

# УСКОРЕННЫЙ РАСЧЕТ МОДЕЛЕЙ ДИОДНЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ БЕСКОНТАКТНЫХ СИНХРОННЫХ МАШИН

Галиновский А.М., к.т.н., доцент, Питюк П.И, студент  
КПИ им. Игоря Сикорского, кафедра электромеханики

**Введение.** В соответствии [1] диодным возбудителем бесконтактной синхронной машины (БСМ) называется выпрямитель в комплексе с источником питания переменного тока. В качестве источника питания применяется вспомогательная электрическая машина (ВЭМ). Чаще всего применяется синхронная вспомогательная электрическая машина (СВ).

Для расчета диодного возбудителя с учетом нелинейных параметров выпрямителя и ВЭМ важно знать зависимости относительных величин токов и ЭДС источника питания ( $I_{i1Z} = I_{i1}/I_d$ ,  $I_{iZ} = I_i/I_d$ ,  $E_{iZ} = E_i/U_d$ ) от относительной величины полного сопротивления источника питания  $M_Z = z_i/R_d$  при разных значениях относительного активного сопротивления  $k_r = r_i/x_i$  [5].

В работе [5] отмечено важное свойство выпрямителей:  $m$ -фазные выпрямители с одинаковой схемой преобразования и одинаковыми величинами  $M_Z$  и  $k_r$  подобны, они имеют практически одинаковые расчетные соотношения  $I_{i1Z}$ ,  $I_{iZ}$ ,  $E_{iZ}$  независимо от мощности, амплитуды и частоты ЭДС источника питания.

Указанное свойство использовано при разработке методики расчета возбудителей бесконтактного синхронного генератора (БСГ) с вращающимися диодными и тиристорными выпрямителями [5]. Она позволяет уточнять параметры ВЭМ возбудителя БСГ, используя соотношение параметров модели выпрямителя в системе схемотехнического моделирования Micro-Cap.

При сопоставительном анализе возбудителей с разным числом пар полюсов ВЭМ расчет разных моделей выпрямителей занимает много расчетного времени ЭВМ. Особенно много времени затрачивается при расчете моделей выпрямителей для возбудителей с малым числом пар полюсов ВЭМ.

**Цель работы:** разработка рекомендации по ускоренному расчету моделей диодных выпрямителей бесщеточных синхронных машин в системе схемотехнического моделирования.

**Материалы и результаты исследований.** *Электрическая схема модели трехфазного мостового выпрямителя* в системе Micro-Cap показана на рис. 1.

На схеме:  $V_1, V_2, V_3, V_{1r}, V_{2r}, V_{3r}$  – основной и дополнительный трехфазный источник синусоидальной ЭДС;  $r_{i1} = r_{i2} = r_{i3} = r_i$ ,  $L_{i1} = L_{i2} = L_{i3} = L_i$  – активные сопротивления и индуктивности источника питания;  $R_n, L_n$  – активное сопротивление и индуктивность нагрузки;  $C_{f1}, R_{f1} \dots C_{f6}, R_{f6}$  – емкости и активные сопротивления защитных цепей вентилях.

В дополнительном источнике питания ( $V_{1r}, V_{2r}, V_{3r}$ ) амплитуда ЭРС равна амплитуде ЭДС основного источника питания, а фазы ЭДС смещены на угол  $-90^\circ$  по сравнению с фазами ЭДС основного источника питания.

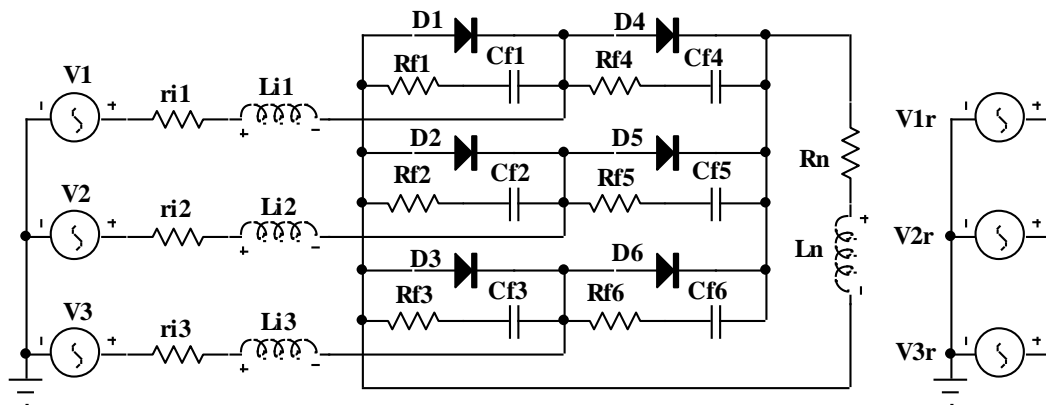


Рисунок 1 – Электрическая схема модели выпрямителя в системе Micro-Cap

**Особенности расчета СВ БСГ [5].** На рис. 2 показана конструкция неявнополюсного СВ БСГ мощностью 250 кВт (БСГ-250), число пар полюсов синхронного генератора (СГ)  $p = 2$ . Параметры возбуждения СГ:  $U_{FN} = 54$  В,  $I_{FN} = 54$  А.

Коэффициент форсировки ЭДС СВ  $k_F = 2$ .

Заданы диаметр расточки статора СВ  $D = 293$  мм, воздушный зазор  $\delta = 1.2$  мм, размеры зубцовой зоны СВ.

При расчете СВ (с числом пар полюсов  $p_B$ ) предварительно задаемся начальным значением относительной величины ЭДС источника питания ( $E_{iZS} = 0.55$ ).

Рассчитываем СВ в режиме форсировки при максимально допустимых значениях индукций на всех участках магнитопровода. Определяем длину магнитопровода, высоты ярмов статора и ротора.

В номинальном режиме определяем сопротивления обмоток СВ и относительные величины  $M_Z$  и  $k_r$ .

При расчете модели выпрямителя уточняем величину  $E_{iZS}$ . Дальше уточняем длину магнитопровода.

**Расчет модели выпрямителя.** Вначале выпрямитель рассчитываем от холостого хода до квазиустановившегося режима работы. Записываем значение величин по последней точке счета. Дальше рассчитываем выпрямитель в квазиустановившемся режиме работы при интегрировании переменных по времени. Время счета должно содержать целое число периодов частоты источника питания. Минимальный шаг интегрирования меньше времени восстановления запирающих свойств вентиля.

Расчет модели выпрямителя в переходном и квазиустановившемся режимах работы занимает сравнительно много времени. При сопоставительном анализе возбудителей с разными числами пар полюсов СВ уменьшение времени расчета выпрямителя можно достигнуть при уменьшении частоты ЭДС источника питания. При этом остается практически неизменной точность расчета основных соотношений выпрямителя. Покажем это на примере расчета модели выпрямителя БСГ-250.

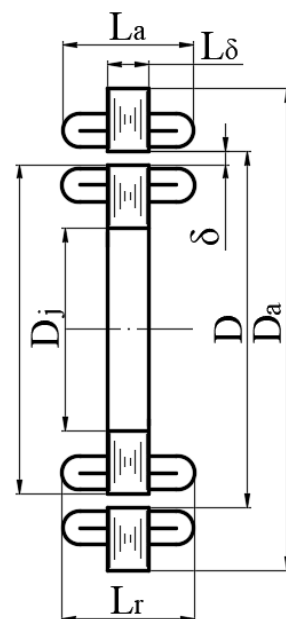
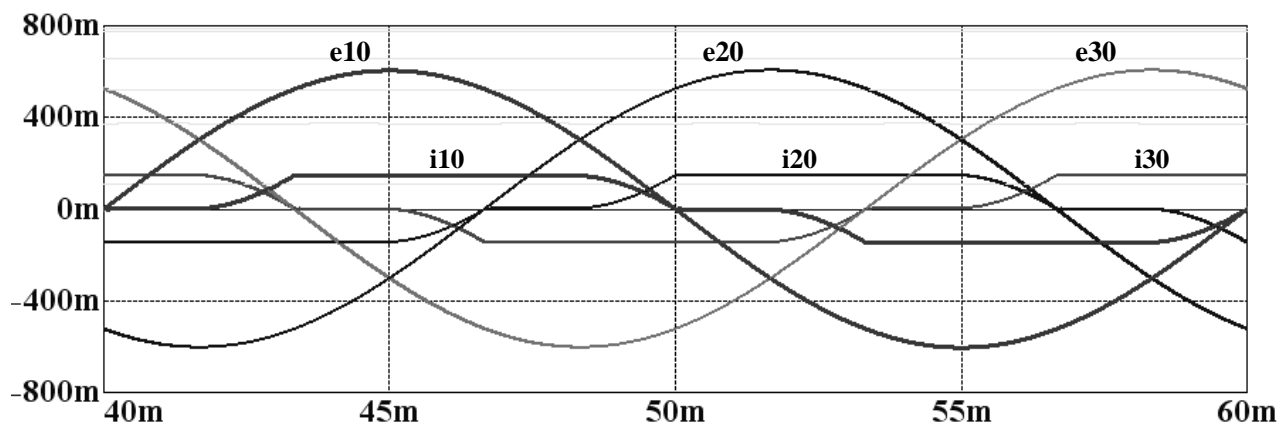


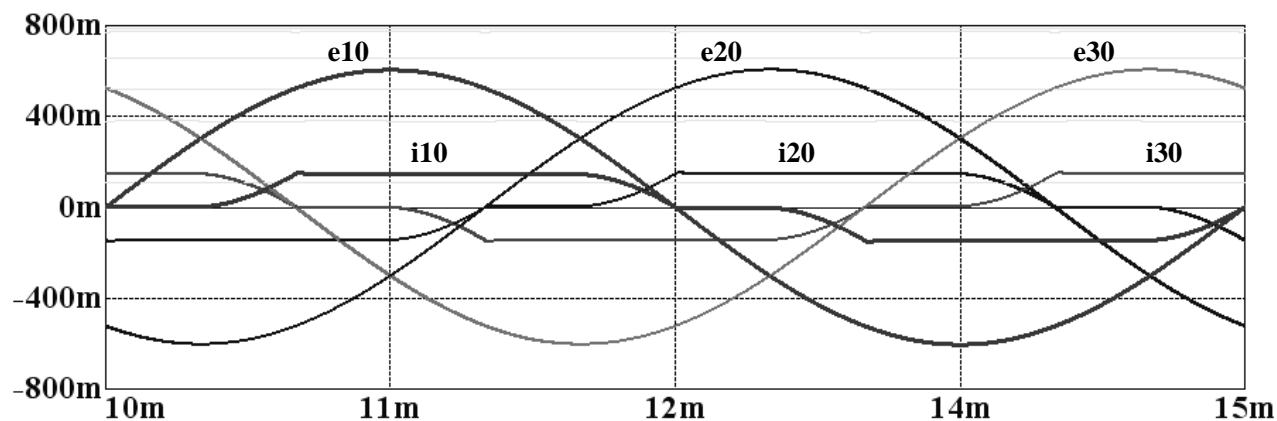
Рисунок 2 – СВ

На рис. 3 показаны результаты расчета модели выпрямителя с разными частотами ЭДС источника питания. Приведены значения входных и расчетных величин.



$E_{zs}$	519.12m	Mz	108.20m	kr	655.00m
UdN	56.00	IdN	8.00	Pdr	448.00
UdR	56.00	IdR	8.00	Iil	6.18
Ii	6.28	Pil	510.29	Qil	172.85
cosf1	947.14m	kis	983.05m	KPD	877.94m
ks	1.22	kiu	372.60m	ksu	1.07
Eiz	519.12m	Iilz	772.20m	Iiz	785.52m
e1o	735.18n	e2o	-523.48m	e3o	523.48m
i1o	-920.99u	i2o	-146.34m	i3o	147.26m
		T (Secs)	400m		

a



$E_{zs}$	519.12m	Mz	108.20m	kr	655.00m
UdN	56.00	IdN	8.00	Pdr	448.19
UdR	56.01	IdR	8.00	Iil	6.18
Ii	6.29	Pil	510.61	Qil	171.70
cosf1	947.85m	kis	982.81m	KPD	877.74m
ks	1.22	kiu	378.52m	ksu	1.07
Eiz	519.01m	Iilz	771.97m	Iiz	785.47m
e1o	570.10n	e2o	-523.48m	e3o	523.48m
i1o	-714.18u	i2o	-146.49m	i3o	147.20m
		T (Secs)	100m		

б

Рисунок 3 – Результаты расчета модели выпрямителя с разными частотами ЭДС источника питания

Входные величины:

$E_{i2s} = 0.5191$ ,  $M_z = 0.16$ ,  $k_r = 0.217$  – уточненные значения относительных величин ЭДС, полного и активного сопротивлений источника питания;

$U_{dN} = 6$ ,  $I_{dN} = 8$  – напряжение (В) и ток (А) нагрузки модели выпрямителя в номинальном режиме работы;

Расчетные величины:

$P_{dr}$ ,  $U_{dr}$ ,  $I_{dr}$  – мощность (Вт), напряжение (В) и ток (А) нагрузки;

$I_{i1}$ ,  $I_i$  – действующие значения тока 1-й гармоники и полного тока источника питания (А);

$P_{i1}$ ,  $Q_{i1}$  активная (Вт) и реактивная (ВАр) мощности источника питания;

$\cos\phi_1$  – коэффициент мощности по 1-й гармонике источника питания;

$k_{is}$  – коэффициент искажения тока источника питания;

KPD – коэффициент полезного действия выпрямителя;

$k_s$  – коэффициент увеличения мощности источника питания;

$k_{iu}$  – коэффициент нелинейного искажения напряжения выпрямителя;

$k_{su}$  – коэффициент искажения напряжения выпрямителя;

$E_{i2}$ ,  $I_{i1z}$ ,  $I_{iz}$  – относительные величины ЭДС и токов источника питания.

Как видно из рис. 3, заменена частоты ЭДС источника питания модели выпрямителя  $f_i = 50$  Гц ( $T = 20$  Secs) на частоту  $f_i = 200$  Гц ( $T = 5$  Secs) практически не влияет на результаты расчета. Остались практически неизменными расчетные соотношения модели выпрямителя, что и необходимо было показать.

#### **Выводы:**

1. При расчете возбудителей БСМ целесообразно применять автоматизированную методику расчета при использовании результатов расчета модели выпрямителя в системе схемотехнического моделирования.

2. При сопоставительном анализе диодных возбудителей БСГ с разными числами пар полюсов ВЭМ рекомендуется для уменьшения времени расчета на ЭВМ во всех моделях выпрямителей применять частоту ЭДС источника питания, равную частоте ЭДС ротора ВЭМ с наибольшей (сопоставляемой) величиной пар полюсов.

#### **Перечень ссылок**

1. ГОСТ 21558-2000 / Межгосударственный стандарт. Системы возбуждения турбогенераторов, гидрогенераторов и синхронных компенсаторов // Общие технические условия, – Дата введения 2003–07–01

2. Амелин С.А., Амелина М.А. Программа схемотехнического моделирования Micro-Cap. Версии 9, 10. – Смоленск, Смоленский филиал НИУ МЭИ, 2013. – 618 с.

3. Галиновский А.М. Параметры и характеристики полупроводниковых выпрямителей вентильных генераторов // Гірнична електромеханіка та автоматика: наук.-техн. зб. – 2012. – Вип. 88. – С. 47–55.

4. Галиновский А.М. Исследование электромашинно-вентильных преобразователей бесконтактных синхронных и асинхронизированных машин в системе схемотехнического моделирования. // Електротехніка і електромеханіка. – 2013. – № 5. – с. 23-29.

5. Галиновский А.М., Дубчак Е.М., Ленская Е.А. Сопоставительный анализ диодных и тиристорных возбудителей бесщеточных синхронных машин // Вісник НТУ «ХП», Серія: Проблеми удосконалення електричних машин та апаратів. Теорія і практика. – Х.: НТУ «ХП», – 2019. – №2. – с. 41-45.