезда с нулевым проводом и без него

Ил. 14. Список лит.: с. 36 / 14 назв. /

Рецензент канд. техн. наук П.Ф. Василько

Утверждено к печати научным советом
Института электродинамики АН Украины



Институт электродинамики АН Украины

В настоящее время во многих отраслях промышленности нашли применение импульсные электрофизические процессы и агрегаты. Узким местом при разработке процессов и проектировании агрегатов электроимпульсной обработки материалов является отсутствие источников мощных импульсов электрической энергии. При электроимпульсной обработке материалов в сети предприятия создаются высокие гармоника, в связи с чем энергетическое обеспечение процесса целесообразно осуществлять от автономного источника. В виду простоты конструкции, экономичности и надежности при эксплуатации в качестве автономно работающего источника энергии лучше использовать асинхронный генератор.

1. Общие положения по работе ААГ на периодически разряжающуюся емкость

В работах [2, 3, 7] и др. обосновывается целесообразность применения асинхронных генераторов для автономных электростанций малой мощности и в подвижных электроагрегатах, а в [4] - для мощных энергосистем.

Одним из недостатков ААГ, препятствующих их широкому внедрению, является наличие батарей возбуждающих конденсаторов, которые создают дополнительный вес и увеличивают габариты энергоустановок с ААГ.

Однако для импульсных режимов работы с емкостным накоплением энергии наличие конденсаторной батареи необходимо при использовании любого типа генератора. Таким образом, основной недостаток ААГ трансформируется в преимущество, так как теперь батарея конденсаторов выполняет двойную роль: возбудителя генератора и накопителя энергии системы. При этом используются все преимущества асинхронной машины: простота конструкции, высокая эксплуатационная надежность, долговечность и относительно малый вес на единицу мощности по сравнению с другими типами генераторов. Так, например, вес асинхронных машин ниже по сравнению с синхронными машинами

в 1,4 - 1,5 раза, а по сравнению с бесконтактными, например с индукторными генераторами, уже в 2 - 3 раза.

Принципиально в импульсных системах могут использоваться ААГ как с короткозамкнутым, так и с фазным роторами.

Но так как бесконтактность системы может быть достигнута только при использовании ААГ с короткозамкнутым ротором, то применение ААГ с фазным ротором в импульсных системах нецелесообразно.

Известны две разновидности асинхронных машин с короткозамкнутым ротором: машины с массивным ротором, т.е. с ротором из одного гладкого цилиндра, выполненного из ферромагнитного материала, и машины с короткозамкнутым ротором в виде беличьей клетки. Однако, большинство асинхронных машин с массивным ротором / массивным ротором с торцовыми медными или латунными кольцами, омедненным массивным ротором, массивным ротором на медной или латунной втулке и т.д. / мало мощны из-за больших потерь в роторе и имеют низкий КПД [6]. Это свидетельствует о малой перспективности их применения для работы в импульсных режимах. Наиболее перспективны генераторы, имеющие короткозамкнутый ротор в виде беличьей клетки.

Так как воздушный зазор асинхронных машин мал по сравнению с зазором машин других типов, то индуктивная связь между ротором и статором у них достаточно хороша. Это приводит к значительному снижению сопротивления главной магнитной цепи и потока рассеяния. Следовательно, для возбуждения ААГ требуется меньшая намагничивающая сила, чем для генераторов других типов. Благодаря простоте конструкции в ААГ в принципе допускаются большие / до 150-200 тыс. об/мин. / скорости вращения ротора [14].

Перечисленные особенности ААГ позволяют ожидать больших скоростей протекания переходных процессов, чем в реактивных генераторах, что является существенным преимуществом. При малых скоростях протекания переходных процессов за время, отведенное для зарядки емкости, амплитуда напряжения на конденсаторе не достигает максимального установившегося значения и накопитель разряжается при более низком значении напряжения, когда переходный процесс еще не закончился. Поэтому при заданном напряжении на емкости перед началом разряда и малой скорости протекания переходных процессов расчетное установившееся значение напряжения $U_{уст}$ генератора должно быть несколько выше рабочего напряжения $U_{стр}$. Это требует увеличения вала генератора. При высокой скорости нарастания напря-

жения $U_{стл} \approx U_{стр}$ снижается относительный вес генератора.

Изложенное дает возможность сделать вывод, что импульсные системы ААГ будут иметь меньшие вес, габариты и стоимость, а также больший срок службы. Кроме того, по сравнению с генераторами других типов, используемыми в импульсных системах электрооборудования, они имеют простую конструкцию и технологию изготовления.

При использовании ААГ для работы в импульсных режимах его напряжение периодически изменяется скачкообразно. Скачок напряжения имеет место при разряде накопителя. Принципиально разряд возможно производить при любой фазе напряжения через половину $/ \pi/2 /$, один $/ T /$, полтора $/ 1,5 T /$, два $/ 2T /$ и т.д. периода T генерируемого напряжения. Однако по энергетическим соображениям при разряде через $1,5$; 2 и более периодов более рационален заряд емкостного накопителя через выпрямитель [9]. При безвыпрямительной зарядке в машине появляются субгармоники / гармоники ниже основной частоты f , что вызывает дополнительные потери и понижает КПД системы.

При разрядах накопителя через период $\omega t = T$ или полпериода $\omega t = T/2$ фаза разряда / угол φ / должна выбираться такой, чтобы в момент разряда напряжение на емкости было максимальным. В этом случае система будет развивать наибольшую мощность.

Во время заряда емкостей импульсные потребители от зарядной цепи отключены и включаются только на время разряда.

В зависимости от параметров импульсного потребителя и от постоянной времени разрядной цепи энергия конденсаторов отбирается за время t_n от нескольких десятков до одной-двух сот микросекунд.

Таким образом, импульсная система в принципе состоит из двух контуров: зарядного и разрядного, общим элементом которых является емкостный накопитель. Индуктивность зарядного контура, составной частью которой является индуктивность генератора, значительно выше индуктивности разрядного контура. Величина последней при проектировании должна быть снижена до минимума. Так как $t_n/T = 0,01 \div 0,001$, ротор генератора в течение импульса можно считать неподвижным, а ток в зарядном контуре неизменным. Замыкание разрядной цепи, продолжительностью значительно меньшей постоянной времени контура генератора и периода генерируемой им ЭДС, не является коротким замыканием фазы генератора. Поэтому состояние генератора за время разрядного импульса практически не изменяется даже при пренебрежимо малом активном сопротивлении разрядной цепи. Условно

можно считать, что за время разрядного импульса заряженная емкость отключается от генератора и подключается разряженная, что приводит к новому нарастанию колебаний напряжения и тока в зарядной цепи. Фактически при работе ААГ на периодически разряжающуюся емкость сопротивление последней в течение зарядного периода изменяется от нуля сразу после разряда до установившегося значения в конце заряда.

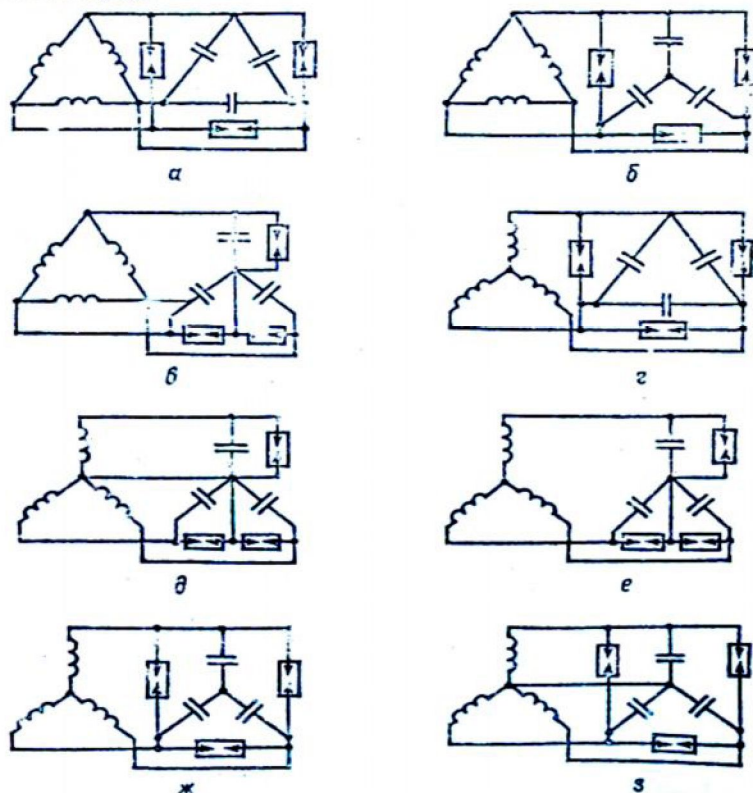


Рис. 1

Принципиально возможны восемь коммутационных схем подключения обмоток трехфазного симметричного ААГ и конденсаторных батарей [8] / рис. 1 /, схемы с дросселем и колебательным контуром в нулевом проводе и схемы с выпрямителями [14].

Разряды емкостных накопителей могут производиться в одной, двух и трех фазах ААГ через один период T или половину периода $T/2$ генерируемого напряжения / рис. 2 /. При разрядах в

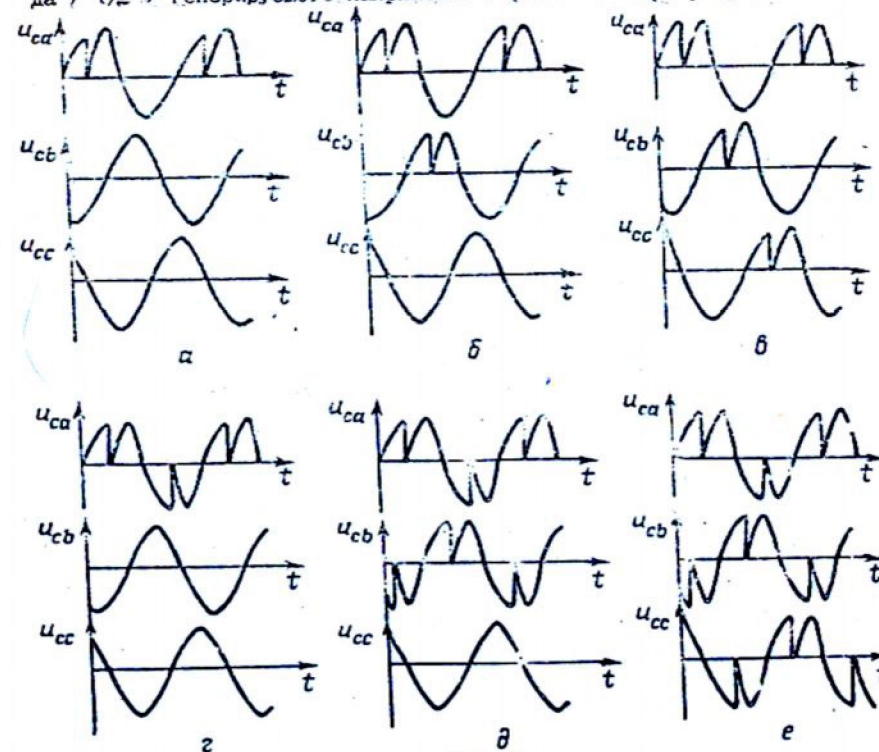


Рис. 2

одной или двух фазах режим работы машины несимметричный, и система будет развивать малую полезную мощность, равную 0,1...0,15 от габаритной мощности машины. Такие режимы, на наш взгляд, практи-

ческого интереса не представляют. Целесообразно использовать симметричные режимы, когда разряды производятся во всех трех фазах. Причем, если в одной из фаз разряды следуют через один период $/ \omega t = T /$ генерируемого напряжения, то и в двух других фазах разряды следуют также через один период. Момент разряда $/ \omega t = f /$ во всех фазах один и тот же. Если же в одной из фаз разряды следуют через половину периода $/ \omega t = T/2 /$ генерируемого напряжения, то это имеет место во всех фазах. При этом момент разряда $/ \omega t = f /$ является одним из тех же на положительных и отрицательных полупериодах во всех фазах. Только при выполнении этих условий режим работы ААГ будет симметричным.

Для обеспечения этого при работе ААГ в импульсном режиме разработана специальная схема, функциональная связь между элементами которой показана на рис. 3.

Ротор автономного асинхронного генератора / ААГ / приводится во вращение от приводного двигателя / ПД /. Возбудителем генератора и одновременно накопителем энергии является батарея линейных конденсаторов / БК /, к которой через коммутационное устройство / КУ / на короткие промежутки времени в циклической последовательности подключаются импульсные погребители / ИП /. Подключение и отключение ИП к БК должно производиться синхронно с основной гармоникой напряжения, т.е. с учетом скольжения, изменяющегося с изменением нагрузки. Для этой цели служит синхронизирующее устройство / СУ /. В отличие от синхронных генераторов, в которых СУ связано с валом генератора, в ААГ из-за скольжения этого осуществить нельзя. СУ в ААГ должно быть связано с вращающимся магнитным полем, созданным основной гармонической составляющей.

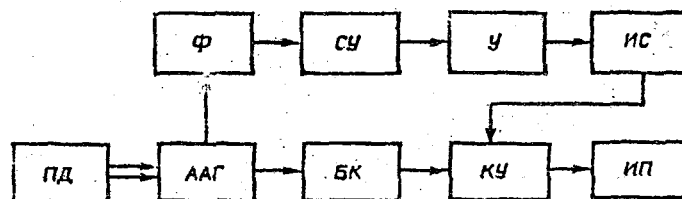


Рис. 3

Поэтому СУ через устройство, выделяющее основную волну напряжения ААГ / Ф /, подключается на зажимы последнего.

Так как фаза разряда накопителей в общем случае должна иметь возможность изменяться в пределах от 0 до π , система управления разрядами включает в себя фазосдвигающее устройство /ФУ/. Это устройство осуществляет запуск импульсной электронной схемы /ИС/, которая, в свою очередь, управляет работой коммутационных устройств.

2. Уравнения ААГ при работе на периодически разряжающуюся емкость и их решение

Математическое исследование такого режима связано с большими трудностями и возможно лишь при введении ряда допущений.

Решение задачи усложняется также и тем, что использование общепринятого для исследования электрических машин метода линейных преобразований неэффективно потому, что разряды накопителей в одной фазе оказывают влияние на процессы в других фазах.

Однако в интервалах между разрядами процессы в ААГ могут быть описаны системой дифференциальных уравнений с использованием любых известных из теории электрических машин ф-л линейных преобразований.

Уравнения, связывающие токи и напряжения через параметры $(m-p)$ - фазной асинхронной машины, запишем в общем виде [10]:

- для статорных контуров

$$u_k^s = \frac{d}{dt}(\Psi_k^s) + r_k^s i_k^s = \frac{d}{dt} \left(\sum_{j=a}^m L_{kj}^{ss} i_j^s + \sum_{j=a}^n L_{kj}^{sr} i_j^r \right) + r_k^s i_k^s, \quad /1/$$

$$k = a, b, \dots, m;$$

- для роторных контуров

$$u_k^r = \frac{d}{dt}(\Psi_k^r) + r_k^r i_k^r = \frac{d}{dt} \left(\sum_{j=a}^m L_{kj}^{rs} i_j^s + \sum_{j=a}^n L_{kj}^{rr} i_j^r \right) + r_k^r i_k^r, \quad /2/$$

$$k = a, b, \dots, n.$$

Общее уравнение движения имеет вид

$$M_s = \frac{d}{dt}(j\phi) + \alpha\dot{\phi} - \frac{1}{2} \sum_{i=a}^m \sum_{j=a}^n \frac{\partial}{\partial \phi} (L_{ij}^{sr}) i_i^s i_j^r -$$