

РЕЗЮМЕТА НА НАУЧНИТЕ ТРУДОВЕ И СПРАВКА ЗА ПРИНОСИТЕ
на доц. д-р инж. Пламен Миланов Ризов,
представени за участие в конкурс за АД „професор“
в научно направление 5.2. „Електротехника, електроника и автоматика“,
специалност „Електрически машини“,
обявен в ДВ бр. 25 от 26.03.2021г.

За участие в конкурса са представени общо 50 труда на кандидата, които включват:

- Хабилизационен труд – монография;
- за изпълнение на показателите от група Г са представени 11 публикации, индексирани в SCOPUS), и 34 публикации в нереферирани списания с научно рецензиране;
- за изпълнение на показателите от група 3 са представени 3 статии, публикувани в издания с импакт фактор (IF на Web of Science) и с импакт ранг (SJR на SCOPUS);
- 1 университетски учебник;

От научните публикации 25 са на български език, а 23 са на английски език. Издадени са в международни и български научни списания и периодични академични издания, както и в сборници с научни трудове на чуждестранни, международни, национални и университетски научни форуми.

Научните трудове в чужбина са публикувани в международно списание Journal of Materials Processing Technology и сборника на международната конференция IEEE Global Engineering Education Conference, EDUCON, 2017. В българско издание е отпечатана статия в научното списание Electrotehnica & Electronica E+E.

Публикувани са статии в сборници на международни конференции в България, като International conference on electrical machines, drives and power systems ELMA и International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies SIELA.

Публикувани са статии в сборници на конференции в България - Electrical Engineering Faculty Conference, BulEF.

Документирано е участието в 2 международни и 19 национални проекта, като на 5 от тях кандидатът е бил ръководител.

Представена е справка за общо 33 цитирания на научните трудове на кандидата.

Група В3. Хабилизационен труд – монография

М1. Ризов, П., Съвременни изолационни системи за високоволтови електрически машини, София 2019, Издателство Авангард Прима, ISBN: 978-619-239-245-1

В монографията са показани систематизирано резултатите от проучвания, изследвания и моделирания, свързани с разработки на нови изолационни системи за високоволтови електрически машини (ВВЕМ). Качествата на съвременните електрически машини се определят от свойствата и качествата на изолационните материали, използвани при изграждане на изолационните им системи. Изолационните системи имат съществено значение за габаритите, надеждността, енергийната ефективност и срока на експлоатация на

ВВЕМ. Съвременните изолационни системи се развиват в посока на увеличаване на диелектричната якост, намаляване на дебелината на изолацията, повишаване на топлоустойчивостта, намаляване на хигроскопичността. Намотките с номинално напрежение от 6.3 kV до 20 kV се изработват с термореактивна монолитна изолация, включваща слоеве от ленти и последващо вакуумно сушене и напояване с термореактивни компаунди. Използват се два основни вида термореактивни изолационни системи. При първия вид (RR-клас на топлоустойчивост F) изолацията се изгражда от импрегнирана с епоксидна смола стъкло-микалента лента, която се полимеризира чрез загряване и пресуване. При втория (VPI- клас на топлоустойчивост F) се използват порести сухи стъкло-мика ленти, които се навиват върху секциите, след което се импрегнира с епоксидна смола в автоклав при редуващи се вакуум и налягане. Полимеризацията се извършва във въздушна пещ. На базата на личен опит и проучени литературни източници са показани резултати от изследвания на изолационни системи от горе посочения вид. Като критерии за стареене на изолацията се използват стойностите на тангенс делта и нивото на частичните разряди.

За използваните в момента RR и VPI технологии, съществува голямо многообразие от материали за изработване на изолационни системи на високоволтови машини, като материали с еднакви или много близки свойства се произвеждат под различни фирмени наименования. Проучени са свойствата на материали произвеждани от няколко фирми, но дадени свойствата и параметрите на изолационни материали две фирми - ЕЛИНАР и ISOVOLTA, тъй като те имат най-голямо разпространение в България.

При физическото моделиране на изолационните системи за ВВЕМ е отчетен факта, че при проектирането им е предвидено те да бъдат използвани при близо 155° C работна температура в режим с кратко температурно натоварване до 180° C за около 100 часа. Ограничаващ фактор при високотемпературните машини е топлинно-механичното напрежение, което започва да уврежда хомогенността на изолационната стена, в резултат на което се намалява топлопроводността на изолацията. Намалената топлопроводимост води до образуването на горещи точки и може да скъси чувствително полезния живот на изолацията. Доброто свързване се осигурява от епоксидни смоли без разтворител имащи добра съвместимост с изолиращата лента на основната стена. Използваните в практиката ленти за “корона” защита стареят много по-бързо в следствие на увеличената температура. Поради този факт, във VPI изолационната система се използват ленти с тъкан от полиестерна вата с подобрени свързващи агенти срещу “корона” ефект.

Показани са примери, при които съществуващата изолация на статорните намотки на хидрогенератори за високо напрежение, е заменена с нова такава произведена по VPI технология. Размерите на статорните канали и магнетопровода се запазват непроменени. Обемът на изолацията в статорните канали е намален, като освободеното място е запълнено с проводници. В резултат на това, при извършените проверочни електромагнитни изчисления се достига до увеличаване на мощността на генераторите с около 14 до 30 %. Аналогична е ситуацията при подмяната на съществуващата изолация на двуфазни асинхронни двигатели с VPI изолация. Поради увеличеното сечение на статорните секции се достига до намаляване на активното им съпротивление, а следователно и електрическите загуби в статорната намотка. Направеното теоретично изследване на загряването на изолацията, показва че температурното натоварване на различните зони е в границите на допустимото. Получените резултати от теоретичното изследване на механичното натоварване на челните съединения е незначително.

Проведени са сравнителни експериментални изследвания на съществуващия тип и на новопроизведени секции за двускоростния асинхронен двигател с номинално напрежение 6 kV. Новите секции са с изолация тип RR и с коронозащита. Изпитанията са проведени съгласно действащия в стандарт БДС EN 50209 “Изпитване на изолацията на пръти и бобини на машини високо напрежение”, който е сила от 2004г. В него е указано, че при изпитване на изолацията на единична секция допустимата стойност на $\tan \delta_{90}$ е необходимо да бъде $\leq 0,030$. От направеното сравнение е установено, че измерените

стойностите на $\text{tg}\delta$ при новопроизведените секции са значително по-ниски в сравнение на $\text{tg}\delta$ на старите секции на статорната намотка.

Подробният финансово-технически анализ на съвременните изолационни системи за електрически машини високо напрежение показва, че в техническо отношение с по-добри показатели е изолационната система по “технология VPI (vacuum pressure impregnation)”. Тя е с по-висока степен на хомогенност на корпусната изолация, по-дълъг живот на изолационната система, практически пълна липса на хигроскопичност и по-висока експлоатационна надеждност. Изолационната система по “технология RR (resin rich)” има същия висок топлинен клас F, но гарантира по-ниска степен на хомогенност на корпусната изолация, по-къс живот на изолационната система, по-висока хигроскопичност и по-ниска експлоатационна надеждност. И в двете технологии се използват изолационни ленти на основата на стъкловлакна или слюда, като цената им е съизмерима. При изолационната система, изработена по технология VPI изолационните ленти са с ниско процентно съдържание на смола, която служи като катализатор за полимеризация на импрегнационния лак. При изолационната система изработена по технология RR изолационните ленти са с високо процентно съдържание на смола, която при последващото изпичане слепва изолационните ленти и образува почти хомогенна изолационна система. Като недостатък може да се посочи, че при подмяна на изолацията на статорните намотки е необходимо да се подменят изцяло проводниците на намотките, което значително повишава цената на ремонта, но гарантира качества на статорната намотка и на двигателя като цяло значително по-добри от тези на двигателите, при производството им с термореактивна изолационна система с клас на топлоустойчивост B.

Разходите за изработване на изолационна система по технология VPI и по технология RR са практически еднакви, така че цената за пренавиване на двигателите по двете технологии е една и съща.

Група Г7. Научни публикации в издания, които са реферирани и индексирани в световноизвестни бази данни с научна информация (SCOPUS)

1. **Rizov, P.,** T. Stoyanov, R.Spasov, V. Spasov. Analysis of permanent magnet synchronous machines used for hybrid vehicles. 15th International Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems, ELMA 2017, Technical University of Sofia, Sofia, Bulgaria, 1- 3 June, 2017, pp. 374-378, doi: 10.1109/ELMA.2017.7955467.

В статията са представени резултатите от симулационни анализи на синхронни машини с постоянни магнити, използвани за хибридни превозни средства. За тази цел са разработени компютърни модели в средата на FEMM и Ansys Maxwell на два синхронни двигателя с различна мощност и “V”-образни вградени в ротора постоянни магнити. Използвани са варианти на статорната намотка: еднослойна трифазна намотка с $q=1$; две трифазни независими намотки, разположени едни и същи канали и шестфазна намотка с $q=1$. Изследванията са проведени при три стойности на тока в статорната намотка на синхронната машини.

Научно-приложни приноси: Получени са зависимостта на стойността на магнитния поток от ъгъла на натоварване и токовата плътност, зависимостта на е.д.н. на статорна фаза от вида на статорната намотка, зависимостта на въртящия момент от типа на намотка, процентното съдържание на висши хармоници по отношение на основния хармоник в зависимост от плътността на тока.

2. Gueorgiev, V., **P. Rizov**. Optimization of medium voltage backup power supply strategies for high power pump aggregates. 15th International Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems, ELMA 2017, Technical University of Sofia, Sofia, Bulgaria, 1- 3 June, 2017, pp. 262-266, doi:10.1109/ELMA.2017.7955445.

Статията представя изследване на преходни процеси при превключване на захранването на групи от мощни помпени агрегати задвижвани с асинхронни двигатели за средно напрежение. Преди, по време и след процеса на превключване, помпените агрегати продължават да работят. За провеждане на изследванията е разработен е модел в средата на Matlab. В модела са особени четири групи агрегати, като всяка от тях се захранва от отделна секция. Захранването на секциите се резервира, чрез превключване от две захранващи линии със силови трансформатори. В момента на превключване в асинхронните двигатели и захранващите секции протичат преходни процеси. В шините на превключваната секция се появява остатъчно напрежение с намаляваща честота. При захранване на тази секция от другата захранваща линия, в която честотата на напрежението е 50 Hz, се наблюдават преходни процеси, обособени от наличието на две напрежения с различни стойност и честоти. Поради тази причина е необходимо да се определи продължителността на интервала от време за превключване по такъв начин, че да се осъществи успешно превключване на захранването на асинхронните двигатели. Проблемът е дефиниран като задача за оптимизация - общият брой работещи помпи и времето за превключване са приети като параметри за оптимизация. Дефинирани са критерии за оптимизация, включващи времето за възстановяване Δt на напрежението и стойността на преходен ток. Останалите параметри на процеса - спадането на напрежението ΔU и пиковите стойности на ток формират ограниченията за оптимизация.

Научни приноси: Разработен е компютърен модел в средата на Matlab - Simulink за изследване на преходните процеси при превключване на захранването на група асинхронни двигатели за средно напрежение.

Научно-приложни приноси: Определен е оптималният интервал за времето за превключване на захранването. Той гарантира приемливо време за възстановяване и ниво на преходен свръх ток. Доказано е, че при по кратките интервали за превключване, преходните токове са с по-висока стойност при малък товар, поради факта че пада на напрежение във вътрешния импеданс на трансформаторите е малък. При по-големите стойности на времето за превключване, се достига до големи токове. Този факт се дължи на увеличението пада на напрежение във вътрешния импеданс на захранващите трансформатори.

3. Rizov, P., V. Gueorgiev. Influence of the excitation regime of turbo-generators on the own needs supply stable operation 15th International Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems, ELMA 2017, Technical University of Sofia, Sofia, Bulgaria, 1- 3 June, 2017, pp. 267-270, doi: 10.1109/ELMA.2017.7955446.

Докладът е посветен на изследване, имащо за цел да определи причините на спадане на напрежението на електрическите системи обезпечаващи работата на основното оборудване в блоковете на голяма електрическа централа в България. За провеждане на изследването е разработен компютърен модел в Matlab - Simulink за анализ на устойчивата работа на електрозахранващата система на собствените нужди на синхронен турбогенератор с висока мощност. Изследвани са варианта, при които собствените нужди се захранват от собствения им турбогенератор и варианта когато те се захранват от съседен турбогенератор при наличие на еднофазно късо съединение в близост до електрическата централа.

Научни приноси: Доказана е хипотезата, че чрез управлението на възбуждането си, работещия турбогенератор минимизира спада на напрежението на собствените си шини, което осигурява стабилна работа на собствените си нужди. В същото време, той не е в

състояние да обезпечи необходимото напрежение в шините на собствени нужди на съседния генератор, в резултат на което минимално напреженията защити изключват захранването на някои от системите.

Научно-приложни приноси: От симулациите с компютърния модел са получени осцилограми на фазните напрежения по време на еднофазното късо съединение в съседните електропроводи. Построени са векторните диаграми на напреженията, определена е несиметрията във фазните и линейните напрежения на системите за 6 и 0.4 kV.

4. Gueorgiev, V., **P. Rizov**. Lighting in High Temperature Industrial Enviroment. 7th Balkan Conference on Lighting, 20-22 September, 2018, Varna, Bulgaria , pp. 96-97, doi: 10.1109/BalkanLight.2018.854684.3.

Статията е посветена на резултатите от направено проучване на характеристиките на LED осветителни тела за осветяване на индустриални осветителни обекти с висока околна температура. Такива обекти са машинните зали на електрическите централи, в които се разполагат големи електрически машини, помпени станции и др. Във всички тези случаи много голяма площ трябва да бъде осветена с осветителни тела, прикрепени високо над работната равнина. Околната среда се характеризира с относително високо ниво на замърсяване (прах, понякога дори агресивни газове) и вибрации. Тези фактори, характеризиращи работната среда оказват влияние върху светлинния поток, ефективността, надеждността и цената на инсталацията с LED осветление.

Научно-приложни приноси: Направен е анализ на намаляването на светлинната мощност, светлинната ефективност на диодите, продължителността на работа и надеждността на LED осветителните тела в зависимост от температурата. Дадени са препоръки за регулиране на първоначалния светлинен поток на осветителното тяло, за увеличаване на мощността на осветителната инсталация.

5. Zarkov, Z., V. Lazarov, **P. Rizov**, L. Stoyanov, E. Popov. An approach for modeling the electronic converter-motor system for electric vehicles. 2019 16th Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems, ELMA 2019, 6-8 June, 2019, Varna, Bulgaria, doi:10.1109/ELMA.2019.8771484.

Тази статия представя комплексен подход за моделиране и симулация на задвижваща система, включваща инвертор и синхронен двигател с постоянни магнити (СДПМ) за приложение в електрически превозни средства. Двигателят е анализиран с метода на крайните елементи (FEM) чрез двумерен модел. Параметрите на двигателя (синхронни индуктивности и поток на постоянните магнити) са определени на базата на резултатите от анализа с FEM. За изучаване на цялостната задвижваща система е разработен стимулационен модел в Matlab/Simulink, който включва двигателя, акумулатора, електронния преобразувател и подсистемата за управление на преобразувателя и на въртящия момент и скоростта на двигателя. Реализирано е управление на двигателя посредством електронния преобразувател с максимален момент за ампер (МТРА) в първа зона до базовата скорост и с максимален момент при константно напрежение и константен ток във втора зона. Посредством симулации са изчислени характеристиките на двигателя в два режима на работа - като СДПМ (със синусоидални токове) и като безконтактен двигател за постоянен ток (БДПТ) (с правоъгълни токове) и са направени сравнения. Резултатите водят до заключението, че използването на двигателя като СДПМ е по-добрият избор поради по-високия въртящ момент, по-широкия диапазон на високи скорости и много по-ниските пулсации на въртящия момент.

Научни приноси: Разработен е комплексен подход за моделиране и симулация на задвижващи системи със синхронен двигател с постоянни магнити, електронен преобразувател

и управляваща подсистема. Разработен е цялостен симулационен модел на системата, който позволява нейното изследване в различни режими на работа – ускоряване забавяне, регенеративно спиране, движение с постоянна скорост. Разработен е модел на управление на СДПМ с прилагане на комбинация от две стратегии: максимален момент за ампер в първа зона и константно напрежение и константен ток във втора зона. Тази комбинация дава позволява да се използват най-пълно възможностите на двигателя. Доказана е хипотезата, че двигател с постоянни магнити със синусоидално разпределение на магнитното поле и ЕДН може да работи и като БДПТ, но с по-ниски параметри.

Приложни приноси: Получени са изчислителни и симулационни резултати за конкретен двигател, разработен в рамките на съвместен проект от фирма „Алмотт“ ООД, гр. Стара Загора.

6. Stoyanov, T., R. Spasov, **P. Rizov**. Analysis of fractional-slot permanent magnet synchronous machines used for hybrid vehicles. 16th International Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems, ELMA 2019, Varna, Bulgaria, 6 - 8 June, 2019, doi: 10.1109/ELMA.2019.8771560

Статията е посветена на изследване на електромагнитния въртящ момент и изчисленията на електромагнитната сила във въздушната междина на V-образен синхронен двигател с постоянен магнит (SMPM). Проведеният анализ е извършен чрез използване на метода на крайни елементи, като е разработен компютърен модел на двигателя в средата на FEMM. В модела са използвани статорната намотка с дробно число канали за един полюс и фаза. Приложен е подход, при който се изследва магнитното поле в 40 последователни положения на ротора спрямо статора, получени при завъртане на ротора на двигателя с равномерна стъпка. На всяка стъпка съответства времева стъпка от 0,5 ms. За всяко от положенията се изчисляват моментните стойности на тока във фазите на двигателя, които са входни данни за всяко положение на ротора.

Научно-приложни приноси: Определени са потокосцепленията на секциите на статорните фази с основния магнитен поток на двигателя. Изчислени са е.д.н. на статорните секции на статорните фази, получена е звездата на секционните е.д.н. на трите фази, изчислени са висшите хармоници на е.д.н. и електромагнитния момент.

7. Gueorgiev, V., **P. Rizov**. Real time monitoring of HV electrical machines driving powerful pump aggregates, 16th International Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems, ELMA 2019, Varna, Bulgaria, 6 - 8 June, 2019, doi: 10.1109/ELMA.2019.8771515.

Тази статия обобщава натрупаният опит в изграждането на система за мониторинг в реално време на електрическите параметри на въртящи се електрически машини - асинхронни двигатели и синхронни генератори за 6kV, и силови трансформатори за 220 kV. Предложен е вариант, при който като датчици на информация се използват съществуващите електрически защиты на електрическите машини и трансформатори и наличните цифрови измервателни уреди. От тях се получава информация за текущите стойности на фазните и линейни токове и напрежения, активните и реактивни мощности, честотата на напрежението, фактора на мощността и информация за изключвания на съоръжение от защиты или по подадена команда. Транслирането на този голям обем информация се извършва непрекъснато между датчиците и централния компютър, в резултат на което комуникационните линии (в частта RS485) са силно натоварени. Поради тази причина е предложена е радиална топология на локалната мрежа за събиране на данни от съоръженията подложени на мониторинг. Устройствата, съставляващи мрежата, не са разположени близо един до друго, което обуславя дълги комуникационни линии и

повишена вероятност за електромагнитни смущения. Системата за мониторинг реализира периодични записи на най-важните за експлоатацията параметри на съоръженията, които се използват при анализа на погрешни превключвания и аварийни режими.

Научно-приложни приноси: Анализирани са особеностите на работа на комуникационна мрежа с голяма радиална структура. Дефинирани са препоръки за структурирането на комуникационната мрежа в частта RS485, като броят на датчиците в едни клон не трябва да е по-голям от 4, а не както препоръчват производителите от 12 до 32. Дефиниран е обемът и структурата на архивираната информация, която е достатъчна за извършване на анализи на процесите при аварийни и погрешни превключвания.

8. Stoyanov, T., R. Spasov, **P. Rizov**. Reduction of the High Harmonics at the Electromagnetic Force and the Electromagnetic Torque in Synchronous Machines with Permanent Magnet. 11th Electrical Engineering Faculty Conference, BulEF 2019, Varna, Bulgaria, 11 - 14 September, 2019, doi: 10.1109/BulEF48056.2019.9030745.

Тази статия е посветена на изследвания на синхронни машини с постоянни магнити, позиционирани "V" образно в ротора при различни варианти на статорна намотка. Разгледани са случаите на еднослойна и двуслойна трифазни намотки с цял брой канали за полюс и фаза и диаметрална стъпка; трифазна еднослойна намотка със скъсена стъпка и петфазна еднослойна намотка с дробно число канали за полюс и фаза. Изследванията на разпределението на електромагнитното поле в синхронната машина са проведени с компютърни модели, в които са използвани изброените по-горе варианти на статорната намотка. Използва се подход, при който се реализират симулации на завъртане на ротора за период от 20 милисекунди. Периодът е разделен на четиридесет стъпки, като интервалът между стъпките е еднакъв.

Научно-приложни приноси: Като критерии за оценка на статорните намотки са избрани е.д.н. в статорните фази, електромагнитния момент на машината и наличието на хармоници с висши номера в тях. Съгласно горепосочените критерии най-ефективна е трифазната еднослойна намотка с цял брой канали за полюс и фаза и диаметрална стъпка, тъй като най-добре се използва конструкцията на машината. Електромагнитният момент на машината при тази намотка е с най-висока стойност в сравнение с момента при останалите намотки. Нивата на висши хармоници на е.д.н. и електромагнитния момент са от един и същи порядък при всички варианти на намотката.

9. Totev, V., V. Gueorgiev, **P. Rizov**. Regenerative braking of electric vehicles. 11th Electrical Engineering Faculty Conference, BulEF 2019, Varna, Bulgaria, 11 - 14 September, 2019, doi: 10.1109/BulEF48056.2019.9030768.

Тази статия представя резултатите от проучване на структурата на системата за рекуперативното спиране при електромобили, като целта е да се определят възможните варианти на основните елементи на системата. Определени са възможните видове електрически машини, като предпочитание е дадено на синхронните двигатели с постоянни магнити в ротора. Анализирани са методите за управление на гореспоменатите видове двигатели. Наблюдава се голямо разнообразие в методите за управление, като най-често приложими методи са: управление чрез промяна на стойността и честота на напрежението (VVVF) и директно управление на въртящия момент (DTC). Определени са най-често използваните инвертори – базирани на MOSFET и IGBT елементи, поради възможността за осигуряване на големи мощности и нисък импеданс на изхода. Анализирани са особеностите на най-често използваните видове акумулаторни батерии и суперкондензатори. Анализирано е разпределението на спирачната сила при рекуперативно спиране.

Научно-приложни приноси: Дефинирани са предимствата и недостатъците на рекуперативното спиране. Посочени са особеностите в едновременна работа на рекуперативно спиране и механичните спирачки на електромобилите.

10. **Rizov, P., V.Gueorgiev.** Determination of the Leakage Parameters of Synchronous Hydrogenerators. 21st International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies, SIELA 2020, Bourgas, Bulgaria, 3 - 6 June, 2020, doi: 10.1109/SIELA49118.2020.9167154

В доклада са представени изследвания на магнитния поток на канално разсейване на статорната намотка на синхронни хидрогенератори, проведени посредством метода на крайни елементи (МКЕ). Представеният подход взема предвид насищането на зъбите на статора и взаимното влияние на тока в съседни статорни канали. Изследванията са проведени за режим на номинално натоварване с отчитане на реакцията на тока на котвата. Полусът на ротора със своята надлъжна ос е ориентиран симетрично към статорните канали, в които са разположени секциите на фаза А. В разглеждания момент от време токът във фаза А има максимална стойност.

Научни приноси: Разработен е подход за изчисляване на индуктивността на канално разсейване и индуктивното съпротивление на разсейване на статорната намотка, и индуктираното е.д.н. в статорните фази.А. Подходът се основава на определяне на съхранената енергия на магнитното поле в каналите на статорната намотка.

Научно-приложни приноси: Разработен е 2D компютърен модел за изследване магнитното поле в синхронни генератори, който е приложим при различни режими на работа, с отчитане на насищането и реакцията на тока на котвата при различен характер на товара. Тези особености на модела го правят използваем още в етапа на проектиране на синхронните хидрогенератори. Достигнат е изводът, че различното насищане на зъбите на статора води до различни стойности на потока на канално разсейване в трите фази. Стойностите на потока на канално разсейване зависят от съотношението между съхраняваната магнитна енергия в участъците на статорните фази и магнитната движеща сила, която се определя от тока в статорните канали.

11. Stoyanov, T., R. Spasov, **P. Rizov.** Investigation of the Skewing of the slots in Permanent Magnet Synchronous Machines. 12th Electrical Engineering Faculty Conference, BulEF 2020, Varna, Bulgaria, 9 - 12 September, 2020, doi: 10.1109/BulEF51036.2020.932601

Тази статия представя изследването на синхронен двигател с постоянни редкоземни магнити и скосени статорни канали посредством компютърно моделиране на магнитното поле чрез 2D модели, базирани на метод на крайни елементи. За да се моделира скосяването на статорните канали е разработен и приложен следният подход. В аксиална посока статорният пакет се разделя на равни части от сечения перпендикулярни на оста на въртене. Отделните части на статорния пакет са завъртяни на една спрямо друга на ъгъл, съответстващ на положението на разглежданото сечение по надлъжната ос на машината. Роторът има едно и също първоначално положение във всяка от обособените части на статорния пакет, т.е. той не се завърта. Моделира се магнитното поле в трите части, като се симулира завъртане на ротора от първоначалното му положение на 40 последователни стъпки. Завъртането на 40 стъпки съответства на времеви интервал от 20 ms. През този интервал, моментните стойности на токовете в статорните фази се изменят в съответствие със стъпката на завъртане. За всяка стъпка се моделира магнитното поле, като се изчисляват моментните стойности електродвижещото напрежение и електромагнитния момент на машината.

Научни приноси: Създаден е метод за изчисляване на фазните електродвижещи напрежения и електромагнитния момент, базиран на компютърно моделиране на

магнитното поле в синхронни машини със скосени канали.

Научно-приложни приноси: Разработен е 2D компютърен модел за изследване на магнитното поле в синхронни машини със скосени канали в статора и възбуждане от редкоземни магнити в ротора. Определени са времевите зависимости на електродвижещото напрежение и електромагнитния момент на синхронната машина. Разработеният метод е приложим в етапа на проектиране на синхронни машини със скосени канали.

Група Г8. Научни публикации в нереферирани списания с научно рецензиране или в редактирани колективни трудове

12. Sotirov, D., **P. Rizov**, I. Panayotov. Study of the hydro generator's pole asymmetric axial displacement influence over the vibrations. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 59, book 2, 2009, pp. 15-22. ISSN 1311-0829.

Статията е посветена на изследване на вибрациите в лагерните възли на вертикален хидрогенератор при възбуждането му на празен ход. За тази цел е разработен 2D стимулационен модел за компютърно моделиране, базиран на метода на крайните елементи. Моделът се състои от две части. Основната част включва магнитопровода на статора, роторния полюс и въздушната част. Допълнителната част е магнитопровод, чието предназначение е да затвори магнитната верига. Върху нея е поставена допълнителна бобина, която възбужда магнитното поле в модела. Магнитната индукция във въздушната междина е 0.85 T, каквато е в действителност при реалния хидрогенератор. В компютърния модел се симулира стъпково преместване нагоре и надолу в аксиална посока на роторния полюс. За всяко от тези премествания се изчисляват действащите върху долния и горния край на полюса специфични сили, отнасящи се за 1 мм в дълбочина на модела. В зависимост от реалното вертикално отместване на всеки полюс спрямо симетричното му положение и специфичната сила за това отместване, се изчислява действащата върху полюса електромагнитна сила. Върху целия ротор, ще действа резултатна сила от всички полюси. Тя ще бъде небалансирана и ще води до вибрации на ротора.

Научни приноси: Създаден е метод за изследване на небалансирани сили с електромагнитен характер, действащи върху роторите на вертикални електрически машини.

Научно-приложни приноси: Доказана е, че вследствие на различното вертикално отместване на полюсите, се поражда небалансирана сила, която води до вибрации на цялата конструкция на хидрогенератора.

Приложни приноси: Резултатите от направените изследвания са използвани при балансиране на ротора на хидрогенератор 1 на ВЕЦ “Момина клисура”.

13. **Rizov, P.**, D. Sotirov, St. Batashki, R. Spasov. Research of the influence of the stator current reaction over the magnetic field in the rotor poles of synchronic hydro generators with FEM. Proceedings of the Technical University - Sofia, vol. 60, book 2, 2010, pp. 216-224. ISSN 1311-0829.

Статията представя подход за числено моделиране на магнитното поле в синхронен хидрогенератор в режим на номинално натоварване при индуктивен характер на товара. От полученото числено решение се определя потока на разсейване на полюса при разпределение на магнитната индукция в него близко до реалното. Резултатите от изследването позволяват да се оптимизира конструкцията на полюсното тяло за да се избегне силното му насищане. Изследванията са проведени по метода на компютърно

моделиране на електромагнитното поле в синхронния генератор при индуктивен ток. В модела роторът е ориентиран спрямо статора по такъв начин, че да се моделира реакцията на тока на котвата при индуктивен характер на товара. Полученото разпределение на екипотенциалните силови линии на потока на разсейване в междуполусното пространство.

Научно-приложни приноси: Създаден е подход за определяне на потока на разсейване в междуполусното пространство. Получена е зависимостта на пространствено изменение на потока на разсейване на роторен полюс на синхронен хидрогенератор в номинален режим.

Приложни приноси: Разработеният подход е използван за изследване на новопроектирани конструкции на хидрогенератори произвеждани в “Елпром ЗЕМ” АД.

14. **Rizov, P.**, D. Sotirov, St. Batashki, R. Spasov. Research of the harmonious composition of induced voltage in asynchronous generators through FEM. Proceedings of the Technical University - Sofia, vol. 60, book 2, 2010, pp. 225-234. ISSN 1311-0829.

В статията е представен подход за изследване и анализ на висшите хармоници в асинхронни генератори чрез съчетано използване на метода на крайни елементи и Fast Fourier Transform (FFT) алгоритъм реализиран в средата на Matlab/Simulink. За провеждане на изследванията е разработен 2D компютърен модел за моделиране на електромагнитното поле в асинхронен генератор за напрежение 6.3 kV. Разглежда се случая на идеален празен ход, като се симулира стъпково завъртане на ротора на ъгъл равен на две полюсни деления. Токовете в статорните фази се задават чрез поредица от моментни стойности за всяка фаза, съответстващи на ъгъла на завъртане на ротора. За всички положения на ротора са получени пространствените разпределения на магнитната индукция. Определен е хармоничния състав на индукцията. Изчислени са хармониците в линейното напрежение на генератора.

Научно-приложни приноси: Създаден е методика за определяне на хармониците на напрежението в асинхронен генератор, базирана на компютърно моделиране на електромагнитното поле.

Приложни приноси: Разработената методика се използва за обучение на студенти в Електротехнически факултет на Технически университет – София.

15. Sotirov, D., **P. Rizov**, N. Stamatov. Numerical determination of the mechanical loads of the construction of a vertical synchronous hydro generator. Proceedings of the Technical University - Sofia, vol. 60, book 2, 2010, pp. 257-269. ISSN 1311-0829

В доклада е представен алгоритъм за числено определяне на механичните натоварвания на конструкцията на синхронен хидрогенератор и оразмеряване на елементите ѝ, като е използван като пример на вертикална машина с мощност 1,6 MVA на фирмата Hitzinger. Разработеният алгоритъм е приложим и за хоризонтални машини, както и за машини с по-голяма мощност с отчитане конструктивни те им особености. За определяне на силите и моментите, действащи върху елементите от конструкцията на синхронния хидрогенератор са използвани, както класическите метод и за изчисление на ударната стойност на момента при внезапно късо съединение, така и числен подход с използване на метода на крайните елементи за изчисление на силата на едностранно магнитно привличане при неравномерна въздушна междина. За определяне на големината на електромагнитната сила на едностранно привличане, която се създава при асиметрия на въздушната междина на машината, е разработен 2D модел в средата на FEMM. Разработен компютърен 3D модел в средата на SOLIDWORKS с интегриран модул на COSMOS, които е приложен за

изследване на напреженията в отделните елементи на конструкцията и механичните деформации, както и за определяне на критичните скорости на въртене на ротора.

Научно-приложни приноси: Разработени са компютърни модели, базирани на метода на крайните елементи за определяне на електромагнитната сила при не равномерна въздушна междина и нейното влияние върху механичните натоварвания на конструкциите на синхронните генератори. Анализът на резултатите от компютърното моделиране позволява да се подобри конструкцията на генераторите както при проектирането на нови генератори, така и на вече съществуващи такива.

16. **Rizov, P., V. Georgiev, A. Ivanov**, Overview of the systems for On-line partial discharge monitoring for large generators and motors, *Elektrotechnica & Elektronika E+E*, Vol. 47, 11-12/2012., стр. 33-40, ISSN 0861-4717.

Настоящата статия е посветена на проучване на системи за on-line мониторинг на частичните разряди (PD) в изолацията на въртящи се машини за високо напрежение. Целта е да е придобият необходимите познания за изграждането и използването системи от този вид. Посочени са предимствата на системите за on-line мониторинг. Дефинирана е структурата на системи от този вид при мониторинг на високоволтови двигатели и генератори. Определени са параметрите на датчиците – високочестотни токови трансформатори и високоволтови куплиращи трансформатори.

Приложни приноси: Систематизирана е информация за структурата, елементната база и използването на on-line системи за мониторинг на висиковолтови машини.

17. **Rizov, P., Adrian I.** Study of the Magnetic Field in Synchronous Turbo Generator at Short-Circuited Turns in Excitation Winding. *Proceedings of the Technical University – Sofia*, vol. 63, 2013, book 6, pp. 237-246. ISSN 1311-0829.

В статията е описано изследването на не симетрията в синхронен турбогенератор (СТГ), дължаща се на накъсо съединени навивки в секциите на възбудителната намотка. Изследването е проведено чрез компютърно моделиране на магнитното поле, базирано на метода на крайните елементи с отчитане на насищането на магнитната система на генератора. За тази цел е разработен и използван 2D модел на стационарно електромагнитно поле в синхронен турбогенератор с номинална мощност 376.5 MW. Чрез разработения модел за проведени изследвания в случаите, за които броят на на късо съединените навивки в една секция на възбудителната намотка се изменят от 0 до 8, т.е. от варианта на напълно изправна секция до варианта за наличие на късо съединяване във всички навивки на секцията. Хармоничния състав на магнитната индукция е определен посредством FFT анализ на функцията на пространственото разпределение на магнитната индукция във въздушната междина на синхронния турбогенератор. Представени са резултати от изследванията с разработения модел при наличие на на късо съединение в една навивка, в две съседни навивки и в две несъседни навивки. Направено е сравнение на промяната на формата и стойността на пространственото изменение на магнитната индукция при изменение на броя на на късо съединените навивки от 0 до 8. Показани е изменението на хармониците на магнитната индукция в зависимост от броя на на късо съединените навивки. Чрез разработения компютърен модел е определено необходимото компенсиране на намаления магнитен поток, чрез увеличаване на възбудителния ток на генератора.

Научно-приложни приноси: Разработени са компютърни модели, базирани на метода на крайните елементи и FFT анализ на пространственото разпределение на магнитната индукция във въздушната междина, посредством които са определени промяната и хармоничния състав на магнитната индукция при наличие на на късо съединение навивки във възбудителната намотка на СТГ.

18. **Rizov, P., A. Ivanov.** Study of the influence of chamfering of stator channels onto harmonic composition of Induction in the air-gap of a synchronous hydro generator. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 63, 2013, book 6, pp. 247-254. ISSN 1311-0829.

В статията е представено проведено изследване на хармоничния състав на магнитната индукция във въздушната междина, когато е необходимо да се използва скосяване на статорните канали на синхронни хидрогенератори различно от това, което се препоръчва в класическите методи за проектиране. За тази цел е разработен и използван 2D стационарен модел с отчитане на насищането на магнитната система на явнополусен синхронен хидрогенератор, който се използва като базовият модел, и се отнася за предната страна на статорния пакет в активната част на машината. От базовия модел се получават модели за моделиране на магнитното поле в междинни сечения, разположени по протежение на аксиалната дължина на статорния пакет. Те са равно отдалечени едно от друго. Във всяко от тях, роторът е завъртян спрямо статора на ъгъл, големината на който зависи от местоположението на разглежданото сечение спрямо челното такова, т.е. съществува зависимост между положението разглежданото сечение и ъгъла на завъртане на ротора. Най-задното сечение е разположено в най-задната част на статорния пакет и е завъртяно спрямо базовото на ъгъл равен на ъгъла на едно канално деление. Изследванията са проведени при три стойности на ъгъла на скосяване на статорните канали - в граници от $0.75\alpha_k$ до $1.25\alpha_k$. Представени са резултати за разпределението на магнитната индукция във въздушната междина в различните сечения. Обединяването на резултатите за всички разглеждани сечения дава възможност за получаване на еквивалентно квази 3D пространственото разпределение на магнитната индукция за един полюс на хидрогенератора. Определен е хармоничния състав на пространственото разпределение на магнитната индукция във всички разглеждани сечения, така и на еквивалентните функции на пространствено разпределение на магнитната индукция посредством FFT (Fast Fourier transform). За тази цел е разработен изчислителен модул, използващ библиотеките на Matlab/SIMULINK. Изчислени са процентните съотношения на зъбните хармоници спрямо основния хармоник на магнитната индукция за всички разглеждани варианти и е определена е "средната тежест" на зъбните хармоници спрямо основния.

Научно-приложни приноси: Разработен е алгоритъм за определяне на зависимостта на хармоничния състав на магнитната индукция във въздушната междина от скосяването на статорните канали, който се състои от компютърно моделиране на електромагнитното поле в синхронния хидрогенератор и FFT модул в Matlab/SIMULINK. Той е приложим за определяне на оптималното ниво на зъбните хармоници на магнитната индукция при различни ъгли на скосяване на статорните канали още в етапа на проектиране както на синхронни, така и на асинхронни машини.

19. **Rizov, P., St. Vichev.** Short circuit voltages correlation in voltage transformer primary windings. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 63, 2013, book 6, pp. 255-262. ISSN 1311-0829.

Докладът представя изследване на възможността от появяване на напрежение с нулева последователност на входа на цифровите защиты на синхронен генератор вследствие на късо съединение в първичните намотки на измервателните напреженови трансформатори (НТ) свързани към изводите на генератора, в резултат на което може да се достигне до излишното му изключване. Изследването е проведено чрез анализ на записите на цифровите защиты и провеждане на физическо моделиране в лабораторни условия, като е симулирано наличието на на късосъединени навивки в НТ. Анализът на резултатите от проведеното изследване, дава основание да се изгради хипотезата, че при наличие на на късосъединени навивки в първичната намотка се наблюдават противодействащи си процеси. Увеличаването на броя на на късосъединените навивки води до намаляване на коефициента на трансформация и напрежението

на вторичната намотка на НТ нараства. От друга страна появяването на на късо съединени навивки води до образуване на на късо съединен контур, в който протича ток оказващ размагнитващо въздействие в НТ.

Научно приноси: Анализът на резултатите от проведеното изследване, дава основание да се изгради хипотезата, че при наличие на на късо съединени навивки в първичната намотка се наблюдават противодействащи си процеси. Увеличаването на броя на на късо съединените навивки води до намаляване на коефициента на трансформация и напрежението на вторичната намотка на НТ нараства. От друга страна появяването на на късо съединени навивки води до образуване на на късо съединен контур, в който протича ток оказващ размагнитващо въздействие в НТ.

Научно-приложни приноси: Причина за появата на напрежение с нулева последователност е съотношението на вторичните фазни напрежения на НТ при к.с. в първичните навивки на един от тях. Това е рядка повреда, която в литературата се свързва с пренапрежения при ферорезонанс. В разглеждания случай записите в защитите не отговарят на наличие на ферорезонанс.

20. Vichev, St., **P. Rizov**. Synchronous generator relay protection redundant trip by voltage transformer fault. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 63, 2013, book 6, pp. 345-350. ISSN 1311-0829.

В статията се изследва опасността от излишно заработване на земната статорна защита на големи синхронни турбогенератори в следствие на повреда в първичните намотки на напреженовите трансформатори (НТ), свързани към изводите им. Изследвани и анализирани са записите в регистраторите на повреди на конкретен турбогенератор. Първоначалните допускания са били, че е налице пробив в изолацията на генератора. При анализа се установи, че не са заработили диференциалните и токовите защиты, т.е. няма основание за безпокойство относно изолацията на статорните намотки на генератора. Не е работила и максимално напреженовата защита. Този факт отхвърля предположението за наличие на трайно пренапрежение. Възникна хипотезата, че изключването на турбогенератора е предизвикано от подадена невярна информация към защитното реле, източник на която са измервателните напреженови трансформатори. Анализът на осцилограмите на напреженията показва, че те се изменят скокообразно, което се дължи на скокообразни повишавания на коефициента на трансформация на един от напреженовите трансформатори. Този ефект се получава при наличие на междунавивково късо съединение в първичната намотка на НТ. Първоначалната причина за появяване на междунавивковото късо съединение е не добро локално изпълнение на междунавивковата изолация. Стъпаловидното нарастване на всички напрежения, включително и на напрежението с нулева последователност, се дължи на факта, че броят на късо съединените навивки непрекъснато се увеличава, тъй като през тях протича голям ток. Той ги загрева и процеса на разрушаване на междунавивковата изолация се разраства.

Научни приноси: Доказана е хипотезата, че излишното изключване на турбогенератора се дължи на влошената изолация в НТ на една от фазите, в резултат на което при наличие на симетрия между фазните напрежения на турбогенератора, се получава не симетрия между вторичните напрежения на измервателните трансформатори и напрежение с нулева последователност.

Приложни приноси: Резултатите от направеното изследване, са приложени при анализа на процесите при аварийното изключване на голям турбогенератор в една от големите електроцентрали в България. Престоят на турбогенератора в неработещо състояние бе съкратен до няколко дни, в резултат на което бяха избегнати големи финансови загуби.

21. Aleksandrov, S., **P. Rizov**. Development and research of synchronous generator with axial magnetic field. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 64, 2014, book 4, pp. 15-22. ISSN 1311-0829.

Статията е посветена на разработване и изследване на експериментална конструкция на синхронен генератор с възбуждане от постоянни магнити, при който работния магнитен поток във въздушната междина е насочен в аксиална посока спрямо оста на въртене. Разработени са четири варианта, които се различават по броя на навивките в статорните бобини и размера на въздушната междина. За изследване на магнитното поле в генератора е разработен за компютърен модел, базиран на метода на крайните елементи, чрез който са изследвани различните варианти в режим на празен ход на генератора. Представени са резултати за разпределението на магнитните силови линии и магнитната индукция в напречното сечение на генератора, и пространственото разпределение на магнитната индукция във въздушната междина. За провеждане на експерименталните изследвания е изработен опитен прототип, чрез който са изследвани четирите варианта на експерименталната конструкция. От сметите осцилограми е определен ъгъла на дефазирание между фазните напрежения и пулсациите на тока след AC/DC преобразувателя при различни стойности на товарния ток. Определена е зависимостта на напрежението на синхронния генератор от оборотите. Резултатите от компютърните симулации и експериментите доказват физическата адекватност на разработената експериментална конструкция, което е прави приложима в практиката.

Научни приноси: Разработен е компютърен модел в средата на FEMM за изследване на разпределението на аксиалното магнитно поле в генератора с отчитане на реалното насищане на магнитната система.

Научно-приложни приноси: Анализът на резултатите от компютърното моделиране и експерименталното изследване позволява да се подобри конструкцията на генератора по такъв начин, че да се намали разсейването между полюсите, да се определи оптималното съотношение между навивките на статорните фази и размера на въздушната междина.

22. **Rizov, P.**, R. Spasov, Ts. Stoyanov, V. Zahariev. Determining the dependency of the flux linkage from the load in syn-chronous machines with permanent magnets for hybrid automobiles. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 64, 2014, book 4, pp. 97-104. ISSN 1311-0829.

Статията представя изследване на изменението на фазните потокосцепления в зависимост от натоварването в синхронни двигатели с постоянни магнити, използвани в хибридни автомобили. За провеждане на изследването е разработен 2D компютърен модел за моделиране на електромагнитното поле, базиран на метода на крайните елементи. В класическата теория на електрическите машини, с цел опростяване на модела на машината, уравненията на напреженията се трансформират от система с три неизвестни в система с две неизвестни. За тази цел се преминава от координатна система abc-неподвижно свързана със статора към роторна координатна система dq, - въртяща се със синхронна скорост. За определяне на потокосцепленията се използват индуктивности, които се изчисляват в процеса на проектиране по класическите аналитични методи, без отчитане на насищането на стоманата. Възможно е да се използват и подходи с прилагане на метода на крайни елементи за моделиране на магнитното поле в синхронни двигатели с постоянни магнити.

Научни приноси: Разработен е нов подход за определяне на фазните потокосцепления в синхронни двигатели на база получените резултати от моделиране на магнитното поле с метода на крайни елементи в режим на генератор при различен характер на товара. С него се постига по-голяма точност при определянето на потокосцепленията поради факта, че се отчита реалното насищане на различните участъци на магнитната верига.

Научно-приложни приноси: Разработен е алгоритъм за определяне на фазните потокосцепления ψ_a , ψ_b , ψ_c , а от тях и потокосцепленията ψ_d , ψ_q . Разработен е софтуер в средата на Excel за обработка на числените резултати и изчисляване на фазните потокосцепления. Определени са зависимостите на фазните потокосцепления от ъгъла на натоварване и статорния ток.

Приложни приноси: Разработените компютърни модели и алгоритми са въведени в обучението на студенти в Електротехнически факултет на Технически Университет – София.

23. Spasov, R., **P. Rizov**, V. Zahariev, Ts. Stoyanov. The Application of the Finite Element Method for Determining the Torque and the Losses in the Steal's Teeth in the Stator of a Synchronous Machine with Imbedded Permanent Magnets. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 64, 2014, book 4, pp. 161-170. ISSN 1311-0829.

В статията е представен подход за определяне на електромагнитния момент и загубите в стоманата по височина на статорните зъби във функция от честота на захранващото напрежение в синхронен двигател с възбуждане от вътрешно разположени в ротора постоянни магнити. Към електрическите двигатели използвани в хибридните автомобили се налагат изисквания по отношение на получаваната мощност от единица обем, с което се цели намаляване на теглото на автомобила. Тези изисквания налагат още в етапа на проектиране на двигателите много прецизно да се изчислят момента и загубите в тях. Един от съвременните подходи за изчисляване на тези параметри е базиран на моделиране на магнитното поле, чрез метода на крайните елементи. За тази цел в средата на софтуера “FEMM” са разработени компютърни модели на два синхронни двигатели с вътрешни “V” образно разположени магнити в ротора и различен брой полюси. Електромагнитния момент се определя по кръгов контур, разположен в средата на въздушната междина. По височина на статорните зъби, принадлежащи на един полюс, са дефинирани контури, по които се определя изменението на индукцията в тях. Получените стойности за индукцията се използват за определяне на загубите във зъбите в зависимост от честотата на напрежението.

Научни приноси: Разработен е нов подход за определяне на загубите в стоманата на статорните зъби в синхронни двигатели с отчитане на реалното насищане на стоманата по височина на зъба. Подходът използва резултати, получените от моделиране на магнитното поле с метода на крайни елементи. При него се постига по-голяма точност при изчисляване на загубите поради факта, че се отчита реалното насищане в различните участъци на цялата магнитна верига на двигателите. Разработени са математични алгоритми и съответните софтуери за изчисляване на загубите в стоманата на зъбите в MatLab и Excel.

Научно-приложни приноси: Разработен е алгоритъм за определяне на електромагнитния момент в синхронни двигатели с постоянни магнити, използващ метода на компютърно моделиране на електромагнитното поле.

Приложни приноси: Разработените компютърни модели и алгоритми са въведени в обучението на студенти в Електротехнически факултет на Технически университет - София

24. Sotirov, D., V. Filipov, **P. Rizov**, A. Bahchevanski. Study and comparison of the characteristics of salient and non-salient synchronous hydro generators Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 64, 2014, book 4, pp. 171-180. ISSN 1311-0829.

В статията е представен метод за изследване и оценка на качествата на явнополюсни и неявнополюсни синхронни хидрогенератори. Методът е базиран на сравнителен анализ на двата варианта на конструкциите на хидрогенераторите. За тази цел са разработени 2D модели за моделиране на електромагнитното поле чрез програмния продукт FEMM и

програмния модул за електромагнитни изчисления и анализи Maxwell Exprt. Направена е оценка и сравнение на основни показатели на генераторите, като загуби и коефициент на полезно действие, хармоници на генерираното напрежение, разход на активни материали и труд за производство.

Научни приноси: Създаден е нов метод за оценка на основните показатели на синхронни хидрогенератори за средна мощност с неявнополюсна и явнополюсна конструкция на ротора.

Научно-приложни приноси: Направени са изводи за приложимостта на едната или другата конструкция на ротора в зависимост от поставените изисквания към хидрогенераторите. Предложената методика за оценка е приложима за избор на типа на ротора при проектиране както на единични образци, така и на серии синхронни хидрогенератори със средна мощност.

Приложни приноси: Резултатите от изследванията са приложени при проектиране на нови конструкции на хидрогенератори произвеждани в “Елпром ЗЕМ” АД.

25. **Rizov, P., V. Gueorgiev.** Influence of the Regime of Excitement of the Turbo-Generators on the Stable Work of the Own Needs Supply. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 66, 2016, book 1, pp. 19-28. ISSN 1311-0829.

В статията е представено е изследване на причините довели до изключване на част от съоръженията на собствените нужди на голяма електрическа централа в България, след еднофазно късо съединение на електропровод свързан към изхода на централата. За провеждане на изследването е разработен компютърен модел в средата Matlab – Simulink за симулация на процесите. Моделът включва шини 400 и 220 kV, основни трансформатори, трансформатори собствени нужди, трансформатори за резервно захранване на собствените нужди, синхронни турбогенератори с голяма мощност, секции 6.3 и 0.4 kV от електрозахранващите системи на собствените нужди на силовата установка. Адекватността на разработения модел е проверена посредством сравнение на осцилограмите и векторните диаграми на напреженията получени от разработения модел и реално заснети осцилограми и векторни диаграми на напреженията, записани в регистраторите при еднофазно късо съединение на една от фазите в електропроводите в близост до електрическата централа. Получени са осцилограми и векторни диаграми на напреженията.

Научни приноси: Разработен е подход за изследване на процесите, определящи устойчивостта на електрогенериращи електрически системи, при наличие на смущаващи въздействия в свързаните към тях електропроводи.

Научно-приложни приноси: Доказана е хипотезата, че работещ турбогенератор е в състояние да поддържа нивото на напрежение на своите шини, а от там несиметрията на напреженията на неговите собствени нужди е много по-малка. Направени са извода, че режима на възбуждане на генераторите е определящ за стабилността на напреженията при евентуални къси съединения в електроенергийната система. Направена е препоръка, че идеята да се намали възбудителния ток, за да се увеличи генерираната активна енергия или за да се използват генераторите за компенсиране на капацитивна енергия, трябва да се провери и от гледна точка стабилност на система.

Приложни приноси: Доказано е, че силната несиметрия в линейните и фазни напрежения на шини 0,4 kV на собствените нужди на неработещ турбогенератор, води до задействане на минимално - напреженовите релета, които изключват част от съоръженията.

26. Gueorgiev, V., **P. Rizov**. Study of the Possibility for Backup Power Supply Changeover on Medium Voltage Busses, Supplying Power Pump Aggregates. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 66, 2016, book 1, pp. 29-36. ISSN 1311-0829.

Статията представя изследвания на режими на превключване на захранването на 6 kV секции с асинхронни двигатели от един към друг захранващ трансформатор, без да се налага спиране на помпените агрегати задвижвани от тях. Целта на тези изследвания е да се определят ограничителните условия, при които е възможно осъществяването на превключването, без да се достига до прекъсване на работата на агрегатите. Особеностите на този процес са свързани с факта, че при изключване на захранващото напрежение, помпени агрегати продължават да се въртят в същата посока, заради запасената във въртящите се маси енергия. Вследствие на това, двигателите преминават в генераторен режим, поддържан от „намаляващия“ магнитен поток. След като скоростта на помпата спадне до нула, водният стълб в нагнетателния тръбопровод предизвиква развъртане на агрегата в обратна посока, т.е. помпата започва да работи като турбина. Двигателят също се развърта в обратна посока, но не преминава в генераторен режим, заради отсъствието на източник на реактивна енергия. Изследванията на тези процеси са проведени със стимулационен модел, разработен в средата на Matlab – Simulink.

Научни приноси: Създаден е метод за изследване на преходите процеси, при превключване на захранването на асинхронни двигатели, чрез който се определя оптималната продължителност на безтоковия интервал, която ще гарантира устойчива работа на помпените агрегати.

Научно-приложни приноси: Дефинирани са критерии за оценка за успешно превключване на захранването: пада на напрежение, времето за възстановяване на напрежението, стойностите на ударния и преходния ток. Направен е извода, че стойността на остатъчното напрежение, зависи от броя на превключваните секции. Доказано е, че максималната продължителност на безтоковата пауза, през която е възможно успешното самоопускане на двигателите е 1.5 секунди. Ако самоопускането не се осъществи в рамките на този интервал автоматичното превключване на захранването е невъзможно.

Приложни приноси: Получените резултати от изследването, дават основание да се направи извода, че разработения метод е приложим за определяне на настройките на максималнотокови и напреженови защиты не само на помпени агрегати, а всички съоръжения задвижвани с асинхронни двигател

27. Spasov, R., **P. Rizov**, Ts. Stoyanov, V. Zahariev. Research of the Stator Winding Type's of Synchronous Machine with Permanent Magnets to Achievement Maximum Energy efficiency. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 66, 2016, book 1, pp. 127-136. ISSN 1311-0829.

В статията е показано изследване на влиянието на вида на статорна намотка върху енергийната ефективност на синхронни двигатели с постоянни магнити, които се използват за задвижване на хибридни електроавтомобили. За тези двигатели се налагат редица изисквания по отношение на получаваната мощност от единица обем, с което се цели намаляване на теглото на автомобила и постигане на максимална енергийна ефективност при преобразуване на електрическата енергия, запасена в акумулаторните батерии, в механична. Изследването е проведено посредством метода на компютърно моделиране на магнитното поле в двигателя. Разработени са 2D стационарни модели с три вида статорни намотки: стандартна трифазна намотка с брой на канали за полюс и фаза $q=2$; две независими трифазни намотки с $q=1$ и шестфазна намотка с $q=1$. Критерии за оценка на предимствата и недостатъците на съответния вариант на двигателя по отношение на неговата ефективност са: произвеждания от тях електромагнитен момент и неговото

изменение при промяна на токовото натоварване и стойността на първия хармоник на електродвижещото напрежение в режим на генератор.

Научни приноси: Разработен е метод за изследване на влиянието на вида на статорната намотка върху ефективността на синхронни машини с “V” образно разположение на постоянните магнити в ротора. Дефинирани са критериите за определяне на енергийната ефективност на конструкциите с различни статорни намотки на синхронните машини при работа в двигателен и генераторен режим.

Научно-приложни приноси: Направен е анализ на разглежданите конструкции. Вследствие на анализа е доказано, че както в двигателен режим, така и в генераторен режим най-добри енергийни показатели се осигуряват от конструкцията на синхронна машина с две независими намотки. Недостатък на тази конструкция е необходимостта от два инвертора и значително по-сложни алгоритми за управление при двигателен режим. При генераторен режим е необходимо да се използва дефазиращ елемент-кондензатор в едната намотка. Това е трудно осъществимо, тъй като в зависимост от големината на товара, капацитета на кондензатора е необходимо да бъде променян. Направен е изводът, че при конструкцията с шестфазна намотка се постига най-добро съчетание между постигането на добри енергийни характеристики и стойност на допълнителното оборудване.

Приложни приноси: Разработените компютърни модели и алгоритми са въведени в обучението на студенти в Електротехнически факултет на Технически Университет – София.

28. Spasov, R., **P. Rizov**, V. Zahariev. Ts. Stoyanov. Distributing Transformer for Photovoltaic Power Stations. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 66, 2016, book 1, pp. 137-144. ISSN 1311-0829.

Статията е посветена на изследване на работата на повишаващ трансформатор в зависимост от хармоничният състав на захранващото напрежение. Трансформаторът работи във фотоволтаична електроцентрала. Специфичните изисквания към тези трансформатори са свързани със съвместната им работа с инвертори, които генерират напрежение с различен хармоничен състав. Стандартите дефинират степента на Тоталното Хармонично Изкривяване (THD) на напрежението и тока в разпределителните мрежи. Изчислението на THD е извършено чрез моделирането на магнитното поле в трансформатора с помощта на софтуерния продукт “FEMM” и “LUA” скриптове. За изчисляване на токовите плътности, съответстващи на съответните хармоници на тока, е разработен алгоритъм и програмен модул в Microsoft Excel. Програмният модул изчислява всички токови плътности на намотка ниско напрежение при к-фактор от 2 до 20, като амплитудите на отделните хармоници са определени спрямо амплитудата на първия хармоник. От резултатите получени при компютърното моделиране на електромагнитното поле са изчислени потокосцепленията и хармоничния състав на електродвижещото напрежение в намотката за високо напрежение. За тази цел са разработени алгоритми и програмни модули в софтуерната среда на MatLab и Excel. Изследвани са два вида конструкции на намотката за ниско напрежение. Първият вид е стандартна цилиндрична двуслойна намотка разположена върху едно ядро. Вторият вид е модифицирана намотка тип зиг-заг, при която всяка фазна намотка се състои от три равни части. Те са разположена по трите ядра по такъв начин, че намотките имат магнитна и електрическа симетрия. Двата модела на трансформатор са с еднаква конструкция на магнитопровода.

Научни приноси: Създаден е метод за изследване на влиянието на конструкцията на намотка ниско напрежение върху хармоничния състав на намотка високо напрежение в трансформатори при съвместната им работа с инвертори генериращи напрежение с различен хармоничен състав.

Научно-приложни приноси: Направен е анализ на изследваните конструкции на намотката за ниско напрежение на трансформатора по отношение на намаляване на

хармоничния състав на напрежението във вторичната намотка за високо напрежение. Доказано е, че при намотката за ниско напрежение с модифициран зиг-заг, силно се намалява третия и кратните му хармоници, но цената на това намаление е свързано с увеличение с 50% на навивките на тази вид намотка. Създаденият метод за изследване на хармоничния състав на индуктираното напрежение във вторична намотка, при различна степен на несинусоидалност на напрежението в първичната намотка, е приложим за изследване на трансформатори с други конструкции на намотките за ниско напрежение.

Приложни приноси: Разработените компютърни модели и алгоритми се използват в обучението на студенти в Електротехнически факултет на Технически Университет – София.

29. **Rizov, P., S. Aleksandrov.** 3D Thermal Analysis of Double Speed Induction Motor for Middle Voltage. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 66, 2016, book 1, pp. 471-478. ISSN 1311-0829.

Статията е посветена на изследване на топлинното поле в двускоростен асинхронен електродвигател за напрежение 6 kV, компютърно моделиране на топлинните процеси чрез метода на крайните елементи. В програмния продукт ANSYS е разработен 3D компютърен модел за числено решаване на уравненията, описващи топлинните процеси, като топлинното поле в двигателя при номинално натоварване се разглежда като стационарно. В модела е отчетено наличието на радиално-аксиална охладителна система в двигателя. В каналите на статора са разположени две отделни трифазни намотки с различен брой полюси. От решението на топлинната задача са определени зоните с максимално локално загряване на изолацията на двете намотки без значение от това коя от тях е захранена с напрежение. Направени са изследвания за работа на двигателя при две скорости на работа. Източниците на топлинна енергия са моделирани посредством електрическите загуби в статорната и роторна намотки и загубите в стоманата на статорния магнетопровод. За тяхното определяне са разработени собствени алгоритъм и софтуер за проверочни изчисления на двускоростни асинхронни двигатели.

Научни приноси: Разработен е подход за определяне загряването на различните зони в конструкцията на асинхронни двигатели, базиран на метода за компютърно моделиране на топлинното поле в тях.

Научно-приложни приноси: Направен е анализ на загряването на проводниците и изолацията на работещата и неработещата статорни намотки, който дава възможност да се прецени дали температурния клас на изолацията е достатъчен за да се осигури надеждна работа на изолационната система. Анализът показва, че роторната намотка в режим на номинално натоварване е незначително загрята, тъй като роторните пръчки са в директен контакт със стоманата на ротора, в резултат на което генерираната в тях топлинна енергия директно се пренася към стоманения пакет на ротора.

30. **Aleksandrov, S., P. Rizov.** 3D Electromagnetic Analysis of Double Speed Induction Motor for Middle Voltage. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 66, 2016, book 1, pp. 479-488. ISSN 1311-0829.

Статията е посветена на изследване на силовото въздействие на електромагнитното поле върху челните съединения при двускоростен асинхронен електродвигател за напрежение 6 kV. Електромагнитното поле е се разглежда като квазистационарно. За решаване на електромагнитната задача е разработен 3D квазистационарен модел с отчитане на индуктираните токове в роторната намотка. Използвани са комплексни стойности на статорния и роторния ток при номинално натоварване, празен ход и късо съединение на двигателя. Изолационната система на двускоростния двигател е изработена по VPI

технология. Тя осигурява по-висока устойчивост при въздействие на влага и висока температура и има по-голяма твърдост. В пусков режим челните съединения на статорните намотки са подложени на силово въздействие, предизвикано от взаимодействието на пусковия ток и потока на челно разсейване. В резултат на което в изолацията на челните съединения могат да се появят микроразрушения, които са в състояние да влошат изолационните свойства на изолационната система на двигателя.

Научни приноси: Разработен е метод за определяне на механичното натоварване на челните съединения на асинхронен двигател, като е избран подхода за изчисляване на електромагнитната, базиран на 3D комплексен модел за компютърно моделиране на електромагнитното поле в двигателя.

Научно-приложни приноси: Анализирано силово въздействие на електромагнитното поле в зоната на челните съединения на статорната намотка, което позволява да се направи качествена оценка за способността на изолацията да издържи на механичното въздействие, без да се получат разрушения в нея. Получено е разпределението на електромагнитната сила върху онези части на роторните пръчки, които са разположени извън роторния пакет и възможността те да понесат силовото въздействие на електромагнитното поле без да възникне пластична деформация в тях.

Приложни приноси: Разработеният метод позволява още в етапа на проектиране на електрическите машини да бъдат определени действащи върху челните съединения силите и необходимите мерки укрепване им.

31. **P. Rizov.** Determining the Phase Flux Linkage's Time Function and the phase electromotive force's in turbo generators Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 66, 2016, book 3, pp. 117-124. ISSN 1311-0829.

В статията е представен метод за определяне на изменението на времевите функции на фазните потокосцепления Ψ_A , Ψ_B , Ψ_C в синхронен турбогенератор с мощност 320 MW и номинално напрежение 20 kV. Методът е базиран на алгоритъм, в основата на които се използва числено моделиране на електромагнитното поле с отчитане на насищането на магнитната верига в турбогенератора. За провеждане изследванията е разработен 2D модел за компютърно моделиране на електромагнитното поле в режим на празен ход. От получените резултати за разпределението на магнитния поток в активната част на турбогенератора се определят потокосцепленията на активните страни на фазните секционни групи. От тях се изчисляват фазните потокосцепления, като се взема под внимание наличието на паралелни клонове в статорната намотка. Моментните стойности на фазните електродвижещи напрежения се изчисляват като времеви производни на фазните потокосцепления. За тази цел в алгоритъма се симулира стъпково завъртане на ротора на ъгъл съответстващ на два полюса. На геометричната стъпка на завъртане съответства времева стъпка за изменение на времето. Продължителността на времевия интервал за симулации е 20 ms.

Научни приноси: Създаден е метод за определяне на времевите функции на фазните потокосцепления с отчитане на реалното насищане на отделните участъци на магнитната верига на синхронен турбогенератор.

Научно-приложни приноси: Получени са изчислителни осцилограми, показващи изменението на фазните потокосцепления и електродвижещи напрежения в турбогенератора в режим на празен ход.

Приложни приноси: Разработеният метод е приложим в етапа на проектиране на електрическите машини за определяне на характера на времевото изменение и симетрията на електродвижещите напрежения.

32. Spasov, R., **P. Rizov**, Ts. Stoyanov, V. Zahariev. Rotor iron losses determination in permanent magnet synchronous machine for hybrid cars. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 67, 2017, book 1, pp. 241-249. ISSN 1311-0829.

В статията е показан подход за изследване на пулсационните загуби в ротора на синхронна машина с V-образно разположени постоянни магнити, използвана в хибридни автомобили. Подхода се базира на компютърно моделиране на магнитното поле и последващо определяне на пространственото изменение на магнитната индукция. За провеждане на изследването е разработен 2D стационарен компютърен модел на синхронна машина, като откъм въздушната междина, в рамките на един полюс са дефинирани шест дъгови контури. Алгоритъмът е реализиран за режимите на празен ход и натоварване при три стойности на статорния ток. По дъговите контури се снемат дискретни стойности на пространственото изменение на магнитната индукция, броят на които е един и същи за всички контури. Броят на дискретните стойности определя броя на елементарните обеми в секторите разположени между дъгови контури. От дискретните стойности се изчислява средната индукция в елементарните обеми на секторите. Симулира се стъпково завъртане на ротора на геометричен ъгъл съответстващ на един полюс, при което се определя магнитната индукция в елементарните обеми за всяко положение на ротора. На база на индукциите се изчисляват специфичните загуби в обемите и пулсационните загуби в стоманата на ротора. За определяне на пространственото разпределение на магнитната индукция и пулсационните загуби е разработен математичен алгоритъм и съответни софтуерни приложения в средата на програмния език Fortran и Excel.

Научни приноси: Създаден е метод за определяне на пулсационните загуби в стоманата на ротора на синхронна машина с отчитане на различното насищане на отделните зони в магнитната верига и реалните пулсации на индукцията при неговото завъртане.

Научно-приложни приноси: Получени са пространствените разпределения на загубите в стоманата на ротора в зависимост от неговото положение и мястото на елементарния обем в зоните, разложени по надлъжната и напречната ос на машината. Определено е намаляването на загубите в повърхностния слой в режим на празен ход и натоварване. То се зависи от степента на насищане на магнитната верига и най-вече на повърхностния слой на ротора. Доказано е, че по надлъжната ос d пиковите стойности на загубите намаляват, докато по напречната ос q загубите увеличават амплитудните си стойности, което е резултат от действието на реакцията на тока на котвата. Предложен е математичен израз за определяне на коефициента на загубите от вихрови токове.

Приложни приноси: Разработени са съответни софтуерни приложения в средата на програмния език Fortran и Excel за обработка на числените резултати и изчисляване на пулсационните загуби в ротора на синхронна машина.

33. **P. Rizov**. Application of finite element method (FEM) for study of two-speed asynchronous induction motor for medium voltage. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 67, 2017, book 1, pp. 251-260. ISSN 1311-0829.

Статията представя подход за изследване на индуктираните напрежения в статорните намотки на двускоростен асинхронен двигател за средно напрежение. Алгоритъмът е базиран на метода за компютърно моделиране на електромагнитното поле и последваща обработка на числените резултати. В статорните канали на двигателя са разположени две намотки с различен брой полюси ($2p=12$ и $2p=16$), като е запазена само едната от тях. Въртящото се магнитно поле индутира електродвижещи напрежения и в двете намотки. Целта на изследванията е определяне на времевите функции и максималните стойности на напреженията индутирани в незахранената намотка. Използвано е 2D компютърно моделиране на магнитното поле, базирано на метода на крайните елементи, като е реализирано стъпково симулационно решение с равномерна геометрична стъпка и

съответстваща на нея времева стъпка. Разработени са два изходни модела за режима на номинално натоварване. При първия модел е симулирано захранване на намотката с по-малък брой полюси, а при втория е захранена намотката с по-голям брой полюси. От тях се получава последователност от подмодела, при които роторът е завъртян спрямо предходното положение на ъгъл определен от времевата стъпка и синхронната скорост при различния брой на полюсите. В подмоделите са зададени моментните стойности на фазните токове на захранената намотка, които се изменят при завъртане на ротора.

Научни приноси: Създаден е подход, базиран на компютърно моделиране на електромагнитното поле в двускоростен асинхронен двигател, чрез който се изследват фазните потокосцепления и електродвижещи напрежение.

Научно-приложни приноси: Получени са изчислителни осцилограми на изменението във времето на фазните потокосцепления и напреженията в незахранените намотки. Определен е хармоничния състав в напреженията. Доказано е, че индукираните напрежения в незахранените намотки са с еднаква честота, равна на честотата на захранващото напрежение – 50 Hz. Това е така, тъй като в първия случай 12 полюсно въртящо се магнитно поле индукира напрежение в 16 полюсна намотка. Във втория случай, 16 полюсно въртящо се магнитно поле индукира напрежение в 12 полюсна намотка.

Приложни приноси: Доказано е, че максималните стойности на индукираните напрежения в незахранената намотка са близки по стойност на захранващото напрежение. Този факт дава основание да се приеме, че изолацията на намотките няма да е подложена на напрежения по-големи от тези, за което е били проектирани.

34. **P. Rizov.** Study of the influence of the form of the rotor pole on the some of the parameters of synchronous machine with permanent magnets. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 67, 2017, book 1, pp. 261-270. ISSN 1311-0829.

В статията е представено изследване за влиянието на оформянето на полюсия накрайник на роторния полюс върху електромагнитния момент, потока на разсейване и разпределението на индукцията в синхронните машини с постоянни магнити. В синхронната машина с V-образно разположение на магнитите в роторния полюс, укрепването им в радиално направление се осигурява от метален мост, разположен между магнита и въздушната междина. От механична гледна точка металният мост е необходимо да осигури стабилност на конструкцията. От друга страна е необходимо да се намали на потока на разсейване на магнитите чрез увеличаване на магнитното съпротивление. Постига се чрез увеличаване на дължина и насищането на магнитната верига за потока на разсейване. За провеждане на изследването са разработени четири модела за компютърно моделиране на електромагнитното поле в двигателя в режима на натоварване, които се различават по-между си в зоната на металния мост между магнитите на два съседни полюса.

Научно-приложни приноси: Създаден е подход, чрез който са определени потоците на разсейване между постоянните магнити в зависимост от оформянето на укрепващия мост в зоната между полюсите. Доказано е, че от начина на оформяне на металния мост в най-значителна степен зависи от потока на разсейване, докато електромагнитния момент, разпределението на индукцията в магнитите и пространственото разпределение на индукцията във въздушната междина са съизмерими при четири варианта. Вариантът, при който металния мост е оформен като гладък прорез, състоящ се от две дъги откъм въздушната междина, осигурява най-голям електромагнитен момент, тъй като при него магнитният поток на разсейване на постоянните магнити е най-малък.

35. Spasov, R., **P. Rizov**, V. Zahariev, Ts. Stoyanov. Distributive transformer for use in photovoltaic electrical power plants with low voltage windings placed in Zig-Zag pattern. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 68, 2018, book 1, pp. 83-90. ISSN 1311-0829.

В статията се разглежда подход за намаляване на пети, седми и единадесети хармоници на тока, генерирани от инверторите на фотоволтаичните централи. Наличието на хармоници в токовете води до увеличаване на загубите в трансформаторите на фотоволтаичните централи, а от друга страна хармониците в изходното напрежение на трансформаторите влошават качествените характеристики на подаваната електроенергия към разпределителната мрежа. Разглежда се трансформатор с две независими намотки ниско напрежение, свързани в схема зиг-заг. Главната особеност на изследваните намотки е, че броя на навивките на бобините, които формират една фаза, не са еднакви. По този начин се осигурява дефазиране на индуктираните електродвижещи напрежения в двете намотки на произволен ъгъл или създаване на общо магнитодвижещо напрежение от двете намотки ниско напрежение, като тока в тях е на произволен ъгъл. Създаден е алгоритъм за изследване на хармоничния състав на резултатното магнитодвижещо напрежение на двете независими намотки за ниско напрежение, който съдържа следните стъпки. В относителни единици се изчисляват моментните стойности на токовете в двете намотки ниско напрежение, като големините на отделните амплитуди на хармониците се вземат от стандарта. Сумират се магнитодвижещите напрежения на бобините от ядрото. Определя се хармоничния състав на резултатното магнитодвижещо напрежение и се сравнява с този при двуслойна цилиндрична намотка. Процедурата се повтаря за различни k -фактори от 2 до 7 и при различни ъгли на дефазиране на токовете в двете намотки ниско напрежение, докато се получи най-силно намаляване на пети, седми и единадесети хармоници.

Научно-приложни приноси: Създаден е подход, чрез който се определя необходимото дефазиране на токовете в двете независими намотки зиг-заг за максимално намаляване на 5 и 7 хармоници.

36. Stoyanov, Ts., R. Spasov, **P. Rizov**. Optimization of the rotor's sizes of permanent magnet synchronous machine. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 68, 2018, book 1, pp. 189-196. ISSN 1311-0829.

В статията е показан подход за оптимизиране на размерите и геометричното разположение на постоянните магнити с константен обем в полюса на ротора. Критерии за оптимизиране е постигане на най-голяма амплитуда на първия хармоник на пространственото разпределение на магнитната индукция във въздушната междина. Постоянните магнити са “V”-образно разположени в полюсите на ротора. Оптимизирането на разположението на магнитите е инвариантна процедура, при която итеративно в определени граници се променят ъгълът между магнитите, ъгълът на дъгата на металното мостче, минималното разстояние между дъгата на мостчето и въздушната междина, както и размерите на постоянните магнити. Основно се варира с ъгъла между магнитите, като той се изменя от 60 до 120 градуса. Това води до промяна на размерите им при запазване на техния обем. За моделиране на електромагнитното поле е разработен инвариантен 2D стационарен компютърен модел, базиран на метода на крайни елементи. Изследванията са направени за две синхронни машини с 6 и 10 полюса за мощности $P_2 = 10, 20, 30$ kW. За всички итеративни варианти е определена амплитудата на първия хармоник на пространственото разпределение на магнитната индукция. След сравняване на получените стойности на амплитудата за всяка от

посочените по-горе синхронни машини, са определени оптималното разположение и размерите на постоянните магнити.

Научни приноси: Създаден е метод за оптимизиране на разположението и размерите на постоянните магнити в роторния полюс на синхронни машини, с получаване на най добри енергийни показатели.

Приложни приноси: Разработения метод е приложим при проектиране на синхронни машини с вградени в ротора постоянни магнити.

37. Totev, V., D. Ibram, V. Georgiev, **P. Rizov**, Electric vehicles - current state and tendencies. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 69, 2019, book 1, pp. 31-40. ISSN 1311-0829.

В статията е направено проучване на характеристиките на основните компоненти на електроавтомобилите, произвеждани в момента от водещи фирми. Посочени са и някои тенденции за тяхното бъдещо развитие. Проучени са параметрите на акумулаторните батерии, като капацитет; енергийна плътност; живот на батерията, оценен с броя цикли на зареждане/разреждане, които батерията може да осъществи, докато стане неизползваема; цена; енергийна ефективност - определена като съотношението между енергията необходима за зареждане и отдадена при разреждане. Посочени са най-често използваните към момента електродвигатели – синхронни двигатели с редкоземни постоянни магнити (PMSM), безчеткови постоянно-токови двигатели (BLDC), синхронен двигател с променлив ток. Съществуват модели на електроавтомобили с комбинирано задвижване от различни типове електродвигатели.

Научно-приложни приноси: Направен е анализ на основните елементи от системата за електрозадвижване на съвременните електроавтомобили. Показани са тенденциите за бъдещото развитие на някои от основните им възли.

38. Mihov, M., G.Todorov, **P. Rizov**, V.Stiptzov, Investigation of current distribution by means of multilink equivalent circuits with MATLAB. Proceedings of the Tenth International Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems ELMA 2002, Sofia, Bulgaria, September 13-14, 2002, Vol. 1, pp 52-59, ISBN 954-902-091-6.

В настоящата статия е представен математически алгоритъм и съответна програмна реализация за изчисляване на активното и индуктивно съпротивление на разсейване на дълбоки роторни канали с различна форма. Изследванията са направени при следните условия: канала има симетрия по вертикалната си ос; роторната пръчка е изработена от хомогенен материал; каналите са групирани като канали само с прави стени и канали включващи прави стени и дъги. Алгоритъмът автоматично разбива каналите на слоеве и изчислява сечението и магнитната проводимост.

Научно-приложни приноси: Разработен е математически алгоритъм и съответна програмна реализация за автоматизиране на изчислението на активното и индуктивно съпротивление на разсейване на дълбоки роторни канали с различна форма за асинхронни машини.

39. Sokolov, E., **P. Rizov**, Analysis of the magnetic field and losses in the bandage rings of a hydrogenerator, Proceedings of the 3-th International Conference on electrical Machines ELMA 2002, Drives and Power Systems, Sofia, September 13-14, 2002, Vol. 2, pp. 23 – 29, ISBN 954-902-091-6.

В статията е показано приложението на метода на крайните елементи (МКЕ) за определяне на загубите в бандажните пръстени на хидрогенератор, дължащи се на

индуктираните в пръстените вихрови токове. За тази цел във FEMM е разработен и използван осисиметричен квазистационарен модел на магнитното поле в зоната на челните части на синхронния хидрогенератор. Проведени са изследвания за месингов и стоманен бандажен пръстен като е определено проникването на магнитното поле в бандажните пръстени. Доказано е, че при месинговите бандажни пръстени дълбочината на проникване на магнитното поле в сечението на пръстена е по-голяма, защото скин ефекта, дължащ се на вихровите токове в пръстена е по-малък.

Научно-приложни приноси: Разработен е осисиметричен квазистационарен модел за изследване на магнитното поле в зоната на челните части на синхронния хидрогенератор. От численото решение са определени измененията на токовете плътности на бандажните пръстени по две напречни оси. Изчислени са топлинните загуби и е определено тяхното влияние върху изолацията на бандажните пръстени

40. Sotirov, D., **P. Rizov**, A. Tzolov, V. Spasov, Analysis of the magnetic fields in DC brushless motors with permanent magnets. Proceedings of the 3-th International Conference on electrical Machines ELMA 2002, Drives and Power Systems, Sofia, September 13-14, 2002, Vol. 2, pp. 30 – 37, ISBN 954-902-091-6.

Статията представя теоретичен анализ на постояннотоков безчетков двигател с паралелна неререверсивна намотка и възбуждане от постоянни магнити чрез метода на крайните елементи (МКЕ). Направен е анализ на магнитното поле на двигателя в режим на празен ход и на натоварване. Определят се потоците, дължащи се на реакцията на тока на котвата и потока на канално разсейване. В момента на включване потокът на канално разсейване има максимална стойност, защото краят на полюса е извън зоната на съответната фаза и по-голямата част от потока се затваря през статорния канал. Потокът, създаден от напречната реакция на тока на котвата в момента на включване има също така максимум, защото полюсите на ротора все още не са под превключваната фаза, и потокът, възбуден от тока в роторната намотка създава напречна реакция на полето на възбуждане. В този момент надлъжната реакция на тока на котвата е размагнитваща, докато в момента на изключването на фазата, когато МДН и фазното МДН са почти във фаза напречната реакция е намагнитваща.

Научно-приложни приноси: Разработен е компютърен модел за моделиране в средата на FEMM за моделиране на магнитното поле в постояннотоков безчетков двигател с постоянни магнити в ротора. Получена е зависимостта на потока на разсейване и потоците по надлъжната и напречната ос на двигателя от ъгъла на завъртане на ротора в рамките на комутационния интервал. Направените изследвания позволяват да се оптимизира интервала на превключване на полупроводниковите ключове.

41. Sotirov, D., **P. Rizov**, A. Tzolov, V. Spasov, Analysis of the torque curve of a reactive DC brushless motor. Proceedings of the 3-th International Conference on electrical Machines ELMA 2002, Drives and Power Systems, Sofia, September 13-14, 2002, Vol. 2, p. 38 – 43. . ISBN 954-902-091-6.

В статията е показано изследване на постояннотоков безчетков реактивен двигател с реверсивна статорна намотка. За изследване на магнитното поле е разработен компютърен модел базиран на метода на крайните елементи (МКЕ) в средата на FEMM. Изследванията са направени при постоянни стойности на тока в двете включени фази при последователни позиции на реактивния ротор. Въз основа на числените решения, е получена кривата на статичния електромагнитен момент в зависимост от тока.

Научно-приложни приноси: Разработен е компютърен модел за моделиране на магнитното поле в реактивен безчетков двигател, чрез който е изчислен електромагнитния момент на двигателя в зависимост от тока.

42. Sotirov D., **P. Rizov**, A. Kalapish. Static characteristics of brushless switched reluctance motor, calculated with finite element analysis. Eleventh International Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems ELMA 2005, 15-16. 09. 2005, Vol. 1, p. 215 – 219, ISBN 954-902-09-5-9.

Статия представя изследвания, които имат за цел да се направи сравнителен анализ на две конструкции на два безчеткови реактивни двигателя с трифазна и четирифазна статорна намотка. Външните диаметри и дължината на активната част на двата двигателя са равни. Сравнителния анализ се прави на база статичния им електромагнитен въртящ момент, собствената индуктивност на намотката и използвания инвертор. За провеждане на изследванията са разработени 2D компютърни модели, базирани на метода на крайни елементи. Моделирането на електромагнитното поле е направено с отчитане на насичането на магнитната верига на двигателите. Симулирано е стъпково завъртане на ротора на ъгъл, съответстващ на един период на собствената индуктивност на намотката и електромагнитния момент при всеки от двата двигателя. Възбудителите на магнитното поле са представени чрез постоянен ток, който не се променя при въртене на ротора.

Научни приноси: Създаден е метод за сравнителен анализ на безчеткови реактивни двигатели, базиран на компютърно моделиране на електромагнитното поле чрез метода на крайни елементи. Критерии за сравнения са статичния електромагнитен момент, собствената индуктивност на статорна фаза и спецификите на инвертора.

Научно-приложни приноси: Доказана е възможността за определяне на продължителността на интервала на комутация при двигателите с трифазна и четирифазна намотка. В случай на принудителна комутация е възможно да се ускори нарастването на тока при включване, така че двигателят да работи с желана стойност на тока, която ще му повиши ефективността. При правилен избор на ъгъла на включване фазовият ток достига желаната стойност, преди роторът да заеме положение влияещо значително на насищането.

Приложни приноси: Получени са зависимостите на статичния електромагнитен момент и собствената индуктивност на статорна фаза в зависимост от положението на ротора спрямо статора. Зависимостта на собствената индуктивност от ъгъла на завъртане на ротора е приложима за определяне на тока при даден режим на работа в опростени модели.

43. Sotirov D., **P. Rizov**, I. Panayotov, D. Bozhov, B. Krachev, V. Doychev. Study of a synchronous excitation generator with rotating rectifier. Bulgaria, Sofia, ELMA – 2008, p. 51 – 55, ISSN 1313-4965.

Докладът е посветен на изследване на синхронен възбудителен генератор с въртящ се изправител. Опитът да се използват при по-високи мощности води до проблеми, свързани с прегряването на магнитопроводите на възбудителния генератор. Анализът на тези проблеми, по-специално изследването на магнитното поле на генератора на възбуждане, както и тяхното отстраняване е предмет на настоящото изследване. Разработен е компютърен модел за моделиране на електромагнитното поле в синхронен възбудителен генератор с отчитане на особеностите му на работа поради наличието на въртящ се изправител. При изследванията се взема под внимание факта, че ток протича през всяка от фазите на генератора само за интервала от време, когато съответните теристорни ключове са отпуснени.

Научни приноси: Доказано е, че поради особеностите на работа на възбудителния синхронен генератор с въртящ се изправител се получава пулсация на магнетичната индукция в полюсите на индуктора и зъбите на котвата поради силното периодично повтарящо се размагнитващо действие на тока в котвата.

Научно-приложни приноси: Пулсирането на магнитната индукция води до загуби от вихрови токове и хистерезис в отделни зони на магнитната система на възбудителния синхронен генератор. В този случай е необходимо полюсите на индуктора да се шихтоват от електротехническа стомана, въпреки че магнитния поток е възбуден от постоянен ток.

44. **Rizov, P.,** R. Spasov, T. Stoyanov, V. Zahariev, The application of finite element method for determining the THD in the electromotive force in a synchronous machine with permanent magnets under different loads, Proceedings of the 14-th International Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems ELMA 2015, 1-3 Oct. 2015, Varna, Bulgaria, pp. 171 – 180, ISSN 1313-4965.

В статията е представен алгоритъм за определяне на хармоничният състав (THD) на електродвижещото напрежение на статорната намотка при различни натоварвания на синхронни машини с възбуждане от вградени в ротора постоянни магнити, използвани широко в хибридни превозни средства. Изследванията са проведени за два варианта на статорната намотка. При първия вариант статорната намотка е трифазна, десетполюсна, с брой на каналите за полюс и фаза $q = 2$, а при втория вариант - две независими десетполюсни трифазни статорните намотки с $q = 1$. За провеждане на изследването са разработени компютърни модели със софтуера “FEMM”, чрез които е моделирано магнитното поле с отчитане на насищането на магнитопроводите. Симулирано е завъртане на ротора на равномерни стъпки, което съответства на времеви интервал от 20 ms. И при двата варианта изследванията са проведени при три стойности на статорния ток. Моделирани са режимите на работа с активно-индуктивен и активно-капацитивен товар, като и в двата случая $\cos \varphi$ е в диапазона от 0.8 до 1.

Научни приноси: Разработен е комплексен подход за моделиране и симулация на работата на синхронна машина с постоянни магнити в режим на генератор при различен характер на товара.

Научно-приложни приноси: Получени са резултати за хармоничния състав на електродвижещите напрежения на синхронната машина в зависимост от типа на статорната намотка и характера на товара.

Приложни приноси: Разработените компютърни модели и алгоритми са въведени в обучението на студенти в Електротехнически факултет на Технически Университет – София.

45. Georgiev, V., **P. Rizov**, Energy efficiency in capacitive loads compensation, Proceedings of the 14-th International Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems ELMA 2015, 1-3 Oct. 2015, Varna, Bulgaria, pp. 218 – 222, ISSN 1313-4965

В доклада са показани резултатите от направено проучване на подходите за компенсиране на реактивната енергия в кабелните линии за средно напрежение и въздушните електропроводи. Некомпенсираната реактивна енергия се връща в мрежите, което води до наказателни плащания от много компании през последното десетилетие. Систематизирана е информацията на основните подходи за компенсация: свръхкомпенсация, превключване на реактори и кондензатори, реактори с тиристорно управление, статични компенсатори. Различните подходи за компенсиране на генерираната реактивна енергия се сравняват според техните характеристики, енергийна ефективност и финансови ползи.

Научно-приложни приноси: Сравнени са различни компенсационни стратегии. Посочен е факта, че най-често срещаният подход за компенсиране - инсталирането на свръх компенсиращ реактор, не е най-доброто решение и по-сложните подходи - използването на превключен реактор или TCR предлага определени предимства.

Група 3. Научни публикации в списания с импакт фактор (IF на Web of Science) и/или с импакт ранг (SJR на Scopus)

- S1. Lazarov, V., **P. Rizov**. Magnetic permeance of the air gap between two toothed structures, Journal of Materials Processing Technology 161, 2005, pp. 96-100, Elsevier. ISSN 0924-0136, doi: 10.1016/j.jmatprotec.2004.07.059. **IF=0.856/2005, (SCOPUS, SJR = 0.758/2005)**

Статията е посветена на изследване, целта на което е да подобри на метода на Pohl, приложен за определяне на магнитната проводимост на въздушната междина при зъби и канали с различна широчина, като се предполага че каналите имат безкрайна дълбочина. В метода на Pohl, изразите за изчисляване за магнитната проницаемост се отнасят преди всичко за случая, когато зъбите на статора и ротора са с еднаква широчина. При различна широчина на зъбите на статора и ротора, наборът от изрази в горепосочения метод е доста неудобен за практически цели. В направеното изследване ъгълът между страните и коронките на зъбите β се коригира по такъв начин, че магнитната проводимост на въздушната междина, изчислена чрез аналитичните изрази да е равна на тази получена чрез моделиране на магнитното поле с метода на крайни елементи при относително изместване на зъба спрямо канала.

Научни приноси: Подобрен е методът на Pohl за изчисляване на магнитната проводимост на въздушната междина в назъбена конструкция. Това подобрение позволява редица сложни случаи да бъдат драстично опростени за практически цели чрез осредняване на зъбите на статора и ротора и чрез подходящо коригиране на ъгъла β .

Научно-приложни приноси: Изследването показва, че всички случаи, касаещи различна широчина на зъбите на ротора и статора, могат да бъдат намалени до случая с еднаква широчина на зъбите на ротора и статор, която е равна на средната им стойност.

- S2. Sotirov, D., **P. Rizov**, Panayotov. I. Study on harmonics spectrum in wave form of magnetic induction in air gap and E.M.F. of the synchronous hydro generators, Proceedings of XVIth International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies, SIELA 2009, Volume1, pp. 262-271. ISBN: 978-954323530-8. **(SCOPUS, SJR = 0.1/2009)**

В статията е представен подход за определяне на хармониците на магнитната индукция във въздушната междина, фазните и линейните електродвижещи напрежения в синхронен хидрогенератор. Алгоритъмът се състои от три етапа. В първия етап се моделира електромагнитното поле посредством метода на крайните елементи. Във втория етап се определя хармоничния спектър на магнитната индукция във въздушната междина чрез Fast Fourier Transform. В третия етап са изчислени основния и висшите хармоници на магнитния поток, фазните и линейните напрежения в статорната намотка. Така описаният алгоритъм е приложен за изследване на четири хидрогенератори.

Научно-приложни приноси: Създадена е подход за изчисляване на хармониците, магнитната индукция и напреженията в синхронни генератори, с отчитане на насичането на магнитната верига. Методиката позволява изчисляване на зъбните хармоници от първи и по-висок порядък.

Приложни приноси: Създадения подход е приложен при проектирането и производството на синхронни хидрогенератори в “Елпром ЗЕМ” АД и “ИХБ електрик” ООД.

S3. Stoev, B., G. Todorov, **P.Rizov**, G. Pagiatakis, L. Dritsas, Finite element analysis of rotating electrical machines - An educational approach. An educational approach IEEE global engineering education conference, EDUCON 2017, pp. 262-269. ISBN: 978-150905467-1, doi: 10.1109/EDUCON.2017.7942857. (**SCOPUS, SJR = 0.197/2017**)

Статията е посветена на приложението на метода на крайните елементи при преподаване на студенти на фундаменталната теоретична основа на въртящите се електрически машини. Обхватът на статията е да подчертае основните принципи на работа на електрическите машини чрез моделиране и анализ на електромагнитното поле с помощта на 2D метода на крайни елементи. Този подход е подходящ при обучение на студентите от бакалавърските курсове, тъй като метода на крайните елементи се основава на директното интегриране на уравненията на Максвел за елементи от първи ред, избягвайки използването на сложни математически обработки. Изготвянето на моделите на електрическите машини и анализът на получените резултати са представени по възможно най-опростения начин за да бъдат по-достъпни за студентите. Обяснението на протичащите в електрическите машини процеси се илюстрират от различни резултати, които учащите могат директно да получат, наблюдават и анализират, използвайки метода на крайни елементи. Прилагането на метода на крайните елементи за моделиране дава възможност да се обясни и обсъди поведението на въртящите се електрически машини при нормални работни режими и при аварийни състояния.

Приложни приноси: Разработеният подход за прилагане на резултатите от изследване на електрическите машини чрез метода на крайни елементи се използва в обучението на студенти в Електротехнически факултет на Технически университет – София.

Група E23. Публикуван университетски учебник

У1. Ризов, П., А. Иванов. Компютърно моделиране на полета и процеси. София, Издателство на ТУ-София, 2015. ISBN: 978-619-167-158-8

Учебникът е съставен съгласно лекционния материал на курса „Компютърно моделиране на процеси и полета“, като включва и част от лекционния материал преподаван в курса по “Числени методи и моделиране на вериги и полета II”. Вниманието е насочено към прилагане на метода на крайни елементи за изследване на електрически машини. Показани са математическите алгоритми, с който числено се моделира магнитното поле в асинхронни двигатели. Алгоритмите са приложими за моделиране на електромагнитното поле и в синхронни машини. Учебникът отразява разглеждането на тематиката в нашата и чуждестранната литература, както и някои изследвания на авторите.

Заклучение

Изследванията в представените трудове може да се обобщят в следните групи:

1. Изследване и анализ на асинхронни, синхронни, постояннотокови електрически машини и трансформатори, посредством методи за компютърно моделиране на електромагнитни и топлинни полета. [1], [5], [6], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [17], [18], [21][22], [23], [24], [27], [28], [29], [30] [31], [32], [33], [34], [35], [36], [38][39], [40], [41], [42], [43], [44], [S1] [S2], [S3].
2. Изследване и анализ на процеси в електрически системи, които съдържат електрически машини и трансформатори. [2] [3], [7], [19], [20], [25], [26].
3. Съвременни изолационни системи за високоволтови електрически машини.[M1]

Приносите имат и образователен аспект, защото при обучението на студентите по дисциплините, засягащи електрическите машини, се използват някои образователни похвати и научно-технически постижения, дискутирани в статиите.

ABSTRACTS OF THE SCIENTIFIC WORKS AND REFERENCE OF THE CONTRIBUTIONS

**of Assoc. Prof. Dr. Eng. Plamen Milanov Rizov,
presented for participation in competition for the academic degree “professor”
in a scientific direction**

**5.2. „Electrical engineering, electronics and automatics“,
specialty „Electrical machines“,
announced in DV issue 25 from 26.03.2021**

A total of 50 works of the candidate are presented for participation in the competition, which include:

- habilitation thesis – monograph;
- for the fulfillment of Group Γ indicators are presented 11 publications, indexed in SCOPUS and 34 publications in unreferenced peer-reviewed journals;
- for the fulfillment of Group 3 indicators are presented 3 publications, published in journals with impact factor (IF - Web of Science) and scientific journal ranks (SJR - SCOPUS);
- 1 university textbook;

Twenty five (25) of the publications are in Bulgarian and twenty three (23) in English. They have been published in international and Bulgarian scientific journals and academic periodicals, as well as in collections of scientific papers at foreign, international, national and university scientific forums.

The research papers abroad have been published in the International Journal of Materials Processing Technology and the proceedings of the IEEE Global Engineering Education Conference, EDUCON, 2017. An article has been published in Bulgarian in the scientific journal Electrotehnica & Electronica E+E.

Articles have been published in proceedings of international conferences in Bulgaria, such as International conference on electrical machines, drives and power systems ELMA and International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies SIELA.

There are also articles published in conference proceedings in Bulgaria - Electrical Engineering Faculty Conference, BuleEF.

Participation in 2 international and 19 national projects is documented, 5 of which the applicant was project leader.

A total of 33 citations of the candidate's scientific works are presented.

Group B3. Habilitation thesis – monograph

M1. Rizov, P., Contemporary insulation systems for high voltage electrical machines, Sofia, 2019, Published by Avangard Prima, ISBN: 978-619-239-245-1

The monograph presents in a systematic way the results of studies, research and modelling related to the development of new insulation systems for high voltage electrical machines (HVEM). The qualities of contemporary electrical machines are determined by the properties and qualities of the insulation materials used in the construction of their insulation systems. Insulation systems are

essential to the dimensions, reliability, energy efficiency and operational lifetime of HVEM. Contemporary insulation systems are developing in the direction of increasing dielectric strength, reducing insulation thickness, increasing heat resistance, reducing hygroscopicity. Windings with rated voltages from 6.3 kV to 20 kV are made with thermoset monolithic insulation including layers of binders and subsequent vacuum drying and impregnation with thermoset compounds. Two main types of thermoset insulation systems are used. In the first type (RR - heat resistance class F), the insulation is made up of epoxy-impregnated glass-mica tape, which is polymerized by heating and compression. The second (VPI - heat resistance class F) uses porous dry glass-mica strips that are rolled onto the sections, then impregnated with epoxy resin in an autoclave under alternating vacuum and pressure. The polymerization is carried out in an air oven. On the basis of personal experience and researched literature sources, results of studies of insulation systems of the above type are shown. Tangent delta values and partial discharge levels are used as criteria for insulation aging.

For the currently used RR and VPI technologies, there is a wide variety of materials for manufacturing high-voltage electrical machine insulation systems, whereby materials with the same or very similar properties are produced under different company names. The properties of materials produced by several companies are studied, but the properties and parameters of insulation materials of two companies are given - ELINAR and ISOVOLTA, as they have the largest distribution in Bulgaria.

During the physical modelling of the HVEM insulation systems, it was taken into account that their design envisaged that they would be used at operating temperatures close to 155 °C with a brief temperature loading regime of up to 180 °C for about 100 hours. A limiting factor in high-temperature machines is the thermo-mechanical stress, which begins to damage the homogeneity of the insulation wall, resulting in reduced thermal conductivity of the insulation. The reduced thermal conductivity leads to the formation of hot spots and can significantly shorten the service life of the insulation. Good bonding is provided by solvent-free epoxy resins with good compatibility with the insulation tape on the base wall. The "corona" protection strips used in practice age much faster due to the increased temperature. Due to this fact, VPI insulation systems use polyester-wool fabric tapes with improved binding agents against the "corona" effect.

Examples are shown where the existing insulation of the stator windings of high voltage hydro generators has been replaced with new insulation manufactured using VPI technology. The dimensions of the stator slots and the magnetic circuit remain unchanged. The volume of the insulation in the stator slots has been reduced and the freed up space has been filled with conductors. As a result, the performed verification electromagnetic calculations show an increase in the power of the generators of about 14 to 30 %. The situation is similar when replacing the existing insulation of two-phase induction motors with VPI insulation. Due to the increased cross-section of the stator sections, their active resistance is reduced, and therefore the electrical losses in the stator winding are reduced. The theoretical study of the insulation heating shows that the temperature load of the different zones is within the acceptable limits. The results obtained from the theoretical study of the mechanical loading of the stator end windings show that it is negligible.

Comparative experimental investigations of the existing type and newly manufactured sections for a two-speed induction motor with 6 kV rated voltage are carried out. The new sections are insulated with RR type insulation and corona protection. The tests were carried out according to the standard BDS EN 50209 "Insulation testing of rods and coils of high voltage machines", which is valid since 2004. It specifies that when testing the insulation of a single section, the permissible value of $\text{tg}\delta$ must be ≤ 0.030 . From the performed comparison, it is concluded that the measured $\text{tg}\delta$ values of the newly manufactured sections are significantly lower compared to the $\text{tg}\delta$ of the old stator winding sections.

The detailed financial and technical analysis of modern insulation systems for high-voltage electrical machines shows that the insulation system based on "VPI (vacuum pressure impregnation) technology" is more technically advanced. It has a higher degree of casing insulation homogeneity, an extended life of the insulation system, virtually complete absence of hygroscopicity and higher operational reliability. The "RR (resin rich) technology" insulation system has the same high thermal

class F, but guarantees a lower degree of homogeneity of the casing insulation, a shorter lifetime of the insulation system, higher hygroscopicity and lower operational reliability. Both technologies use insulating tapes based on glass fiber or mica and are comparable in cost. In the insulation system made with VPI technology, the insulation bands have a low percentage of resin, which serves as a catalyst for the polymerization of the impregnation coating. In the insulation system made with RR technology, the insulation bands have a high percentage of resin, which during the subsequent baking glues the insulation bands together and forms an almost homogeneous insulation system. As a disadvantage, it can be pointed out that when replacing the insulation of the stator windings, it is necessary to completely replace the conductors of the windings. This significantly increases the cost of repair, but guarantees that the qualities of the stator winding and the motor as a whole are significantly better than the qualities of the motors, when they were manufactured with a thermoset insulation system with heat resistance class B.

The manufacturing cost of a VPI and RR insulation system is practically similar, so the cost of rewinding motors using both technologies is the same.

Group Γ7. Scientific publications in journals that are refereed and indexed in world-renowned databases of scientific information (SCOPUS)

1. **Rizov, P.**, T. Stoyanov, R. Spasov, V. Spasov. Analysis of permanent magnet synchronous machines used for hybrid vehicles. 15th International Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems, ELMA 2017, Technical University of Sofia, Sofia, Bulgaria, 1- 3 June, 2017, pp. 374-378, doi: 10.1109/ELMA.2017.7955467.

The article presents the results from simulation analyzes of permanent magnet synchronous machines, used in hybrid vehicles. For this purpose, computer models of two synchronous motors with different rated power and V-shaped internal permanent magnets in the rotor have been developed in the software environments FEMM and Ansys Maxwell.

The simulated variants of the stator winding are single-layer three-phase winding with $q=1$, two independent three-phase windings, placed in the same channels, and a six-phase winding with $q=1$. The studies are conducted using three different values of the stator current of the synchronous machines.

Scientific and applied contributions: The following dependences and characteristics have been obtained: the dependency of the value of the magnetic flux from the load angle and the current density; the dependency of the stator e.m.f. by the type of the stator winding; the dependency of the torque on the type of the stator winding; the percentage of higher harmonics with respect to the fundamental harmonic depending on the current density.

2. Gueorgiev, V., **P. Rizov**. Optimization of medium voltage backup power supply strategies for high power pump aggregates. 15th International Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems, ELMA 2017, Technical University of Sofia, Sofia, Bulgaria, 1- 3 June, 2017, pp. 262-266, doi:10.1109/ELMA.2017.7955445.

The article presents a transient study of the switching process of the power supply of groups of powerful pump sets, driven by medium voltage induction motors. The pump sets continue to operate before, during and after the switching process. To conduct the studies, a model in the Matlab software environment has been developed. The model consists of four groups of pump sets, each of which is powered by a separate section. The power supply of the sections is reserved by switching from two power lines with power transformers. Transients occur in the induction motors and the

power supply sections at the moment of switching. A residual voltage with decreasing frequency appears in the busbars of the switched section. When the switched section is supplied by the other supply line, where the voltage frequency is 50 Hz, transients, produced by the presence of two voltages with different values and frequencies, are observed. For this reason, it is necessary to determine the duration of the switching time interval in such a manner, that a successful switching of the power supply of the induction motors is achieved. The problem is defined as an optimization task - the total number of operating pumps and the switching time are chosen as optimization parameters. Optimization criteria are defined, including the recovery time Δt of the voltage and the value of the transient current. The other parameters of the process - the voltage drop ΔU and the peak current values, form the optimization constraints.

Scientific contributions: A computer model to study the transients during the switching of the power supply sections of a group of medium voltage induction motors has been developed in the Matlab – Simulink software environment.

Scientific and applied contributions: The optimal interval for the power supply switching has been determined. It guarantees acceptable recovery times and transient overcurrent values. It has been proven that at shorter switching intervals, the transient currents have higher values at lower load, due to the fact that the voltage drop in the internal impedance of the transformers is relatively small. Higher values of the current are reached at higher values of the switching time. This is due to the increased voltage drop in the internal impedance of the power transformers.

3. Rizov, P., V. Gueorgiev. Influence of the excitation regime of turbo-generators on the own needs supply stable operation 15th International Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems, ELMA 2017, Technical University of Sofia, Sofia, Bulgaria, 1- 3 June, 2017, pp. 267-270, doi: 10.1109/ELMA.2017.7955446.

This report is devoted to a study, aimed at determining the reasons for a voltage drops in the electrical systems, ensuring the operation of the own needs equipment in the blocks of a big electrical power plant in Bulgaria. To conduct the research, a computer model for analysis of the sustainable operation of a power supply system for the own needs of a high power synchronous generator has been created in the Matlab – Simulink environment. Two variants have been studied – when the own needs are powered by their own turbogenerator, and when they are powered by a neighbouring turbogenerator during a single-phase short circuit near the power plant.

Scientific contributions: The hypothesis that by controlling the excitation of the operating turbogenerator, the voltage drop in the generator's busbars is minimised, which ensures stable operation of its own needs, has been proven. At the same time, the generator is unable to provide the required voltage in the own needs busbars of the neighbouring generator, which results in the shut down of the power supply of some of the systems, by the minimum voltage protections.

Scientific and applied contributions: Oscillograms of the phase voltages during the single-phase short circuit in the adjacent power lines were obtained with the aid of the developed computer model. The phasor diagrams of the voltages have been determined, as well as the asymmetry of the phase and line-to-line voltages of the systems for 6kV and 0.4kV.

4. Gueorgiev, V., **P. Rizov**. Lighting in High Temperature Industrial Environment. 7th Balkan Conference on Lighting, 20-22 September, 2018, Varna, Bulgaria, pp. 96-97, doi: 10.1109/BalkanLight.2018.854684.3.

The article is dedicated to the results of a study the characteristics of LED luminaires, used to illuminate high-temperature industrial environments. Such sites are the generator rooms of the power plants, where large electrical machines are placed, as well as pump stations etc. In all these cases, a large area must be illuminated with luminaires, attached high above the working plane. The environment is characterized by relatively high levels of pollution (dust, sometimes even aggressive

gases) and vibrations. These factors characterizing the working environment affect the luminous flux, efficiency, reliability and cost of the installation with LED lighting.

Scientific and applied contributions: An analysis of the reduction of light power, light efficiency of the diodes, duration of operation and reliability of LED luminaires depending on the temperature has been made. Recommendations are given for adjusting the initial luminous flux of the luminaire to increase the power of the lighting installation.

5. Zarkov, Z., V. Lazarov, **P. Rizov**, L. Stoyanov, E. Popov. An approach for modeling the electronic converter-motor system for electric vehicles. 2019 16th Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems, ELMA 2019, 6-8 June, 2019, Varna, Bulgaria, doi:10.1109/ELMA.2019.8771484.

This paper presents a comprehensive approach to modeling and simulating a drive system that includes an inverter and a synchronous motor with permanent magnet (SMPM) for use in electric vehicles. The motor was analysed by the finite element method (FEM) using a two-dimensional model. The motor parameters (synchronous inductors and permanent magnet flux) were determined on the grounds of the results of the FEM analysis. A stimulation model was prepared in Matlab / Simulink to study the complete drive system, which included the motor, the battery, the electronic converter and the control subsystem of the transformer and of the torque and the motor speed. The motor was controlled by means of the electronic converter with maximum torque per ampere (MTPA) in the first zone to the base speed and with maximum torque at constant voltage and constant current in the second zone. The motor characteristics were calculated by simulating two operating modes - as a SMPM (with sinusoidal currents) and as a contactless DC motor (CDCM) (with rectangular currents) and were then compared. The results led to the conclusion that the use of the engine as a SMPM is the better choice due to the higher torque, the wider range of high speeds and the much lower torque pulsations.

Scientific contributions: A comprehensive approach was prepared to modeling and simulating drive systems with a synchronous motor with permanent magnets, electronic converter and control subsystem. A complete simulation model of the system was prepared to facilitate its study in the different modes of operation – acceleration, deceleration, regenerative braking, constant speed motion. An SMPM control model was developed using a combination of two strategies: maximum torque per ampere in the first zone and constant voltage and constant current in the second zone. This combination allows to make the most of the engine. The hypothesis has been proved that a permanent magnet motor with a sinusoidal distribution of the magnetic field and electric moving voltage (EMF) can work as a CDCM, but of lower parameters.

Applied contributions: Computational and simulation results were obtained for a specific engine, developed within a joint project by Alcott OOD, Stara Zagora.

6. Stoyanov, T., R. Spasov, **P. Rizov**. Analysis of fractional-slot permanent magnet synchronous machines used for hybrid vehicles. 16th International Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems, ELMA 2019, Varna, Bulgaria, 6 - 8 June, 2019, doi: 10.1109/ELMA.2019.8771560

This work presents an investigation on electromagnetic torque and electromagnetic force computations in the air gap of a V-shape permanent magnet synchronous motor (SMPM). The analysis was performed using the finite element method, and a computer model of the motor was developed in the FEMM software environment. The model uses fractional-slot stator winding (FSW) for one pole and phase. An approach in which the magnetic field is studied in 40 consecutive positions of the rotor relative to the stator is applied. These positions are obtained by rotating the rotor of the motor with a uniform step. Each step corresponds to a time step of 0.5 ms. For each of the positions, the instantaneous values of the currents in the motor phases are calculated. These values are used as an input data for each position of the rotor.

Scientific and applied contributions: The flux linkages of the stator phases' sections with the main magnetic flux are determined. The e.m.f. of the sections of the stator phases is calculated, the vector diagram of the sectional electromotive forces is obtained, and the higher harmonics of the e.m.f and the electromagnetic torque are calculated.

7. Gueorgiev, V., **P.Rizov**. Real time monitoring of HV electrical machines driving powerful pump aggregates, 16th International Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems, ELMA 2019, Varna, Bulgaria, 6 - 8 June, 2019, doi: 10.1109/ELMA.2019.8771515.

This article summarizes the experience gained in building a real-time monitoring system of the electrical parameters of rotating electric machines - asynchronous motors and synchronous generators for 6kV, and power transformers for 220 kV. A variant is proposed in which the existing electrical protections of the electrical machines and transformers and the available digital measuring devices are used as information sensors. These devices provide information for the values of the phase and line-to-line voltages, active and reactive powers, voltage frequency, power factor and information about disconnections of equipment from the protective devices or by operator command. The transmission of such large volume of information is carried out continuously between the sensors and the central computer, which results in a heavy load of the communication lines (in the RS485 part). This is why a radial topology of the local network for data collection from monitored the facilities has been proposed. The devices that consist the network are not located close to each other, which leads to long communication lines and an increased likelihood of electromagnetic interference. The monitoring system realizes periodic records of the most important operational parameters of the equipment, which are used in the analysis of incorrect switches and emergency modes of operation.

Scientific and applied contributions: The particularities of operation of a communication network with a large radial structure are analyzed. Recommendations for the structuring of the communication network in the RS485 part are defined, where the number of sensors in one branch should not exceed 4, unlike in the sensor's manufacturers recommendations - from 12 to 32. The volume and structure of the archived information is defined, which is sufficient to perform process analyzes in case of emergency and erroneous switching.

8. Stoyanov, T., R. Spasov, **P. Rizov**. Reduction of the High Harmonics at the Electromagnetic Force and the Electromagnetic Torque in Synchronous Machines with Permanent Magnet. 11th Electrical Engineering Faculty Conference, BulEF 2019, Varna, Bulgaria, 11 - 14 September, 2019, doi: 10.1109/BulEF48056.2019.9030745.

This article is devoted to the study of synchronous machines with V-shaped permanent magnets positioned in the rotor, using different variants of the stator winding. The considered cases are: three-phase, single-layer, full-pitch coil, integral-slot stator winding; three-phase, double-layer, short-pitch coil, integral-slot stator winding; three-phase, single-layer, full-pitch coil, skew slots, integral-slot stator winding; five-phase, double-layer, short-pitch coil, fractional-slot stator winding. The studies of the distribution of the electromagnetic field in the synchronous machine were carried out with computer models, in which the variants of the stator winding listed above were used. The used approach simulates the rotation of the rotor for a period of 20 milliseconds. The period is divided into forty steps, the interval between the steps being the same.

Scientific and applied contributions: The e.m.f. in the stator phases, the electromagnetic torque of the machine and the presence of higher harmonics in the stator windings are selected as criteria for evaluation of the windings. According to the above criteria, the most effective is the three-phase, single-layer, full-pitch coil, integral-slot stator winding, because this type of winding permits optimal usage of the machine's construction. The electromagnetic torque of the machine

when using this type of winding has the highest value compared to the electromagnetic torque created by the other windings. The levels of higher harmonics of e.m.f. and the electromagnetic torque are of the same order in all studied variants of the stator windings.

9. Totev, V., V. Gueorgiev, **P. Rizov**. Regenerative braking of electric vehicles. 11th Electrical Engineering Faculty Conference, BulEF 2019, Varna, Bulgaria, 11 - 14 September, 2019, doi: 10.1109/BulEF48056.2019.9030768.

This article presents the results of a study of the structure of the system for regenerative braking in electric vehicles, with the aim to determine the possible variants of the main elements of the system. The possible types of electric machines that can be used are determined, with preference given to synchronous motors with permanent magnets in the rotor. The control methods for the above - mentioned types of motors are analyzed. There are a variety of control methods, and the most commonly used ones are: variable-voltage/variable-frequency (VVVF) and direct torque control (DTC). The most commonly used inverters are based on MOSFET and IGBT elements, due to their ability to provide high power and low output impedance. The particularities of the most frequently used types of batteries and supercapacitors are analyzed. The distribution of the braking force during regenerative braking is analyzed.

Scientific and applied contributions: The advantages and disadvantages of regenerative braking are defined. The particularities in the simultaneous operation of regenerative and mechanical braking of electric vehicles are indicated.

10. **Rizov, P.**, V.Gueorgiev. Determination of the Leakage Parameters of Synchronous Hydrogenerators. 21st International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies, SIELA 2020, Bourgas, Bulgaria, 3 - 6 June, 2020, doi: 10.1109/SIELA49118.2020.9167154

The report presents studies of the slot leakage magnetic flux of the stator winding of synchronous hydrogenerators, conducted by the finite element method (FEM). The presented approach takes into account the saturation of the stator teeth and the mutual influence of the current in adjacent stator slots. The tests were performed for a rated load mode, taking into account the armature reaction, created by the armature current. The direct axis of the rotor pole is oriented symmetrically to the stator slots in which the sections of phase A are located. At the considered moment of time, the current in phase A has its maximum value.

Scientific contributions: An approach to calculate the slot leakage inductance and the slot leakage reactance of the stator winding, as well as the induced e.m.f. in the stator phases has been developed. The approach is based on determining the stored energy of the magnetic field in the slots of the stator winding.

Scientific and applied contributions: A 2D computer model for studying the magnetic field in synchronous generators has been developed, which is applicable in different operating modes, taking into account the saturation and the armature current reaction at different loads. These features of the model make it usable at the design stage of synchronous hydro generators. It is concluded that different states of saturation of the stator teeth leads to different values of the slot leakage flux in the three phases of the generator. The values of the slot leakage flux depend on the ratio between the stored magnetic energy in the sections of the stator phases and the magnetomotive force, which is determined by the current in the stator slots.

11. Stoyanov, T., R. Spasov, **P. Rizov**. Investigation of the Skewing of the slots in Permanent Magnet Synchronous Machines. 12th Electrical Engineering Faculty Conference, BulEF 2020, Varna, Bulgaria, 9 - 12 September, 2020, doi: 10.1109/BulEF51036.2020.932601

This paper presents the study of a synchronous motor with rare earth permanent magnets and skewed stator slots by computer simulation of the magnetic field using 2D models based on the finite element method. The following approach has been developed and applied to model the skew of the stator slots. In the axial direction, the stator is divided into equal parts by segments, perpendicular to the rotational axis. The individual parts of the stator are rotated relative to each other at an angle, corresponding to the position of the segment in question along the longitudinal axis of the machine. The rotor has the same initial position in each of the separate parts of the stator package, i.e. it is not rotated. The magnetic field in the three parts is modeled by simulating the rotation of the rotor from its initial position in 40 consecutive steps. The rotation of 40 steps corresponds to a time interval of 20 ms. During this interval, the instantaneous values of the currents in the stator phases change according to the rotation step. For each step, the magnetic field is modeled by calculating the instantaneous values of the e.m.f. and the electromagnetic torque of the machine.

Scientific contributions: A method for calculating the phase e.m.f. and the electromagnetic torque has been developed, based on computer modeling of the magnetic field in synchronous machines with skewed stator slots.

Scientific and applied contributions: A 2D computer model has been developed for studying the magnetic field in synchronous machines with skewed stator slots and excitation by rare earth permanent magnets in the rotor. The time dependences of the e.m.f. and the electromagnetic torque of the synchronous machine are determined. The developed method is applicable in the design stage of synchronous machines with skewed stator slots.

Group Γ8. Scientific publications in unreferenced peer-reviewed journals or in edited collective works

12. Sotirov, D., **P. Rizov**, I. Panayotov. Study of the hydro generator's pole asymmetric axial displacement influence over the vibrations. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 59, book 2, 2009, pp. 15-22. ISSN 1311-0829.

The article studies the vibrations in the bearing assemblies of a vertical hydro generator when excited during idle mode. For this purpose, a 2D computer stimulation model, based on the finite element method, was developed. The model consists of two parts. The main part included the magnetic circuit of the stator, the rotor pole and the air-gap section. The additional part was a magnetic circuit intended to couple the magnetic circuit. An additional coil was placed there to excite the magnetic field in the model. The magnetic induction in the air gap was 0.85 T, as it actually is with the real hydro generator. The computer model simulated an up-down stepwise displacement along the axis of the rotor pole. The specific forces acting on the lower and upper pole, relating to 1 mm in depth of the model, were calculated for each of these shifts. The electromagnetic force affecting the pole was calculated according to the actual vertical shift of each pole respective to its symmetrical position and the specific force for such shift. The force, resultative from all poles, will affect the entire rotor. It will be unbalanced and will cause the rotor to vibrate.

Scientific contributions: A method was developed to study the unbalanced forces of electromagnetic nature acting on the rotors of vertical electric machines.

Scientific and applied contributions: It was proven that an unbalanced force was generated by the different vertical shifts of the poles, which led to vibrations in the entire construction of the hydro generator.

Applied contributions: The results of the research were used to balance the rotor of hydro generator No. 1 at Momina Klisura HPP.

13. **Rizov, P.**, D. Sotirov, St. Batashki, R. Spasov. Research of the influence of the stator current reaction over the magnetic field in the rotor poles of synchronic hydro generators with FEM. Proceedings of the Technical University - Sofia, vol. 60, book 2, 2010, pp. 216-224. ISSN 1311-0829.

The article presents an approach for numerical modelling of the magnetic field in a synchronous hydro generator in nominal load mode given the inductive nature of the load. The resulting numerical solution determined the flux leakage of the pole in the distribution of the magnetic induction in it as close to the real value. The results of the study helped improve the construction of the pole housing to avoid strong saturation there. The research was carried out using the method of computer modelling of the electromagnetic field in the synchronous generator at inductive current. The rotor in the model was positioned relative to the stator in a way as to model the reaction of the armature current under the inductive load conditions. The results were obtained for the distribution of the equipotential force lines of the flux leakage in the interpolar space.

Scientific and applied contributions: An approach was developed to determine the flux leakage in the interpolar space. The dependence of the spatial change of the flux leakage of the rotor pole of a synchronous hydro generator in nominal mode was obtained.

Applied contributions: The approach developed was used to study the newly designed constructions of hydro generators manufactured by Elprom ZEM AD.

14. **Rizov, P.**, D. Sotirov, St. Batashki, R. Spasov. Research of the harmonious composition of induced voltage in asynchronous generators through FEM. Proceedings of the Technical University - Sofia, vol. 60, book 2, 2010, pp. 225-234. ISSN 1311-0829.

The article presents an approach for research and analysis of higher harmonics in asynchronous generators by combined use of the finite element method and Fast Fourier Transform (FFT) algorithm using Matlab / Simulink environment. To conduct the research, a 2D computer model was developed for modelling the electromagnetic field in an induction 6.3 kV motor. The case of ideal no-load operation was studied by simulating a stepwise rotation of the rotor at an angle equal to two pole divisions. The currents in the stator phases were set by a series of instantaneous values for each phase, corresponding to the angle of rotation of the rotor. The spatial distributions of the magnetic induction were obtained for all positions of the rotor. The harmonic composition of the induction was determined. The harmonics in the linear voltage of the generator were calculated.

Scientific and applied contributions: A methodology for determining the voltage harmonics in an induction motor, based on computer modelling of the electromagnetic field, was developed.

Applied contributions: The developed methodology is used for training students at the Faculty of Electrical Engineering of the Technical University of Sofia.

15. Sotirov, D., **P. Rizov**, N. Stamatov. Numerical determination of the mechanical loads of the construction of a vertical synchronous hydro generator. Proceedings of the Technical University - Sofia, vol. 60, book 2, 2010, pp. 257-269. ISSN 1311-0829

The report presents an algorithm for numerical simulation of the mechanical loads of the construction of a synchronous hydro generator and the sizing of its elements, having been used as an example of a vertical machine of capacity of 1.6 MVA from the Hitzinger company. The established algorithm is also applicable to horizontal machines, as well as to machines of greater power, taking into account their design features. To determine the forces and moments acting on the constructional elements of the synchronous hydro generator, both the classical methods for evaluating the torque shock value of the moment in the event of a sudden short circuit and the numerical approach using

the finite element method for calculating the force of the one-sided magnetic attraction in an uneven air gap were used. A 2D model was developed using FEMM software to determine the magnitude of the electromagnetic force of unilateral attraction, which was created by the asymmetry of the air gap of the machine. A computer 3D model was developed using SOLIDWORKS software with an integrated module of COSMOS, which was applied to study the stresses in the individual constructional elements and the mechanical deformations, as well as to determine the critical rotor speeds.

Scientific and applied contributions: Computer models were developed on the basis of the finite element method for determining the electromagnetic force in a non-uniform air gap and its influence on the mechanical loads of the construction of synchronous generators. The analysis of the results of computer modeling allows to improve the construction of generators both in the design of new generators and in the existing ones.

16. **Rizov, P.,** V. Georgiev, A. Ivanov, Overview of the systems for On-line partial discharge monitoring for large generators and motors, *Elektrotechnika & Elektronika E+E*, Vol. 47, 11-12/2012., стр. 33-40, ISSN 0861-4717.

This article is devoted to the study of on-line partial discharge (PD) monitoring systems in the insulation of high-voltage rotating machines. The aim is to acquire the necessary knowledge for the construction and use of systems of this type. The advantages of on-line monitoring systems are presented. The structure of systems of this type in the monitoring of high-voltage motors and generators is defined. The parameters of the sensors are determined - high frequency current transformers (HFCT) and high voltage coupling capacitors (HVCC).

Applied contributions: The information on the structure, element base and use of on-line monitoring systems for high-voltage machines is systematized.

17. **Rizov, P.,** Adrian I. Study of the Magnetic Field in Synchronous Turbo Generator at Short-Circuited Turns in Excitation Winding. *Proceedings of the Technical University – Sofia*, vol. 63, 2013, book 6, pp. 237-246. ISSN 1311-0829.

The article describes the study of asymmetry in a synchronous turbo generator (STG) due to short-circuited turns in the sections of the excitation winding. The study was performed by computer modulation of the magnetic field, based on the finite element method, taking into account the saturation of the magnetic system of the generator. To this end, a 2D model of a stationary electromagnetic field was developed and used in a synchronous turbo generator with a nominal power of 376.5 MW. The model created was used to study the instances where the number of short-circuited turns in one section of the excitation winding changed from 0 to 8, i.e. from the variant of a fully functional section to the variant of a short circuit on all turns in the section. The harmonic composition of the magnetic induction was determined by an FFT analysis of the function of spatial distribution of the magnetic induction in the air gap of the synchronous turbo generator. The results of the study using the created model during a short-circuit in one turn, in two adjacent turns and in two non-adjacent turns were presented. The changes in the shape and value of the spatial alteration of the magnetic induction were compared where the number of short-circuited turns had changed from 0 to 8. The change of the harmonics of the magnetic induction depending on the number of short-circuited turns was presented. The established computer model determined the required compensation of the reduced magnetic flux by increasing the excitation current of the generator.

Scientific and applied contributions: Computer models based on the finite element method and FFT analysis of the spatial distribution of the magnetic induction in the air gap were established, by means of which the change and the harmonic composition of the magnetic induction in the presence of short-circuit turns in the excitation winding of the STG were determined.

18. **Rizov, P., A. Ivanov.** Study of the influence of chamfering of stator channels onto harmonic composition of Induction in the air-gap of a synchronous hydro generator. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 63, 2013, book 6, pp. 247-254. ISSN 1311-0829.

The article presents the study of the harmonic composition of the magnetic induction in the air gap, where it was necessary to chamfer the stator slots of synchronous hydro generators, other than what is recommended in the classical design methods. For this purpose, a 2D stationary model was developed and used, taking into account the saturation of the magnetic system with salient synchronous hydro generator, used as the base model, and refers to the front side of the stator package in the active part of the machine. The basic model creates patterns for modeling the magnetic field into intermediate planes, located along the axial length of the stator package. These are equidistant from each other. In each of these, the rotor has been turned towards the stator at an angle, the size of which depends on the location of the plane in question relative to the frontal one, i.e. there is a dependence between the position of the plane in question and the angle of rotation of the rotor. The rearmost plane is located in the rearmost part of the stator package and is rotated relative to the base at an angle equal to the angle of one slot division. The tests were performed for three values of the chamfering angle of the stator slots - in the range from $0.75\alpha_k$ to $1.25\alpha_k$. The results were presented for the distribution of the magnetic induction in the air gap in the different planes. It is possible to obtain an equivalent quasi 3D spatial distribution of the magnetic induction for one pole of the hydro generator by putting together the results of all the planes under review. The harmonic composition of the spatial distribution of the magnetic induction at all observed planes, as well as of the equivalent functions of the spatial distribution of the magnetic induction by means of FFT (Fast Fourier transform) were determined. Therefore, a computation module was established, using the Matlab / SIMULINK libraries. The percentage ratios of the toothed harmonics compared to the main harmonics of the magnetic induction for all variants under consideration were computed and the “average weight” of the toothed harmonics in relation to the main one was determined.

Scientific and applied contributions: An algorithm was prepared to determine the dependence of the harmonic composition of the magnetic induction in the air gap on the chamfering of the stator slots, which consists of computer modeling of the electromagnetic field in the synchronous hydro generator and an FFT module in Matlab / SIMULINK. It is applicable for determining the optimal level of the toothed harmonics of the magnetic induction at different angles of chamfering of the stator slots as early as the design stage of both synchronous and induction motors.

19. **Rizov, P., St. Vichev.** Short circuit voltages correlation in voltage transformer primary windings. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 63, 2013, book 6, pp. 255-262. ISSN 1311-0829.

The report presents a study of the probability of the occurrence of zero-sequence voltage at the input of the digital protections of a synchronous generator due to a short circuit on the primary windings of the measuring voltage transformers (VT) connected to the generator outputs, which can lead to its uncalled for switch off. The study was carried out by analysing the digital protection records and implementing physical modeling under laboratory conditions, thus simulating the presence of short-circuited turns in VT. The analysis of the results of the study provided grounds to come up with the hypothesis that, in the presence of short-circuited turns in the primary winding, self-opposing processes can be observed. Increasing the number of short-circuited turns led to a drop in the transformation coefficient, and the voltage in the secondary turn of the VT rose. On the other hand, the presence of short-circuited turns led to the formation of a short-circuited loop, where a current, which had a demagnetizing effect on the VT, flew.

Scientific contributions: The analysis of the results of the study gives grounds to hypothesize that in the presence of short-circuited turns in the primary winding, self-opposing processes are observed. Increasing the number of short-circuited turns leads to a decrease in the transformation coefficient, and the voltage of the secondary winding of the VT increases. On the other hand, the presence of short-circuited

turns leads to the formation of a short-circuited loop, where a current, which has a demagnetizing effect on the VT, flows.

Scientific and applied contributions: The reason for the occurrence of zero-sequence voltage is the ratio of the secondary phase voltages of the VT at hp. in the primary turns of one of them. This is a rare fault, which in literature is associated with ferroresonance overloads. In the case under review, the protection records do not indicate any presence of ferroresonance.

20. Vichev, St., **P. Rizov**. Synchronous generator relay protection redundant trip by voltage transformer fault. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 63, 2013, book 6, pp. 345-350. ISSN 1311-0829.

The article examines the hazard of redundant trip of stator earth fault protection in large synchronous turbo generators due to fault in the primary windings of the voltage transformers (VT) connected to their outputs. The records in the fault registrar log of a specific turbo generator were studied and analysed. The initial assumptions were that there was a puncture of the insulation of the generator. During the analysis it was ascertained that the differential and current protections did not work, i.e. there was no reason to worry about the insulation of the stator windings of the generator. The maximum voltage protection did not work either. This fact rejected the assumption of permanent overvoltage. The hypothesis arose that the shutdown of the turbo generator was caused by incorrect information submitted to the protection relay, the source of which were the measuring voltage transformers. The analysis of the voltage oscillograms indicated that they changed abruptly, which was due to abrupt upsurges in the transformation coefficient of one of the voltage transformers. This effect occurs in the presence of turn-to-turn short circuit in the primary winding of the VT. The initial cause for the occurrence of the turn-to-turn short circuit was the bad local performance of the turn-to-turn insulation. The stepwise increase of all voltages, including the zero sequence voltage, was due to the fact that the number of short-circuited turns constantly increased, because of the large current flowing through them. It heats them up and the process of breaking down the turn-to-turn insulation expands.

Scientific contributions: The hypothesis was proven that the turbo generator redundant shutdown was caused by the reduced quality of the insulation in the VT at one of the phases, as a result of which in the presence of symmetry between the phase voltages of the turbo generator, there was asymmetry between secondary voltages of the measuring transformers and zero sequence voltage.

Applicable contributions: The results of the study were applied to the analysis of the processes of emergency shutdown of a large turbo generator in one of the largest power plants in Bulgaria. The downtime of the turbo generator was shortened to a few days, as a result of which large financial losses were avoided.

21. Aleksandrov, S., **P. Rizov**. Development and research of synchronous generator with axial magnetic field. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 64, 2014, book 4, pp. 15-22. ISSN 1311-0829.

The article studies the elaboration and research of an experimental construction of a synchronous generator excited by permanent magnets, where the working magnetic flux in the air gap was directed in the axial direction relative to the axis of rotation. Four alternatives were prepared, which differed in the number of turns in the stator coils and the size of the air gap. To study the magnetic field in the generator, a computer model, based on the finite element method, was developed, which studied the different variants in the no-load mode of the generator. The article displays the results from the distribution of the magnetic lines of force and the magnetic induction in the transverse plane of the generator, and the spatial distribution of the magnetic induction in the air

gap. An experimental prototype was used to conduct the experimental research of the four variants of the experimental construction. The recorded oscillograms determined the angle of dephasing between the phase voltages and the current pulsations after the AC / DC transformer at different values of the load current. The dependence of the voltage of the synchronous generator on the speed was determined. The results of the computer simulations and experiments prove the physical adequacy of the prepared experimental construction, which renders it practically applicable.

Scientific contributions: A computer model was prepared using FEMM software to study the distribution of the axial magnetic field in the generator taking into account the actual magnetic system saturation.

Scientific and applied contributions: The analysis of the results of computer modeling and experimental research allows to improve the construction of the generator in a way as to reduce the leakage between the poles, to determine the optimal ratio between the stator phase turns and the size of the air gap.

22. **Rizov, P.**, R. Spasov, Ts. Stoyanov, V. Zahariev. Determining the dependency of the flux linkage from the load in synchronous machines with permanent magnets for hybrid automobiles. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 64, 2014, book 4, pp. 97-104. ISSN 1311-0829.

The article presents a study of the variation of phase flux linkages depending on the load in synchronous motors with permanent magnets, used in hybrid vehicles. To conduct the study, a 2D computer model for modeling the electromagnetic, field based on the finite element method was developed. In the classical theory of the electrical machines, in order to simplify the machine model, the voltage equations are transformed from a system with three unknowns into a system with two unknowns. For this purpose, the fixed to the stator ABC coordinate system is transformed to the rotor coordinate system dq, which rotates at synchronous speed. Inductances, which are calculated in the design process by classical analytical methods, without taking into account the saturation of the steel, are used to determine the flux linkages. It is also possible to use finite element method based approaches to model the magnetic field in permanent magnet synchronous motors.

Scientific contributions: A new approach for determining the phase flux linkages in synchronous motors has been developed on the basis of the results obtained from modeling the magnetic field with the finite element method in generator mode at different load types. It achieves greater accuracy in determining the flux linkages due to the fact that it takes into account the saturation of the various sections of the magnetic circuit.

Scientific and applied contributions: An algorithm for determining the phase flux linkages ψ_a , ψ_b , ψ_c , and from them the flux linkages ψ_d , ψ_q , has been developed. Software in the Excel environment for processing the numerical results and for calculating the phase flux linkages has been developed. The dependences of the phase flux linkages on the load angle and the stator current are determined.

Applied contributions: The developed computer models and algorithms have been introduced in the teaching process of students at the Faculty of Electrical Engineering of the Technical University - Sofia.

23. Spasov, R., **P. Rizov**, V. Zahariev, Ts. Stoyanov. The Application of the Finite Element Method for Determining the Torque and the Losses in the Steal's Teeth in the Stator of a Synchronous Machine with Imbedded Permanent Magnets. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 64, 2014, book 4, pp. 161-170. ISSN 1311-0829.

The report presents algorithms for determining the electromagnetic torque and iron losses along the height of the stator teeth as a function of the frequency of the supply voltage in a synchronous motor with excitation by permanent magnets imbedded in the rotor. Electric motors

used in hybrid vehicles are subject to requirements in terms of power output per unit volume, which aims to reduce the weight of the vehicle. These requirements impose the precise calculations of the torque and losses in the motors at their design stage. One of the contemporary approaches for calculating these parameters is based on modeling the magnetic field using the finite element method. For this purpose, computer models of two synchronous motors with “V” shaped permanent magnets imbedded in the rotor and a different number of poles have been developed in the “FEMM” software environment. The electromagnetic torque is determined by a circular contour located in the middle of the air gap. Along the height of the stator teeth belonging to one pole, contours are defined, which determine the change of the induction in them. The obtained values for the induction are used to determine the losses in the teeth depending on the frequency of the voltage.

Scientific contributions: A new approach has been developed to determine the iron losses of stator teeth in synchronous motors, taking into account the actual saturation of the material along the tooth height. The approach uses the results obtained by modeling the magnetic field with the finite element method. It achieves greater accuracy in calculating the losses due to the fact that it takes into account the actual saturation in different parts of the entire magnetic circuit of the motors. Mathematical algorithms and the corresponding software for calculating the losses in the teeth have been developed in MatLab and Excel software environments.

Scientific and applied contributions: An algorithm for determining the electromagnetic torque in synchronous motors with permanent magnets has been developed, using the method of computer modeling of the electromagnetic field.

Applied contributions: The developed computer models and algorithms have been introduced in the teaching process of students at the Faculty of Electrical Engineering of the Technical University - Sofia.

24. Sotirov, D., V. Filipov, **P. Rizov**, A. Bahchevanski. Study and comparison of the characteristics of salient and non-salient synchronous hydro generators Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 64, 2014, book 4, pp. 171-180. ISSN 1311-0829.

The article presents a method for research and evaluation of the properties of salient pole and non-salient pole synchronous hydrogenerators. The method is based on a comparative analysis of the two variants of the constructions of the hydrogenerators. For this purpose, 2D models for modeling the electromagnetic field have been developed in the software environment FEMM and the software module for electromagnetic calculations and analyzes Maxwell Exprt. Evaluation and comparison of the generators basic features, in terms of losses and efficiency, total harmonics distortion of the generated voltage, consumption of active materials and work for production is made.

Scientific contributions: A new method for evaluation of the basic features of synchronous hydropower generators for medium power with salient pole and non-salient pole rotor construction has been developed.

Scientific and applied contributions: Conclusions are made about the applicability of the two types of rotor construction depending on the requirements for the hydrogenerators. The proposed evaluation methodology is applicable for the selection of the rotor type when designing both single samples and series of synchronous hydrogenerators with medium power.

Applied contributions: The results of the research have been applied in the design of new constructions of hydrogenerators manufactured in ElpromZEM AD.

25. **Rizov, P.**, V. Gueorgiev. Influence of the Regime of Excitement of the Turbo-Generators on the Stable Work of the Own Needs Supply. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 66, 2016, book 1, pp. 19-28. ISSN 1311-0829.

The article presents a study of the reasons that led to the shutdown of some of the facilities providing supply for the own needs of a large power plant in Bulgaria, following a single-phase short circuit in a power line connected to the output of the plant. To conduct the research, a computer model was developed using the Matlab - Simulink model for process simulation. The model included 400 and 220 kV busses, primary transformers, own supply needs transformers, transformers for backup power supply for own needs, high power synchronous turbo generators, sections 6.3 and 0.4 kV from the power supply systems for the power plant's own needs supply. The adequacy of the model developed was verified by comparing the oscillograms and vector diagrams of the voltages obtained from the prepared model and the actually recorded oscillograms and vector diagrams of voltages recorded in the registers for the single-phase short circuit of one of the phases in power lines near the power plant. Oscillograms and vector diagrams of the voltages were obtained.

Scientific contributions: An approach was developed to study the processes determining the stability of power generating electrical systems in the presence of disturbing effects in the connected power lines.

Scientific and applied contributions: The hypothesis was proven that a working turbo-generator is able to maintain the voltage level of its busses, and hence the asymmetry of voltages of its own needs is much smaller. It was concluded that the excitation mode of the generators is decisive for the stability of the voltages in cases of possible short circuits in the power system. It is recommended that the idea of reducing the excitation current in order to increase the generated active energy or to use the generators to compensate for capacitive energy should also be checked in terms of system stability.

Applied contributions: It was proven that the strong asymmetry in the linear and phase voltages of 0.4 kV busses of the own needs of a non-operating turbo generator led to the activation of the minimum voltage relays, which turns off some of the equipment.

26. Gueorgiev, V., **P. Rizov**. Study of the Possibility for Backup Power Supply Changeover on Medium Voltage Busses, Supplying Power Pump Aggregates. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 66, 2016, book 1, pp. 29-36. ISSN 1311-0829.

The article presents studies of modes for power supply change over at 6 kV sections with induction motors from one supply transformer to another, without having to interrupt the pump units driven by them. The purpose of these studies was to determine the restrictive requirements whereby changeover was possible without interrupting the operation of the aggregates. The features of this process were related to the fact that when the supply voltage was switched off, the pump aggregates continued to rotate in the same direction due to the energy stored in the rotating masses. As a result, the motors passed into generator mode, supported by the "decreasing" magnetic flux. Once the pump speed dropped to zero, the water column in the pressure pipeline caused the aggregate to rotate in the opposite direction, i.e. the pump started working as a turbine. The engine also rotated in the opposite direction, but did not change over to generator mode due to the absence of a source of reactive energy. The research of these processes was conducted with a stimulation model developed using Matlab – Simulink software.

Scientific contributions: A method for studying the transitional processes in power supply changeover of induction motors was established to determine the optimal duration of the shut off interval, which will ensure stable operation of the power pumps.

Scientific and applied contributions: The evaluation criteria for successful power supply changeover were specified: voltage drop, voltage recovery time, values of shock and transient current. It was concluded that the value of the residual stress depends on the number of the

changeover sections. It was proven that the maximum duration of the shut off pause for successful self-restart of the motors is 1.5 seconds. If the self-restart does not take place within this interval, automatic power supply changeover would not be possible.

Applied contributions: The results of the study give grounds to conclude that the developed method is suitable for determining the settings of maximum current and voltage protectors not only for the pump aggregates, but for all facilities driven by an induction motor.

27. Spasov, R., **P. Rizov**, Ts. Stoyanov, V. Zahariev. Research of the Stator Winding Type's of Synchronous Machine with Permanent Magnets to Achievement Maximum Energy efficiency. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 66, 2016, book 1, pp. 127-136. ISSN 1311-0829.

The article is concerned with the study of the influence of the stator winding on the energy efficiency of synchronous motors with permanent magnets, which are used to drive hybrid electric cars. These engines have a number of requirements in terms of power output per unit volume, which aims to reduce the weight of the car and achieve maximum energy efficiency by converting the electrical energy stored in batteries into mechanical. The study was conducted using the method of computer modelling of the magnetic field in the engine. 2D stationary models with three types of stator windings were developed: standard three-phase winding with number of slots for pole and phase $q = 2$; two independent three-phase windings with $q = 1$ and a six-phase winding with $q = 1$. The criteria for evaluating the advantages and disadvantages of the respective motor variant in terms of its efficiency were: the electromagnetic moment they produced and its diversion during the current load change and the value of the first harmonic of the electromotive voltage in generator mode.

Scientific contributions: A method was developed to study the influence of the type of stator winding on the efficiency of synchronous motors with V-shaped arrangement of the permanent magnets in the rotor. The criteria for determining the energy efficiency of the constructions with different stator windings of the synchronous motors during operation in motor and generator mode were defined.

Scientific and applied contributions: An analysis of the constructions under review was made. As a result of the analysis it was proved that in both motor mode and generator mode the best energy indicators were provided by the construction of a synchronous machine with two independent windings. The disadvantage of this design is the need for two inverters and significantly more complex control algorithms in motor mode. In generator mode it is necessary to use a dephasing element – a capacitor in one winding. This is difficult to do because, depending on the size of the load, the magnitude of the capacitor will need to be changed. It was concluded that the design with a six-phase winding obtains the best combination between achieving good energy performance and value of the additional equipment.

Applied contributions: The developed computer models and algorithms have been introduced in the training of students at the Faculty of Electrical Engineering at the Technical University of Sofia.

28. Spasov, R., **P. Rizov**, V. Zahariev. Ts. Stoyanov. Distributing Transformer for Photovoltaic Power Stations. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 66, 2016, book 1, pp. 137-144. ISSN 1311-0829.

The report examines the effect of the work of a step-up transformer depending on the harmonic composition of the supply voltage. The specific requirements towards these transformers are related to their joint operation with the inverters that generate voltages of different harmonic composition. The standards define the degree of Total Harmonic Distortion (THD) of the voltage and current in the distributive system. The calculation of the THD was performed by modelling the

magnetic field in the transformer using FEMM software product and LUA scripts. An algorithm and a program module in Microsoft Excel was developed to calculate the current densities corresponding to the respective harmonics of the current. The program module calculated all the current densities of a low voltage winding at a k-factor from 2 to 20, where the amplitudes of the individual harmonics were determined relative to the amplitude of the first harmonic. From the results obtained by computer modelling of the electromagnetic field, the flux linkages and the harmonic composition of the electromotive voltage in the high voltage winding were calculated. For this purpose, algorithms and program modules were developed in the MatLab and Excel software products. Two types of low voltage winding designs were studied. The first type was a standard cylindrical double-layer coil located on a single core. The second type was a modified zig-zag winding, where each phase of the winding consisted of three equal parts. They were arranged on the three cores in such a way that the windings had magnetic and electrical symmetry. The two models of the transformer had the same construction of the magnetic circuit.

Scientific contributions: A method was developed to study the influence of the design of a low voltage winding over the harmonic composition of a high voltage winding in transformers during their joint operation with voltage generating inverters of different harmonic composition.

Scientific and applied contributions: An analysis of the studied constructions of the low voltage winding of the transformer was made in terms of reducing the harmonic composition of the voltage in the secondary high voltage winding. It was proven that in the case of a low voltage winding with a modified zig-zag, the third and its harmonic multiples were significantly reduced, but the price of this reduction is related to a 50% increase in the turns of this type of winding. The method developed for studying the harmonic composition of the induced voltage in the secondary winding, at different degrees of non-sinusoidal voltage in the primary winding, is applicable for the study of transformers with other constructions of low voltage windings.

Applied contributions: The developed computer models and algorithms are used in the training of students at the Faculty of Electrical Engineering of the Technical University of Sofia.

29. **Rizov, P., S. Aleksandrov.** 3D Thermal Analysis of Double Speed Induction Motor for Middle Voltage. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 66, 2016, book 1, pp. 471-478. ISSN 1311-0829.

The article concerns the study of the thermal field in double speed induction electric motors for 6 kV voltage, computer modelling of thermal processes by the finite element method. The ANSYS software product developed a 3D computer model for numerical solution of the equations describing the thermal processes, where the thermal field in the engine at rated load was shown as stationary. The model indicated the presence of a radial-axial cooling system in the engine. Two different triphase windings with different number of poles were located in the slots of the stator. The results obtained from the solution of the thermal problem indicated the areas of maximum heating concentration of the insulation of the two windings, regardless which of them was supplied with voltage. Studies were performed on the work of the engine at two operating speeds. The heat sources were modelled by means of the electrical losses in the stator and rotor windings and the losses in the steel of the stator magnetic circuit. To determine them, an own algorithm and software was developed to verify the calculations of double speed induction motors.

Scientific contributions: An approach was developed to ascertain the heating of the different zones in the construction of induction motors, based on the method of computer modelling of the thermal field therein.

Scientific and applied contributions: An analysis of the heating of the conductors and the insulation of the operating and non-operating stator windings was made, which assessed the temperature class of the insulation as sufficient or not to ensure reliable operation of the insulation system. The analysis showed that the rotor winding at rated load mode was insignificantly heated because the rotor rods were in direct contact with the rotor steel, as a result of which the heat generated in them was directly transferred onto the rotor steel unit.

30. Aleksandrov, S., **P. Rizov**. 3D Electromagnetic Analysis of Double Speed Induction Motor for Middle Voltage. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 66, 2016, book 1, pp. 479-488. ISSN 1311-0829.

The article discusses the study of the influence of the electromagnetic field force on the front-end connections in a double speed induction electric motor for a voltage of 6 kV. The electromagnetic field is considered to be quasi-stationary. A 3D quasi-stationary model was developed to solve the electromagnetic problem by taking into account the induced currents in the rotor winding. The complex values for the stator and rotor currents at rated loading, at no load and at short circuit of the motor were used. The insulation system of the double speed motor was prepared by VPI technology. It provides higher resistance to moisture and high temperature and is harder. In start-up mode, the front-end connections of the stator windings are subjected to the force effect caused by the interaction of the starting current and the front leakage flux. As a result, microcracks may appear in the insulation of the front-end connections, which are able to degrade the insulation properties of the motor insulation system.

Scientific contributions: A method for determining the mechanical load of the front-end connections of an induction motor was developed, choosing a 3D complex computer modelling of the electromagnetic field in the motor.

Scientific and applied contributions: The effect of the electromagnetic field force in the area of the front-end connection of the stator winding was analysed, which allowed to make a qualitative assessment of the ability of the insulation to withstand mechanical impact without suffering any cracks. The allocation of the electromagnetic force to those parts of the rotor rods, situated away from the rotor unit was ascertained, as well as the probability for them to withstand the electromagnetic field force with no risk of plastic deformation.

Applied contributions: The method developed allows to determine the forces acting on the front-end connections as early as the design stage of the electrical motors and the necessary measures for reinforcing them.

31. **P. Rizov**. Determining the Phase Flux Linkage's Time Function and the phase electromotive force's in turbo generators Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 66, 2016, book 3, pp. 117-124. ISSN 1311-0829.

The article presents a method for determining the changes in the time functions of the phase flux linkages Ψ_A , Ψ_B , Ψ_C in a synchronous turbo generator with power 320 MW and rated voltage 20 kV. The method stands on an algorithm based on numeric modelling of the electromagnetic field by taking into account the saturation of the magnetic circuit in the turbo generator. For the study a 2D computer model of the electromagnetic field in no-load mode was prepared. The results obtained for the spread of the magnetic flux in the active part of the turbo generator determined the flux linkages of the active sides of the phase section groups. Hence, the phase flux linkages were calculated by taking into account the presence of parallel connected stator winding branches. The instantaneous values of the phase electromotive voltages were derived as time derivatives of the phase flux linkages. For this purpose, the algorithm simulates a stepwise rotation of the rotor at an angle corresponding to two poles. The geometric rotation step corresponds to a time step for time change. The duration of the simulation time interval was 20 ms.

Scientific contributions: A method for determining the time functions of the phase flux linkages was developed by taking into account the actual saturation of the individual sections of the magnetic circuit of a synchronous turbo generator.

Scientific and applied contributions: Calculated oscillograms were obtained, showing the alterations in the phase flux linkages and electromotive forces in the turbo generator in no-load mode.

Applied contributions: The developed method is applicable in the design stage of electrical machines to determine the nature of time change and symmetry of electromotive forces.

32. Spasov, R., **P. Rizov**, Ts. Stoyanov, V. Zahariev. Rotor iron losses determination in permanent magnet synchronous machine for hybrid cars. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 67, 2017, book 1, pp. 241-249. ISSN 1311-0829.

The article shows an approach for studying the pulsation loss in the rotor of a synchronous motor with V - shaped permanent magnets used in hybrid cars. The approach was based on computer modelling of the magnetic field and the subsequent determination of the spatial change in magnetic induction. A 2D stationary computer model of a synchronous motor was prepared for the study, whereas from the air gap, six arc loops were specified within one pole. The algorithm was used at the no-load and load modes for three values of the stator current. The discrete values of the spatial change of the magnetic induction were recorded along the arc loops, the number of which are the same for all loops. The number of discrete values determines the number of elementary volumes in the sectors located in between arc loops. The average induction in the elementary volumes of the sectors is derived from the discrete values. The stepwise rotation of the rotor at a geometric angle corresponding to one pole is simulated, whereby the magnetic induction in the elementary volumes for each position of the rotor is determined. The specific losses in volumes and the pulsation losses in the rotor steel were calculated on the bases of the inductances. To determine the spatial dissipation of magnetic induction and pulsation losses, a mathematical algorithm and the corresponding software applications were prepared using Fortran and Excel programming software.

Scientific contributions: A method for determining the pulsation losses in the rotor steel of a synchronous machine was prepared, taking into account the different saturation of the various zones in the magnetic circuit and the actual pulsations of the induction during its rotation.

Scientific and applied contributions: The spatial dissipation of the losses in the steel of the rotor were obtained depending on its position and location of the elementary volume in the zones, arranged along the longitudinal and transverse axis of the machine. The reduction of losses in the surface layer in the no-load and load modes were determined. It depends on the extent of saturation of the magnetic circuit and especially that on the surface layer of the rotor. It was shown that on the longitudinal axis the peak values of the losses decrease, while on the transverse axis the losses increase their amplitude values, which is a result of the reaction of the armature current. A mathematical expression for determining the coefficient of eddy current losses was proposed.

Applied contributions: Relevant software applications were developed using the programming language Fortran and Excel for processing numerical results and calculation of pulsation losses in the rotor of a synchronous machine.

33. **P. Rizov**. Application of finite element method (FEM) for study of two-speed asynchronous induction motor for medium voltage. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 67, 2017, book 1, pp. 251-260. ISSN 1311-0829.

The article presents an approach to the study on the induced voltages in the stator windings of a double speed induction motor for medium voltage. The algorithm was based on the method for computer modelling of the electromagnetic field and subsequent processing of the numerical results. There are two windings with different number of poles ($2p = 12$ and $2p = 16$) in the stator slots of the motor, and only one of them is powered. The rotating magnetic field induces electromotive forces in both windings. The study aims to specify the time functions and maximum values of the induced voltages in the unpowered winding. 2D computer modelling of the magnetic field was used, based on the finite element method by using a stepwise simulation solution at a uniform geometric step and at a corresponding time step. Two output models for the nominal load mode were developed. In the first model, the power supply of the winding with a lesser number of poles was simulated, and in the second model the winding with a larger number of poles was powered. Of these a sequence of submodels was obtained where the rotor was rotated relative to the previous position of the angle determined by the time step and the synchronous speed at the different number

of poles. The submodels were set the instantaneous values of the phase currents of the powered winding, which changed when the rotor rotated.

Scientific contributions: An approach based on computer modelling of the electromagnetic field in a double speed induction motor was developed, through which phase flux linkages and electromotive forces could be studied.

Scientific and applied contributions: The computed oscillograms of the alterations in time of the phase flux linkages and voltages in the unpowered windings were obtained. The harmonic composition in the voltages was determined. It was proven that the induced voltages in the unpowered windings have the same frequency as equal to that of the supply voltage - 50 Hz. This is because in the first case a 12-pole rotating magnetic field induces a voltage in the 16-pole winding. In the second case, a 16-pole rotating magnetic field induces a voltage in the 12-pole winding.

Applied contributions: It was proven that the maximum values of the induced voltages in the unpowered winding were close in value to the supply voltage. This fact gives reason to assume that the insulation of the windings will not be subjected to stresses greater than those for which they were designed.

34. **P. Rizov.** Study of the influence of the form of the rotor pole on the some of the parameters of synchronous machine with permanent magnets. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 67, 2017, book 1, pp. 261-270. ISSN 1311-0829.

The paper presents a study on the influence of the form of the rotor pole on the electromagnetic moment, the flux leakage and the induction dissipation in synchronous motors with permanent magnets. The synchronous machine had a V-shaped arrangement of the magnets at the rotor pole, and their reinforcement in the radial direction was provided by a metal bridge located between the magnet and the air gap. From a mechanical point of view, the metal bridge was required to ensure the stability of the construction. On the other hand, it was necessary to reduce the flux dissipation of the magnets by increasing magnetic resistance. This was accomplished by increasing the length and saturation of the magnetic circuit for the flux leakage. Four computer based models of the electromagnetic field in the motor in the load mode were prepared for the study, which varied one from another in the zone of the metal bridge between the magnets of two adjacent poles.

Scientific and applied contributions: An approach was developed whereby the flux dissipation between the permanent magnets was specified depending on the form of the reinforcement bridge located within the zone between the poles. It was proven that the method of metal bridge formation largely depends on the flux dissipation, while the electromagnetic moment, the inductance dissipation in the magnets and the spatial dissipation in the air gap are comparable in four variants. The variant in which the metal bridge is shaped like a smooth slot, consisting of two arcs from the side of the air gap, provides the largest electromagnetic moment, because the magnetic flux dissipation of the permanent magnets is the least.

35. Spasov, R., **P. Rizov**, V. Zahariev, Ts. Stoyanov. Distributive transformer for use in photovoltaic electrical power plants with low voltage windings placed in Zig-Zag pattern. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 68, 2018, book 1, pp. 83-90. ISSN 1311-0829.

The article discusses an approach for reducing the fifth, seventh and eleventh harmonics of the current generated by the inverters of photovoltaic power plants. The presence of harmonics in the currents increases the losses in the transformers of the photovoltaic power plants, and on the other hand the harmonics in the output voltage of the transformers impair the quality indicators of the electricity provided to the distribution network. A transformer with two independent low voltage windings connected in a zigzag circuit was considered. The main feature of the studied windings is that the number of turns in the coils that form one phase were

not the same. Thereby, dephasing of the induced electromotive voltages in the two windings at an arbitrary angle or creating a common magnetomotive voltage from the two low voltage windings was provided, where the current was at an arbitrary angle. An algorithm for studying the harmonic composition of the resulting magnetomotive voltage of the two independent low voltage windings was developed, which consisted of the following steps. The instantaneous values of the currents in the two low voltage windings were calculated in relative units, where the magnitudes of the individual harmonic inputs were taken per the standard. The magnetomotive voltages of the coils from the core were summed. The harmonic composition of the resulting magnetomotive voltage was determined and compared with that of a double layered cylindrical winding. The procedure was repeated for different k-factors from 2 to 7 and at different dephasing angles of the currents at the two low voltage windings, until the strongest reduction of the fifth, seventh and eleventh harmonics was obtained.

Scientific and applied contributions: An approach was developed to determine the required dephasing of the currents in the two independent zig-zag windings for maximum reduction of 5 and 7 harmonics.

36. Stoyanov, Ts., R. Spasov, **P. Rizov**. Optimization of the rotor's sizes of permanent magnet synchronous machine. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 68, 2018, book 1, pp. 189-196. ISSN 1311-0829.

The article describes an approach for optimizing the dimensions and geometric arrangement of the permanent magnets of constant volume at the rotor pole. The criteria for optimization was the achievement of the largest amplitude in the first harmonics of the spatial distribution of the magnetic induction in the air gap. The permanent magnets had V – shape arranged at the rotor poles. Optimizing the arrangement of magnets was an invariant procedure where the angle between the magnets, the arc angle of the metal bridge, the minimal withstanding between the arc of the bridge and the air gap, as well as the dimensions of the permanent magnets change iteratively within certain limits. It mainly varies with the angle between the magnets, as it changes from 60 to 120 degrees. This leads to a change in their size while maintaining their volume. An invariant 2D stationary computer model based on the finite element method was developed to model the electromagnetic field. The tests were performed on two synchronous machines with 6 and 10 poles for powers $P_2 = 10, 20, 30$ kW. For all iterative variants, the amplitude of the first harmonic of the spatial dissipation of the magnetic induction was determined. The best location and dimensions of the permanent magnets were determined after comparing the obtained amplitude values for each of the above synchronous machines,

Scientific contributions: A method was developed to optimize the location and dimensions of the permanent magnets in the rotor pole of synchronous machines to obtain the best energy performance.

Applied contributions: The developed method is applicable in the design of synchronous motors with permanent magnets built into the rotor.

37. Totev, V., D. Ibram, V. Georgiev, **P. Rizov**, Electric vehicles - current state and tendencies. Proceedings of the Technical University – Sofia, vol. 69, 2019, book 1, pp. 31-40. ISSN 1311-0829.

The article examines the characteristics of the main components of electromotive vehicles currently manufactured by leading companies. Some tendencies for their future development were also indicated. The specifications of the accumulator batteries were studied such as capacity; energy density; battery life, estimated by the number of charge / discharge cycles that the battery can perform until it becomes disposable; price; energy efficiency - defined as the ratio between the energy required for charging and that for discharging. The most frequently used electric motors were

listed – permanent magnet synchronous motors (PMSM) with rare-earth elements, brushless DC motors (BLDC), synchronous motor with alternating current. There are models of electromotive vehicles with combined drive by different types of electric motors.

Scientific and applied contributions: An analysis of the main elements of the electromotive drive system of modern electric vehicles was made. The tendencies for the future development of some of their main nodes were shown.

38. Mihov, M., G.Todorov, **P. Rizov**, V.Stiptzov, Investigation of current distribution by means of multilink equivalent circuits with MATLAB. Proceedings of the Tenth International Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems ELMA 2002, Sofia, Bulgaria, September 13-14, 2002, Vol. 1, pp 52-59, ISBN 954-902-091-6.

This article presents a mathematical algorithm and a corresponding software implementation for computing the active and inductive resistance and leakage reactance of deep rotor slots of different shapes. The studies were performed under the following conditions: the slot was symmetrical along its vertical axis; the rotor rod is made of homogeneous material; the slots are grouped as slots with straight walls only and slots including straight walls and arcs. The algorithm automatically divides the slots into layers and calculates the plane and the magnetic conductivity.

Scientific and applied contributions: A mathematical algorithm and a corresponding software implementation for automation of the computing the active and inductive leakage reactance of deep rotor slots of different shapes for induction motors were developed..

39. Sokolov, E., **P. Rizov**, Analysis of the magnetic field and losses in the bandage rings of a hydrogenerator, Proceedings of the 3-th International Conference on electrical Machines ELMA 2002, Drives and Power Systems, Sofia, September 13-14, 2002, Vol. 2, pp. 23 – 29, ISBN 954-902-091-6.

The article discloses how the application of the finite element method (FEM) determines the losses in the bandage rings of a hydro generator due to the eddy currents induced in it. To this end, using FEMM model, an axisymmetric quasi-stationary model of the magnetic field in the area of the front parts of the synchronous hydro generator was prepared. Studies were carried out for brass and steel bandage rings which have specified the penetration of the magnetic field into the bandage rings. It was proven that with brass bandage rings the depth of penetration of the magnetic field in the plane of the ring is greater because the skin effect, due to the eddy currents in the ring, is smaller.

Scientific and applied contributions: An axisymmetric quasi-stationary model was established to study the magnetic field in the area of the front parts of the synchronous hydro generator. The numerical solution determined the changes in the current densities of the bandage rings along two transverse axes. Heat losses were estimated and their influence on the insulation of the bandage rings determined.

40. Sotirov, D., **P. Rizov**, A. Tzolov, V. Spasov, Analysis of the magnetic fields in DC brushless motors with permanent magnets. Proceedings of the 3-th International Conference on electrical Machines ELMA 2002, Drives and Power Systems, Sofia, September 13-14, 2002, Vol. 2, pp. 30 – 37, ISBN 954-902-091-6.

This article presents a theoretical analysis of a DC brushless motor with a parallel non-reversible winding and excitation from permanent magnets by the Finite Element Method (FEM). The no-load and load modes of the magnetic field of the motor were analysed. The fluxes caused by the reaction of the armature current and the slot flux leakage were determined. The slot flux leakage was at its maximum when switched on, because the end of the pole was beyond the zone of the

respective phase and most of the flux was shut off through the stator slot. The flux created by the transverse reaction of the armature current at the moment of switching on was also at its maximum because the rotor poles were not yet below the switch-on phase, and the current excited by the current in the rotor winding created a transverse reaction to the excitation field.

At this point the longitudinal reaction of the armature current was demagnetizing, whilst at the moment of phasing off, when the MMF and the phase MMF were almost in phase, the transverse reaction was magnetizing.

Scientific and applied contributions: FEMM software was used to develop a computer model for modeling the magnetic field in a DC brushless motor with permanent magnets in the rotor. The dependence of the leakage and the fluxes on the longitudinal and transverse axes of the motor on the angle of rotation of the rotor within the switching interval is obtained. The studies performed allowed to optimize the switching interval of the semiconductor switches.

41. Sotirov, D., **P. Rizov**, A. Tzolov, V. Spasov, Analysis of the torque curve of a reactive DC brushless motor. Proceedings of the 3-th International Conference on electrical Machines ELMA 2002, Drives and Power Systems, Sofia, September 13-14, 2002, Vol. 2, p. 38 – 43. . ISBN 954-902-091-6.

The article provides a study of a DC brushless reactive motor with a reversible stator winding. A computer model was developed for the study of the magnetic field, based on the finite element method (FEM), using FEMM software. The studies were carried out at constant values of the current for both connected phases, at successive positions of the reactive rotor. Based on the numerical solutions, the static electromagnetic torque curve was computed, given the current.

Scientific and applied contributions: A computer model for modeling the magnetic field in a brushless reactive motor was developed, through which the electromagnetic moment of the motor was calculated depending on the current.

42. Sotirov D., **P. Rizov**, A. Kalapish. Static characteristics of brushless switched reluctance motor, calculated with finite element analysis. Eleventh International Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems ELMA 2005, 15-16. 09. 2005, Vol. 1, p. 215 – 219, ISBN 954-902-09-5-9.

The article presents studies aimed at making a comparative analysis of two constructions of two brushless reactive motors with three-phase and four-phase stator winding. The outer diameters and the length of the active part of the two motors was equal. The comparative analysis was done on the basis of their static electromagnetic torque, the self-inductance of the winding and the inverter used. 2D computer models based on the finite element method were developed for conducting the research. The simulation of the electromagnetic field was done by taking into account the cross-section of the magnetic circuit of the motors. A step rotation of the rotor was simulated at an angle, corresponding to one self-inductance period of the winding and the electromagnetic torque of each of the two motors. The exciters of the magnetic field were represented by direct current that did not change when the rotor rotated.

Scientific contributions: A method of comparative analysis of brushless reactive motors was established, based on computer modelling of the electromagnetic field using the finite element method. The comparison criteria were the static electromagnetic torque, the intrinsic inductance of the stator phase and the specifics of the inverter.

Scientific and applied contributions: The possibility to determine the duration of the switching interval in motors with three-phase and four-phase note was proven. In the case of forced switching, it was possible to accelerate the increase of the start-up current so that the motor operated at the desired current value, which provided higher efficiency. With the correct switching angle, the

phase current reached the desired value before the rotor assumed a position that significantly affected saturation.

Applied contributions: The dependences of the static electromagnetic torque and the intrinsic inductance of the stator phase, depending on the position of the rotor relative to the stator, were obtained. The dependence of the intrinsic inductance on the rotor rotation angle is applicable for determining the current in a given operating mode in simplified models.

43. Sotirov D., **P. Rizov**, I. Panayotov, D. Bozhov, B. Krachev, V. Doychev. Study of a synchronous excitation generator with rotating rectifier. Bulgaria, Sofia, ELMA – 2008, p. 51 – 55, ISSN 1313-4965.

The report is dedicated to a study on a synchronous excitation generator with a rotating rectifier. Any attempts to use it at higher powers has led to problems related to overheating of the magnetic conductors of the excitation generator. The analysis of these problems, in particular the study of the magnetic field of the excitation generator, as well as their elimination is the subject of the present study. A computer model was developed for modeling the electromagnetic field in a synchronous excitation generator, taking into account its peculiarities during operation due to the presence of a rotating rectifier. The research took into account the fact that current flew through each of the phases of the generator only during the time interval when the respective thyristor switches were unlocked.

Scientific contributions: It has been proven that due to the peculiarities of the excitation synchronous generator with a rotating rectifier, a pulsation of the magnetic induction occurs at the poles of the inductor and the armature teeth due to the strong periodically repetitive demagnetizing action of the armature current.

Scientific and applied contributions: The pulsation of the magnetic induction leads to losses of eddy currents and hysteresis in separate zones of the magnetic system of the excitation synchronous generator. In this case, it is necessary to blend the inductor poles of electrical steel, although the magnetic flux has been excited by the direct current.

44. **Rizov, P.**, R. Spasov, T. Stoyanov, V. Zahariev, The application of finite element method for determining the THD in the electromotive force in a synchronous machine with permanent magnets under different loads, Proceedings of the 14-th International Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems ELMA 2015, 1-3 Oct. 2015, Varna, Bulgaria, pp. 7 – 13, ISSN 1313-4965.

In the report there is an algorithm given for determining the Total Harmonic Distortion (THD) in the electromotive force under different loads. Object of the study is a synchronous machines with excitement from permanent magnets imbedded in the rotor (SPMM), widely used in hybrid vehicles. The tests were performed for two variants of the stator winding. the first case is a three phase, ten pole machine with $q = 2$ (q - number of slots per pole and phase) and the second case is with two independent three phase, ten pole windings with $q = 1$. To conduct the study, computer models were developed in the "FEMM" software environment, which were used to model the magnetic field in the machine, while taking into account the saturation of the magnetic circuit's materials. The rotation of the rotor is simulated in uniform steps, which corresponds to a time interval of 20 ms. In both variants, the tests were performed at three different values of the stator current. The modes of operation with active-inductive and active-capacitive load are modeled, and in both studied cases $\cos\varphi$ is in the range from 0.8 to 1.

Scientific contributions: A complex approach has been developed for modeling and simulation of the operation modes of a synchronous machine with permanent magnets in generator mode at different types of the load.

Scientific and applied contributions: Results for the harmonic composition of the

electromotive forces of the synchronous machine depending on the type of the stator winding and the type of the load are obtained.

Applied contributions: The developed computer models and algorithms have been introduced in the teaching process of students at the Faculty of Electrical Engineering of the Technical University - Sofia.

45. Georgiev, V., **P. Rizov**, Energy efficiency in capacitive loads compensation, Proceedings of the 14-th International Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems ELMA 2015, 1-3 Oct. 2015, Varna, Bulgaria, pp. 218 – 222, ISSN 1313-4965

The report presents the results of a study of the approaches for reactive energy compensation in medium voltage cable lines and overhead power lines. Uncompensated reactive energy is being returned to the grid, causing penalty payments by many companies during the last decade. The information of the main approaches for compensation is systematized: overcompensation, switching of reactors and capacitors, reactors with thyristor control, static compensators. Different approaches for compensating reactive energy generation are compared according to their performance, energy efficiency and financial benefit.

Scientific and applied contributions: Different compensation strategies were compared. It is pointed out that the most common approach for compensation - the installation of an overcompensating reactor, is not the best solution and the more complex approaches - the use of a switched reactor or TCR offer certain advantages.

Грџна 3. Scientific publications in journals with impact factor (IF - Web of Science) and scientific journal ranks (SJR - SCOPUS)

- S1. Lazarov, V., **P. Rizov**. Magnetic permeance of the air gap between two toothed structures, Journal of Materials Processing Technology 161, 2005, pp. 96-100 , Elsevier. ISSN 0924-0136, doi: 10.1016/j.jmatprotec.2004.07.059. **IF=0.856/2005**, **(SCOPUS, SJR = 0.758/2005)**

The article is devoted to a study, aimed at improving the Pohl method applied to determine the magnetic conductivity of the air gap in electrical machines with teeth and slots of different widths, assuming that the slots have infinite depth. In the Pohl method, the magnetic permeability calculation expressions refer primarily to the case where the stator and rotor teeth are with equal widths. When the tooth widths of the stator and the rotor are different, the set of expressions in the above method is quite inconvenient for practical purposes. In the study, the angle between the sides and crowns of the teeth β is corrected in such a way that the magnetic conductivity of the air gap, calculated by analytical expressions is equal to that obtained by modeling the magnetic field with the finite element method at relative displacement of the tooth respective to the slot.

Scientific contributions: The Pohl method for calculating the magnetic conductivity of the air gap in a toothed structure has been improved. This improvement allows a number of complex cases to be drastically simplified for practical purposes by averaging the teeth of the stator and rotor and by appropriately adjusting the angle β .

Scientific and applied contributions: The study showed that all cases concerning different tooth widths of the rotor and stator can be reduced to the case with the same width of the teeth of the rotor and stator, which is equal to their average value.

- S2. Sotirov, D., **P. Rizov**, Panayotov. I. Study on harmonics spectrum in wave form of magnetic induction in air gap and E.M.F. of the synchronous hydro generators, Proceedings of XVIth International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies, SIELA 2009, Volume1, pp. 262-271. ISBN: 978-954323530-8. (**SCOPUS, SJR = 0.1/2009**)

The article presents an approach for determining the harmonics of the magnetic induction in the air gap, the phase and linear electromotive voltages in a synchronous hydro generator. The algorithm comprises of three stages. In the first stage the electromagnetic field is modelled using the finite element method. In the second stage, the harmonic spectrum of the magnetic induction in the air gap is determined by Fast Fourier Transform. In the third stage, the fundamental and higher harmonics of the magnetic flux, phase and linear voltages in the stator winding are calculated. The algorithm thus described was applied to the study of four hydro generators.

Scientific and applied contributions: An approach for computing the harmonics, magnetic induction and voltages in synchronous generators was initiated, taking into account the cross-section plane of the magnetic circuit. The methodology allows for calculation of the tooth harmonics of the first and higher order.

Applied contributions: The established approach was applied to the design and production of synchronous hydro generators in Elprom ZEM AD and IHB Electric OOD.

- S3. Stoev, B., G. Todorov, **P. Rizov**, G. Pagiatakis, L. Dritsas, Finite element analysis of rotating electrical machines - An educational approach. An educational approach IEEE global engineering education conference, EDUCON 2017, pp. 262-269. ISBN: 978-150905467-1, doi: 10.1109/EDUCON.2017.7942857. (**SCOPUS, SJR = 0.197/2017**)

The article is concerned with the application of the finite element method in teaching undergraduate students the fundamental theoretical basis of rotating electrical machines. The scope of the article is to highlight the basic principles of operation of electrical machines by modelling and analysis of the electromagnetic field using the 2D finite element method. This approach is suitable for teaching undergraduate students, as the finite element method is based on the direct integration of Maxwell's equations for first-order elements, avoiding the use of complex mathematical processing. The preparation of the models of the electric machines and the analysis of the results obtained are presented in the simplest possible way in order to be more accessible for the students. The explanation of the processes taking place in electrical machines is illustrated by various results that learners can directly obtain, observe and analyse using the finite element method. The application of the finite element modelling method makes it possible to explain and discuss the behaviour of rotating electrical machines in normal operating modes and in emergency situations.

Applied contributions: The approach developed for applying the results of the study on electrical machines by the finite element method is used in the training of students at the Faculty of Electrical Engineering of the Technical University - Sofia.

Group E23. Published university textbook

- Y1. Rizov, P., A. Ivanov. Computer modelling of fields and processes. Sofia, TU-Sofia Publishing House, 2015. ISBN: 978-619-167-158-8

This textbook was compiled according to the lecture material for the Computer Modelling of Processes and Fields course which also includes part of the lecture material taught in the course on Numerical Methods and Modelling of Circuits and Fields – Part II. Attention was placed on the application of the finite element method for the study of electrical machines. The textbook displays mathematical algorithms, which model numerically the magnetic field in induction motors. The

algorithms are applicable for modelling the electromagnetic field in synchronous machines. The textbook manifests considerations on the topic by home and foreign publicities, as well as other research of the authors.

Conclusion

The studies presented in the works can be grouped as follows:

1. Research and analysis of asynchronous, synchronous, DC electric machines and transformers, using computer modelling techniques of electromagnetic and thermal fields. [1], [5], [6], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [17], [18]], [21 [22], [23], [24], [27], [28], [29], [30] [31], [32], [33], [34], [35] , [36], [38] [39], [40], [41], [42], [43], [44], [S1] [S2], [S3], [Y1].
2. Research and analysis of processes in electrical systems accommodating electrical machines and transformers. [2] [3], [7], [19], [20], [25], [26].
3. Novel insulation systems for high voltage electrical machines. [M1]

On the educational side, these contributions are also employed for the tuition of students in the disciplines related to electrical machines, making use of some educational techniques and scientific and technical achievements discussed in the articles.