



САМОВОЗБУЖДАЮЩИЙСЯ АСИНХРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР В ДВУХФАЗНОМ ИСПОЛНЕНИИ

Берзан В.П., Тыршу М.С., Бырладян А.С.
Институт Энергетики АНМ

Аннотация. В статье рассматривается самовозбуждающийся асинхронный генератор в двухфазном исполнении, выполненный на основе асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. Исследования разработанного генератора выполнены по различным схемам соединения обмоток статора. Путём выбора числа витков фаз обмоток статора выполненные на различное напряжение с включением на фазу повышенного напряжения конденсаторов возбуждения, удалось снизить величину емкости и улучшить показатели и характеристики генератора.

Ключевые слова: генератор, конденсатор, фаза, обмотка, схема.

BIPHASIC ASYNCHRONOUS GENERATOR WITH SELF-EXCITATION

Berzan V.P., Tirsu M.S., Birladian A.S.
Institute of Power Engineering of the ASM

Abstract. In article biphasic two-winding asynchronous generator, executed on the basis of the asynchronous motor with a short-circuited rotor is considered. Researches of the developed generator are executed under various schemes of connection of stator windings. Selecting phases wire numbers of stator windings implemented for various voltages with inclusion on a phase of the raised voltage of excitation condensers, allowed decreasing the size of capacity and improving indicators and generator characteristics.

Keywords: generator, condenser, phase, winding, scheme.

GENERATOR ASINCRON BIFAZAT CU AUTOEXCITAȚIE

BERZAN Vladimir, TÎRSU Mihai, BÂRLĂDEAN Alexandru
Institutul de Energetică al AȘM

Rezumat. În articol se examinează generatorul asincron bifazat, îndeplinit pe baza motorului asincron cu rotor în scurtcircuit. Cercetările generatorului elaborat s-au desfășurat cu diferite scheme de conexiuni a înfășurărilor statorice. Prin alegerea numărului de spire a fazelor înfășurărilor statorice îndeplinite la diferite tensiuni cu cuplarea la faza de tensiune înalta a condensatorilor de excitație permite micșorarea valorii capacității de excitație, îmbunătățirea indicilor și caracteristicilor generatorului.

Cuvinte - cheie: generator, condensator, fază, înfășurare, schemă.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы наблюдается рост потребности в автономных источниках электроэнергии. К электрическим генераторам подобных источников энергии предъявляются определенные требования, характерные для автономных энергоустановок: минимальные габариты и масса, бесконтактное исполнение, удовлетворительные параметры электрогенератора и его системы возбуждения, требуемое качество внешних характеристик и энергетических показателей, а также стабильный уровень напряжения и частоты переменного тока, достаточно высокие КПД и $\cos \varphi$.

Тип электрогенератора оказывает решающее влияние на технико-экономические показатели автономного источника энергии, так как он должен обеспечить нагрузку потребителя стабильным напряжением при изменении нагрузки и ее характера:

статический или динамический, активный или реактивный.

Известно, что простейшим в конструктивном отношении электромеханическим преобразователем энергии является асинхронный генератор (АГ), представляющий собой асинхронную машину (АМ) с короткозамкнутым ротором и конденсаторами возбуждения. Кроме того, АГ имеет ряд положительных качеств: бесконтактность, простота конструктивного исполнения, прочность и высокая надежность, сравнительно минимальные параметрами рассеяния контуров статора и ротора; короткозамкнутый и симметричный ротор обладающий удовлетворительными демпфирующими свойствами, что очень важно при параллельной работе генератора с сетью и при несимметричных режимах его нагрузки. На эти особые преимущества АГ указывают многие отечественные и зарубежные

авторы теоретических и экспериментальных НИР по исследованию АГ конденсаторным возбуждением.

Вместе с тем, АГ с короткозамкнутым ротором в обычном исполнении обмотки статора, имеет ограниченные возможности при работе, из-за определенных недостатках. Например, при коротких замыканиях на зажимах АГ его напряжение падает до нуля с возможным исчезновением остаточного магнитного потока в АМ, что затрудняет и затягивает во времени процесс восстановления напряжения АГ. Проведённые исследования в [1,2] показали, что имеющиеся недостатки АГ можно успешно устранить, используя многообмоточные АГ, то есть АМ с различным числом обмоток на статоре, соединенные по различным схемам, в том числе и по автотрансформаторной с соответствующим пространственным сдвигом между обмотками.

1. МНОГООБОМОТОЧНЫЕ АСИНХРОННЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ

Использование обычных АМ с одной обмоткой на статоре в качестве генераторов, имеет ограниченные возможности из-за перегрузки электрической машины реактивным током [3]. Результаты научно-технических исследований и опытно-конструкторских работ [1,4] подтвердили целесообразность исполнения статора АМ с несколькими обмотками различного функционального назначения для работы в генераторном режиме. Так, АМ с двумя обмотками на статоре, включенными по различным схемам, обеспечивает улучшение технико-экономических показателей автономного АГ (ААГ) [5]. При этом возникает необходимость электромагнитного перерасчета и перемотки АМ на другие напряжения и/или скорости вращения электромагнитного поля машины. Как правило, в задачу электромагнитного перерасчета входит не только выбор типа обмоток, но и определения электромагнитных нагрузок, в том числе и числа пар полюсов, сечения обмоточного провода и необходимого коэффициента заполнения паза статора и т.д.

Правильный выбор электромагнитных нагрузок и их соотношения, схемы соединения статорных обмоток, величины пространственного и фазового сдвигов между ними, позволяет обеспечить хорошее качество рабочих характеристик и устойчивости работы ААГ в различных режимах.

У обычной АМ с одной статорной обмоткой при работе в режиме ААГ, рост тока нагрузки приводит к уменьшению величины напряжения на конденсаторах возбуждения, что способствует прогрессивному уменьшению емкостной мощности возбуждения, которая находится в квадратичной зависимости от напряжения. Размещение на статоре ААГ двух обмоток позволяет при заданном напряжении генератора выбрать напряжение его возбуждения любой величины и сделать связь с напряжением рабочей обмотки менее жесткой. При этом следует учесть, что при использовании нескольких обмоток

статора АГ, появляется возможность применения повышенного напряжения на конденсаторах возбуждения и соответствующего уменьшения необходимой емкости конденсаторов. Кроме того, при этом целесообразно осуществить соединение статорных обмоток по автотрансформаторной схеме, что позволяет увеличить мощность генератора.

Генератор в двухфазном исполнении обмоток статора, расположенные в пространстве под углом 90 электрических градусов и определенной величины емкости в качестве возбуждающего элемента, получается уравновешенный режим с круговым вращающимся магнитным полем. Однако для получения кругового магнитного поля при любой скорости вращения ротора, необходимо изменять величину емкости конденсаторов возбуждения или использовать двухфазные обмотки статора соединенные по автотрансформаторной схеме академика В.С. Кулебякина [6]. Основные схемы соединения статорных обмоток АМ работающие в двигательном или генераторном режимах представлены в [5,6]. Анализ работ [7,8] убедительно показывает, что интересующее нас система «АМ – емкость» в структурном отношении, по принципу действия и свойствам представляет собой типичную автоколебательную систему, которая позволяет получить более эффективные принципы управления самовозбуждения генераторов.

Следовательно, за счёт многообмоточных схем исполнения обмоток статора и регулятора емкостного тока в системе «АМ – емкость» имеется реальная возможность получить более эффективные схемы, принципы самовозбуждения ААГ и улучшить его показатели и характеристики.

2. САМОВОЗБУЖДЕНИЕ АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

Магнитная характеристика АМ не только позволяет судить о магнитных свойствах электрической машины, но и дает возможность определить величину емкости, необходимой для возбуждения АМ до заданного напряжения при холостом ходе (х.х.) и работе ее в качестве генератора по схеме самовозбуждения.

На рис.1 кривая 2 представляет собой х.х. АМ, а зависимость напряжения от тока х.х. выражается следующим уравнением

$$U_1 = I_c \omega L = f(I_{xp}) \text{ при } f = const,$$

где $I_c = I_{xp} \cdot \sin(\varphi_{x.x.})$, I_{xp} - реактивный ток при х.х.

Зависимость напряжения на зажимах конденсаторов возбуждения от протекающего по ним тока (прямая 1 рис.1) может быть написана следующим образом:

$$U_1 = \frac{I_c}{\omega C} = f(I_c).$$

Процесс самовозбуждения АМ работающая в генераторном режиме продолжается до тех пор пока

$(x_1 + x_\mu)I_c > x_c I_c$ и заканчивается в точке равновесия «А» рис.1, когда наступает равенство $(x_1 + x_\mu)I_c = x_c I_c$.

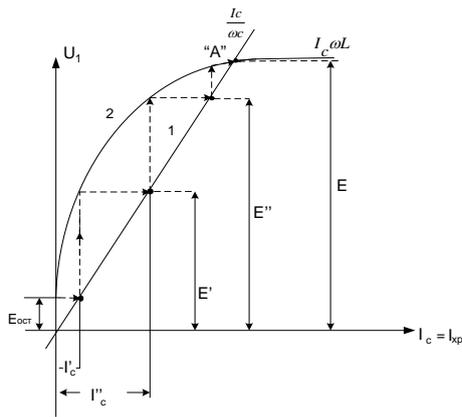


Рис.1. Процесс самовозбуждения АГ

Равновесие в точке «А» дает возможность определить зависимость между полной индуктивностью АГ и емкостью возбуждения при заданной частоте:

$$LC = \frac{1}{(2\pi f)^2} = \frac{1}{\omega^2}.$$

Величина реактивной составляющей тока I_{xp} $\sin\varphi_{xx}$ может быть определена для заданного напряжения U_{xx} АМ по магнитной характеристике машины, а величину фазной емкости батареи конденсаторов, необходимой для самовозбуждения ААГ до заданного напряжения при данном числе оборотов ротора можно определить расчетным путем по следующему выражению

$$C_\phi = \frac{I_x \sin \varphi \cdot 10^6}{\omega U_{xx}} \text{ [мкф]}.$$

Как видно из рис.1 самовозбуждение ААГ осуществляется обычно при х.х. и возможно лишь в тех случаях, когда линия «1» зависимости напряжения на конденсаторах возбуждения от протекающего по ним тока пересекает кривую х.х.»2» генератора и если при этом имеется остаточное магнитное поле ротора. Согласно [1] процесс самовозбуждения ААГ во многом аналогичен процессу самовозбуждения генератора постоянного тока параллельного возбуждения.

В литературе имеют место различные трактовки процесса самовозбуждения [9] имеющие определенную физическую природу, в том числе и как автоколебательная система [10]. Интересующее нас система «АМ – емкость» имеет определенную обратную связь, а начальное ее состояние оказывает существенное влияние на процесс возбуждения ААГ [7]. Анализ работ [8, 9] убедительно показывает, что система «АМ – емкость» в структурном отношении, по принципу действия и свойствам представляет собой типичную автоколебательную систему.

Таким образом, вопрос емкостного самовозбуждения ААГ представляет определенный интерес, как с эксплуатационной точки зрения, так и с

точки зрения теоретического и экспериментального исследования работы автономных АГ в различных режимах.

3. СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ И ВЕКТОРНАЯ ДИАГРАММА

Анализ рабочего режима АГ проводится на основе его эквивалентной схемы замещения с вынесенным на зажимах намагничивающим контуром [11]. Полная схема замещения АГ при вращающемся роторе отличается от схемы замещения АМ работающей в двигательном режиме наличием в цепи статора емкости возбуждения. Схема замещения позволяет определить токи, потери мощности и падение напряжения в АГ при условии предварительного расчета её параметров согласно [12]. Схема замещения АГ с параллельным возбуждением и вынесенным на зажимы намагничивающим контуром представлена на рис.2.

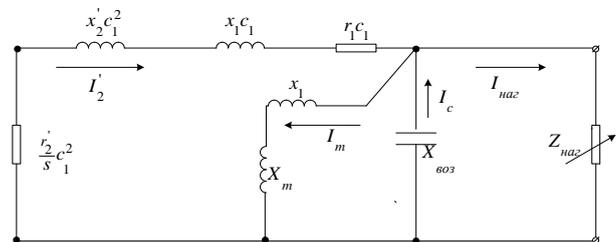


Рис.2. Схема замещения АГ с параллельным возбуждением

Параметры схемы замещения можно представить в следующем виде:

$$r_1 c_1 = R_1 \text{ и } \frac{r_2'}{s} c_1^2 = R_2 - \text{активные сопротивления,}$$

$$x_1 c_1 + x_2' c_1^2 = x_s - \text{суммарное реактивное сопротивление рабочей цепи,}$$

$$\text{где } c_1 \approx 1 + \frac{x_1}{x_m},$$

$x_{co} = 1/\omega_0 c_0$ – реактивное сопротивление емкости возбуждения фазы,

$Z_{наг} = R_{наг} + jX_{наг}$ и $\text{tg } \varphi_{наг} = X_{наг}/R_{наг}$ – соответственно, полное сопротивление и фаза нагрузки генератора.

Следует отметить, что параметры обмотки статора r_1 и x_1 считаем постоянными, ротора - $r_2'(S)$ и $x_2'(S)$ рассчитываются предварительно по определенной методике изложенной в специальной литературе [12].

На основании представленной выше схемы замещения АГ могут быть определены все соотношения и величины, характеризующие статический режим работы генератора, кроме того, на основе баланса реактивных мощностей, можно определить необходимую реактивную мощность и емкость конденсаторов возбуждения.

В то же время необходимо учесть, что АГ с двумя обмотками на статоре, соединенные по различным

быть видоизменена и представлена как уточненная Г-образная схема замещения ДО-АГ представленная на рис. 5 с вынесенным на зажимы первичной цепи намагничивающего контура и возбуждения, что позволяет теоретически определить все параметры и рабочие характеристики генератора.

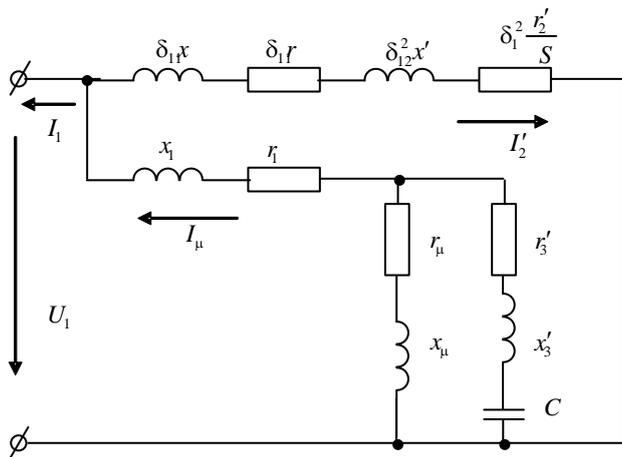


Рис.5. Уточненная Г-образная схема замещения ДО-АГ

Из Г-образной схемы замещения следует, что при $U_1 = const$, ток цепи намагничивающего контура I_m при изменении скольжения S можно считать постоянным, а переменным является лишь ток главной цепи I_1 .

4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для разработки и изготовления двухобмоточного и двухфазного АГ (ДО-2ФАГ) использована трехфазная АМ с короткозамкнутым ротором после ее электромагнитного перерасчета и перемотки статора. В пазы статора АМ уложены две обмотки – возбуждения и рабочая, выполненные на разные уровни напряжения с пространственным сдвигом на 90 электрических градусов. Исследования ДО-2ФАГ проводятся по различным схемам, четыре варианта схем типа IV-VII, приводятся ниже.

С Х Е М Ы соединения статорных обмоток ДО-2ФАГ различного типа

Сложность основных аналитических соотношений не позволяет получить некоторые важные зависимости. Поэтому, для изучения характеристик двухобмоточного двухфазного АГ использован и экспериментальный метод исследования. Опытное исследование представляет значительный интерес, так как на основании экспериментальных данных облегчается анализ особенностей работы ДО-2ФАГ при различных схемах соединения обмоток и конденсаторов возбуждения. При этом основное внимание уделялось определению различных характеристик (внешней, нагрузочной и т.д.) в области нормальных нагрузок, так как эти

характеристики дают интегральную оценку выбора электромагнитных величин и соотношений между ними. Так называемая вольтамперная характеристика – ВАХ, выявляет влияние изменения нагрузки на выходное напряжение АГ без или с регулированием реактивного тока АМ.

	Электрически несвязанная, тип IV
	Электрически связанная, тип V
	Автотрансформаторная с междуфазной емкостью, тип VI
	Автотрансформаторная с фазной емкостью, тип VII

В заключение отметим, что совершенствование многообмоточных генераторов с конденсаторным возбуждением еще не закончено, необходимы дальнейшие теоретические и экспериментальные исследования, направленные на совершенствование их исполнения, повышение технико-экономических показателей, особенно при работе ААГ на двигательную нагрузку.

5. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

Анализ результатов экспериментальных исследований ДО-2ФАГ при различных схемах соединения обмоток и конденсаторов возбуждения показывают, что определенные технические показатели и характеристики генератора требуют предварительного изучения и проведения оптимизационных расчетов параметров АМ используемой в качестве генератора. Например, изучение влияния степени насыщения магнитной цепи, рассеяния контуров статора и ротора АМ на показатели и характеристики ААГ. Весьма важным является и выбор схемы соединения обмоток и конденсаторов возбуждения генератора, влияющий на разработку простой и надежной схемы автоматического регулирования реактивной мощностью ААГ. Выполненные исследования показывают, что предложенные и испытанные варианты схем обмоток ДО-2ФАГ с емкостным возбуждением обеспечивают дальнейшее улучшение

качества показателей и характеристик ААГ в различных режимах работы.

Оценивая результаты теоретических и экспериментальных данных в Приложении 1 и графиках Приложения 2, можно сформулировать следующие выводы относительно рассматриваемого ДО-2ФАГ:

- подтверждена целесообразность применения двухобмоточного двухфазного АГ в качестве автономного источника электроэнергии;
- сравнение технических показателей ДО-2ФАГ по схемам различного типа в том числе IV÷VII типа, показало, что схема соединения обмоток и конденсатора возбуждения типа VII имеет повышенные энергетические и эксплуатационные показатели. Такое исполнение ДО-2ФАГ обеспечивает достаточно надежную работу с необходимой стабильностью выходного напряжения генератора;
- исполнение ДО-2ФАГ по схеме типа VII повышает его нагрузочную мощность, обладает высоким КПД и коэффициентом мощности при его загрузке от 30 до 120% от номинальной установленной мощности АМ;
- в разработанном генераторе уменьшается величина емкости конденсаторов возбуждения, подключаемых к обмотке повышенного напряжения генератора.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Электротехника, 1990, № 10, С.55-58.
 [2] Техническая электродинамика, 1990, №5, С. 70-77.
 [3] Электричество, 1994, №6.

- [4] Известия ВУЗ'ов "Электромеханика", 1990, №10, С. 12-20 и С. 66-69.
 [5] Техническая электродинамика, 1995, №4, С. 42-45.
 [6] Адаменко А.И. *Однофазные конденсаторные двигатели*. АНУкр., Киев, 1960, 247с.
 [7] Электричество, 1972, №4, С.43-47.
 [8] Электричество, 1978, №8, С.47-54.
 [9] Известия ВУЗов «Электромеханика», 1981, №6, с.612-617.
 [10] Известия ВУЗов «Электромеханика», 1977, №5, с.500-505.
 [11] [Лищенко А.И., Лесник В.А. Асинхронные машины с массивным ферромагнитным ротором. Киев, "Наукова думка", 1984, 167 с.
 [12] Данилевич Я.Б. и др. Параметры электрических машин переменного тока. М.-Л. "Наука", 1965, 339с.

Сведения об авторах:

Берзан Владимир Петрович – доктор хаб. техн.наук, директор Института энергетики АН Молдовы. Область научных интересов: энергетика и возобновляемые источники энергии, методы математического моделирования, переходные процессы в линиях электропередач, электрические машины, диагностика энергетического оборудования. Автор более 200 научных публикаций, в т.ч. 10 монографий, 20 изобретений. E-mail: berzan@ie.asm.md.

Тыршу Михаил Степанович – доктор техн.наук, заместитель директора Института энергетики АН Молдовы, Область научных интересов: диагностика высоковольтного оборудования, силовая электроника, электрические системы ветроустановок. E-mail: mtirsu@ie.asm.md

Бырладян Александр Саввович – научный сотрудник Института энергетики АН Молдовы, Область научных интересов: электрические машины, электропривод, электрические генераторы, электрические системы ветроустановок. Автор более 70 научных публикаций.

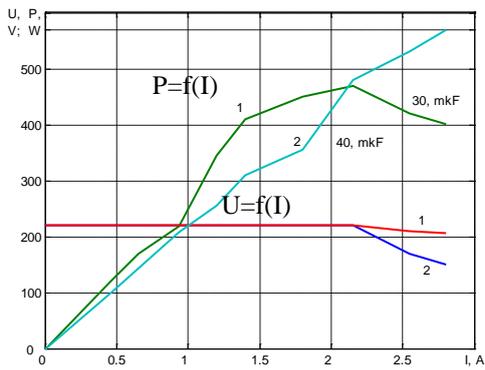
Приложение 1

Таблица 1 – 1 Технические показатели ДО-2ФАГ по схеме типа VII

№ п/п	U _Г ^Ф , V	I _Г ^Ф , A	P _Г , W	n, об/мин	M, кг см	P _{мех} , W	η	cosφ	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	220	-	-	1330	9	123	-	-	C _{воз} =30 мкФ, х.х.
2	220	0,46	120	1360	18	252	0,476	1,00	Нагрузочный режим
3	220	0,65	170	1380	19	293	0,588	1,00	Нагрузочный режим
4	220	0,94	218	1400	21	302	0,688	1,00	Нагрузочный режим
5	220	1,20	345	1430	27	405	0,851	1,00	Нагрузочный режим
6	220	1,40	410	1460	31	465	0,880	1,00	Нагрузочный режим
7	220	1,80	450	1510	33	515	0,870	1,00	Нагрузочный режим
8	220	2,15	470	1570	36	581	0,808	1,00	Нагрузочный режим
9	170	2,55	480	1620	45	587	0,715	1,00	Нагрузочный режим
10	150	2,80	500	1700	54	596	0,683	1,00	Нагрузочный режим
1	220	-	-	1180	17	206	-	-	C _{воз} =40 мкФ, х.х.
2	220	0,46	100	1210	20	249	0,400	1,00	Нагрузочный режим
3	220	0,94	208	1250	34	437	0,476	1,00	Нагрузочный режим
4	220	1,20	255	1270	35	454	0,549	1,00	Нагрузочный режим
5	220	1,40	310	1300	37	494	0,627	1,00	Нагрузочный режим
6	220	1,80	355	1360	43	545	0,651	1,00	Нагрузочный режим
7	220	2,15	480	1400	50	720	0,666	1,00	Нагрузочный режим
8	210	2,55	530	1450	53	794	0,674	1,00	Нагрузочный режим
9	206	2,80	570	1500	54	833	0,684	1,00	Нагрузочный режим

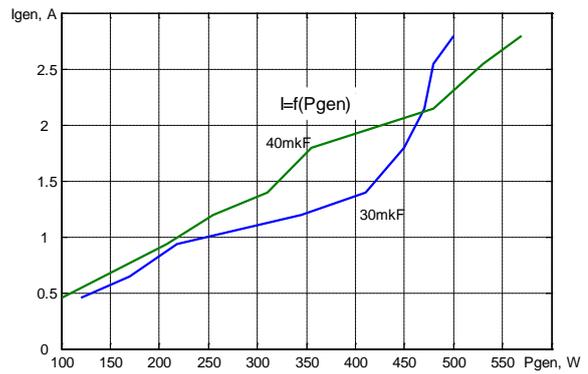
Основные характеристики ДО – 2ФАГ (схема тип VII)

График 2-1



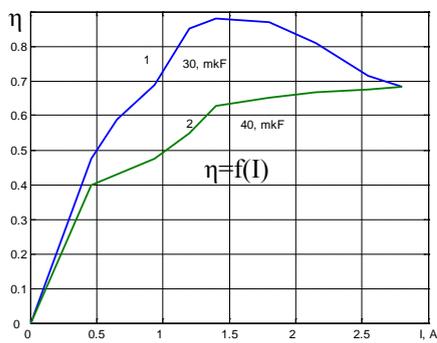
Внешняя и нагрузочная характеристики

График 2-2



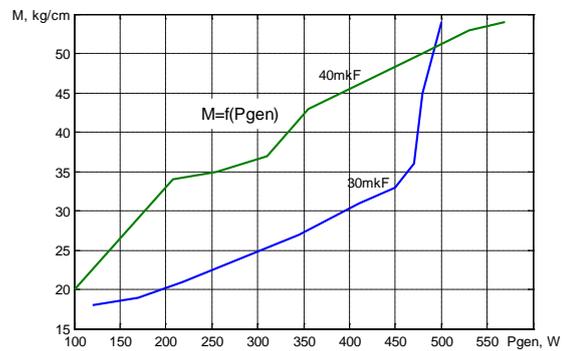
Токовая характеристика

График 2-3



Коэффициент полезного действия

График 2-4



Механическая характеристика