



YUQORI KUCHLANISH MANBALI SANOT ELEKTOSTATIK CHO'KTIRGICHINING TURLI ZARRACHALARNI YIG'ISHDAGI O'RNI

Shodiqulov Asadbek Mehriqulovich

Navoiy innovatsiyalar universiteti assistenti

Annotatsiya. Mazkur maqolada sanoat elektrostatik cho'ktirgichi (ESP) yordamida mayda zarrachalarni ajratib olish samaradorligi bo'yicha sanoat sharoitida o'tkazilgan tadqiqot natijalari keltirilgan. Tajribalar elektrostatik cho'ktirgich (ESP) va matoli filtr (FF) birlashtirilgan gibrid tizimda amalga oshirilgan. Sinov davomida gaz oqimi sarfi, kiruvchi gazdagi massa konsentratsiyasi, gazning harorati va ESP plastinkalari orasidagi masofa mos ravishda 20,000–40,000 Nm³/soat, 15 g/Nm³, 110 °C hamda 400 mm ni tashkil etgan. ESPning maxsus yig'ish yuzasi (specific collection area) 10 dan 20 m²/m³/s oralig'ida bo'lgan. Qurilma bir fazali va uch fazali transformator-to'g'rilagichlar orqali quvvatlantirilgan. Bir fazali TR dan uch fazali TR ga o'tilganda, ikkilamchi o'rtacha kuchlanish 55 kV dan 71 kV gacha, toki esa 31 mA dan 62 mA gacha oshgan. Bularning barchasi chaqnash (spark breakdown) holatisiz amalga oshgan.

Natijalar shuni ko'rsatadiki, mayda zarrachalarni ajratib olish samaradorligi $h(r)$ va ularning migratsiya tezligi (migration velocity) ancha ortgan. Bir fazali TR qo'llanilganda zarrachalarning o'rtacha harakat tezligi taxminan 17 sm/s ni tashkil etgan bo'lsa, uch fazali TR bilan bu ko'rsatkich 35 sm/s gacha yetgan. Diametri 0.03–0.1 mikrometr va 0.1–2.5 mikrometr bo'lgan zarrachalar uchun ajratish samaradorligi 85% dan 95% gacha, 2.5–8.0 mikrometr diapazondagi zarrachalar uchun esa 87% dan 98% gacha oshgani kuzatilgan.

Kalit so'zlar. Elektrostatik cho'ktirish, korona, zarrachalar, yuqori volt kuchlanishli manba.



Kirish. So‘nggi yuz yil davomida elektrostatik cho‘ktirgichlar (ESP) sanoatda zarrachalarni tutib qolish va ajratib olishda keng qo‘llanib kelmoqda, chunki bu usul yuqori samaradorlik va nisbatan past ekspluatatsiya xarajatlari bilan ajralib turadi [1,2]. ESP texnologiyasining hozirgi rivojlanish bosqichi — uning nazariy asoslari, konstruktiv tuzilishi, matematik modellar, elektr ishlash prinsiplari, quvvat manbalari, gazni tayyorlash (conditioning) usullari, gibrid cho‘ktirish texnologiyalari hamda sanoatdagi amaliy qo‘llanilishi — so‘nggi ESP konferensiyalarida batafsil yoritilgan [3].

Shuningdek, dunyo miqyosida elektrostatik cho‘ktirgichlarni modernizatsiya qilish bo‘yicha olib borilgan tadqiqotlar PM emissiyasini kamaytirish va energiya samaradorligini oshirish yo‘nalishlarida muhim natijalar bergan. Xitoydagi yirik energetika korxonalari misolida [4,5] deyarli barcha ESP tizimlari PM_{2.5} (diametri 2.5 mikrometrdan kichik) zarrachalarni hisobga olgan holda yangilanishi lozimligi aniqlangan. Sanoat kuzatuvlari ko‘rsatishicha, ESP samaradorligining pasayishiga odatda zarrachalarning kirish qismida yetarli zaryadlanmasligi yoki ushbu holatlarning birgalikda namoyon bo‘lishi sabab bo‘ladi.

400 mm li bo‘shliqqa ega ESPlar uchun uch fazali transformator-to‘g‘rilagich (TR) chiqish kuchlanishi odatda 82 kV, toki esa 2.0 A atrofida bo‘ladi. Bunday qiymatlar ko‘pincha sps (switch-mode power source) imkoniyatlaridan yuqori bo‘ladi. Xitoydagi 125 MW, 300 MW va 600 MW quvvatli ko‘mir yoqiladigan qozonlarda o‘tkazilgan amaliy tajribalarimiz shuni ko‘rsatdiki, ESPning kirish zonasidagi an‘anaviy bir fazali TRLarni yangilash orqali korona razryadi quvvati va zarrachalarni yig‘ish samaradorligi sezilarli darajada ortgan.

Odatda ESP (elektrostatik cho‘ktirgich) kirish zonasida spetsifik yig‘ish yuzasi (specific collection area) 10–20 m²/m³/s oralig‘ida bo‘ladi [6]. Biroq, PM_{2.5} zarrachalari emissiyasi haqidagi mavjud ilmiy ma’lumotlar hanuz yetarli emas. Shu sababli ESPni emissiyani kamaytirish va energiyani tejash maqsadida modernizatsiya qilish uchun zarur bo‘lgan muhim parametrlar — ya’ni yig‘ish



yuzasining xususiyatlari, zarrachalarning fizik tavsiflari hamda yuqori kuchlanishli quvvat manbalari — to‘liq ishlab chiqilmagan.

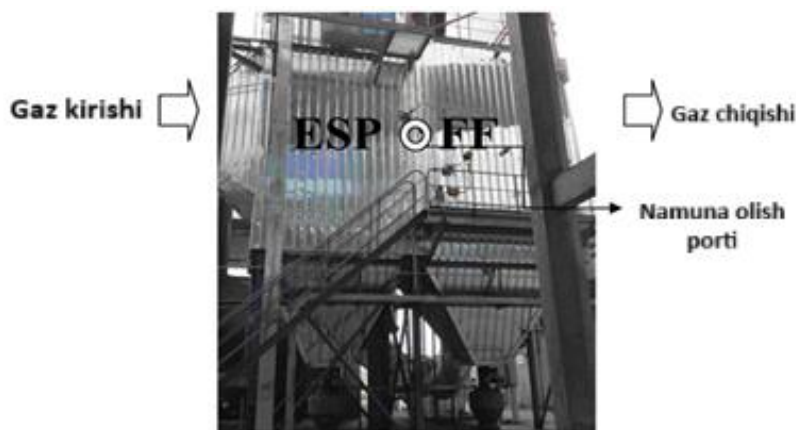
Mazkur maqolada bizning elektrostatik cho‘ktirgichni uch fazali transformator-to‘g‘rilagich (TR) yordamida modernizatsiya qilish bo‘yicha olib borilgan uzluksiz tadqiqotlarimiz natijalari keltiriladi. Ishning asosiy maqsadi — mayda zarrachalarning migratsiya tezligini chuqur tahlil qilish hamda sanoat miqyosidagi ESPlar uchun elektr maydoni kuchi, spetsifik yig‘ish yuzasi va zarracha o‘lchamiga asoslangan soddalashtirilgan ajratish model(lar)ini ishlab chiqishdan iborat.

Amaliy qism. 1-rasmda keltirilgan gibrid cho‘ktirgich (hybrid precipitator) ikki bosqichdan tashkil topgan:

Birinchi bosqich — elektrostatik cho‘ktirgich (ESP);

Ikkinchi bosqich — matoli filtr (FF, Fabric Filter).

Ushbu gibrid qurilma to‘liq hajmli FF tizimi bilan parallel ravishda o‘rnatilgan bo‘lib, gaz oqim tezligini 20,000 Nm³/soatdan 40,000 Nm³/soatgacha o‘zgartirish imkonini beradi. Tutun gazi avvalo ESP orqali o‘tadi, so‘ngra FF bosqichiga yo‘naltiriladi. Gibrid cho‘ktirgich gaz oqimining taqsimlanishini hamda tizimdagi bosim yo‘qotilishini (pressure drop) inobatga olgan holda ehtiyotkorlik bilan loyihalashtirilgan. Shu turdagi gibrid cho‘ktirgichlar 600 MWgacha quvvatga ega bo‘lgan ko‘mir yoqiladigan generatorlarda ham muvaffaqiyatli qo‘llanilgan. Mazkur tizim 30 MW quvvatli mahalliy ko‘mir yoqiladigan issiqlik elektr stansiyasida ikki yildan ortiq vaqt davomida samarali ishlamoqda. ESP plastinkalari orasidagi masofa (gap) 400 mm ni tashkil etadi. Qurilmaning uzunligi 2500 mm, balandligi esa 4200 mm. Korona razryadi hosil qilish uchun qovurg‘ali (ribbed) “strike-type” turdagi elektrodlar ishlatilgan. ESP ichidagi maksimal gaz tezligi 110 °C haroratda va 40,000 Nm³/soat oqimda 1.15 m/s ga teng. Tajriba qurilmasining texnik ko‘rsatkichlari 1-jadvalda bayon etilgan.



1-rasm. Tajriba uchun mo'ljallangan pilot qurilmaning fotosurati.

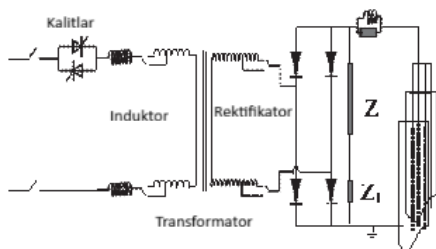
Zarrachalarni tahlil qilish usuli. Zarrachalar konsentratsiyasi va ularning o'lcham bo'yicha taqsimotini aniqlash uchun joyida o'lchovchi (in-situ) elektr past bosimli impaktor (ELPI) qurilmasi qo'llanilgan. ELPI — bu 13 bosqichli kaskadli past bosimli zarracha impaktori bo'lib, 30 nanometrdan 10 mikrometrgacha bo'lgan zarracha o'lchamlari diapazonida tahlil o'tkazadi. Ushbu texnologiya PM emissiyalarini tadqiq etishda keng qo'llaniladi [4]. ELPI usulining batafsil diagnostik prinsipi avvalgi ilmiy ishda bayon qilingan [7]. Zarrachalarni olish nuqtalari ESP va FF chiqish qismlariga joylashtirilgan. Barcha tajriba o'lchovlari mexanik tozalash jarayonlari orasidagi davrda, ya'ni "rapping" sikllari oralig'ida amalga oshirilgan. Kiruvchi zarrachalarning boshlang'ich xususiyatlari ESP o'chirilgan holatda uning chiqish qismida o'lchash orqali aniqlangan. Shu tariqa ESP ichida yuz beruvchi tabiiy cho'kish (natural collection) jarayoni istisno etilib, faqat ESPning haqiqiy ajratish samaradorligi baholangan.

Zarracha konsentratsiyasi chiqish kesimlaridan olingan bir nechta o'lchov natijalarining o'rtacha qiymati asosida hisoblangan. Tadqiqot davomida kiruvchi chang zarralarining umumiy massa konsentratsiyasi taxminan 15 g/Nm^3 , o'rtacha zarracha diametri 11.2 mikrometr, changning spetsifik elektr qarshiligi (dust resistivity) esa 110°C haroratda $3.09 \times 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ ni tashkil etgan. Changning elektr qarshiligi bo'yicha batafsil tahlil [7] manbada keltirilgan. Taqqoslash maqsadida

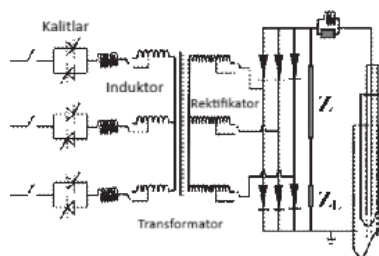


tajribalar ikki turdagi transformator-to'g'rilagichlar (TRLar) — bir fazali (single-phase) va uch fazali (three-phase) qurilmalar yordamida o'tkazilgan. Har bir kuzatuv seriyasi odatda bir haftalik davr ichida bajarilgan va natijalar mos ishlash sharoitlariga ko'ra tahlil qilingan.

2-rasmda an'anaviy bir fazali hamda uch fazali TRLarning elektr zanjir sxemalari keltirilgan. Har ikkala holatda ham birlamchi va ikkilamchi kuchlanish (voltage) hamda tok (current) qiymatlari avtomatik kuchlanish nazoratchisi (AVC) yordamida avtomatik tarzda qayd etilgan [8]. Bir fazali TR ikkita qarama-qarshi yo'nalishda ulangan kremniy boshqariluvchi to'g'rilagichlardan (anti-parallel silicon controlled rectifiers) tashkil topgan bo'lib, uning ishlash prinsipi va boshqaruv algoritmlari batafsil tarzda avvalgi tadqiqotda yoritilgan [2]. Uch fazali TR esa uch juft qarama-qarshi yo'nalishli SCR (silicon controlled rectifier) asosida ishlaydi. Ushbu texnologiya uzoq yillardan buyon ma'lum bo'lsa-da, zarrachalarning o'lcham sinflari bo'yicha ajratib olish samaradorligiga (particle grade collection efficiency) ta'siri haqida ma'lumotlar juda cheklangan. Bizga ma'lum yagona manba — Boyle va Paradiso tomonidan o'tkazilgan tadqiqot bo'lib, unda opasitet monitori (opacity monitor) yordamida uch fazali TR samaradorligi baholangan. Shuningdek, bir fazali va uch fazali TRLar o'rtasida o'tkazilgan taqqoslovchi tajribalar ham bir xil sanoat sharoitlarida amalga oshirilgan [9].



Bir fazali transformator tog'rilagich
tog'rilagich



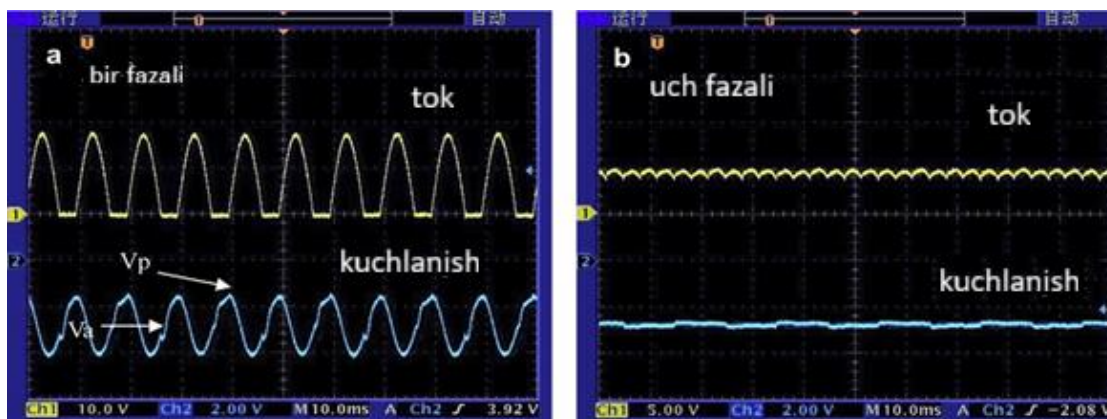
Uch fazali transformator



2-rasm. Bir fazali va uch fazali transformatorning Z va Z_L rezestorlari kuchlanish manbai sifatida ishlatilgandagi zanjir diagrammasi

Natijalarni tahlil qilish. IeV (tok–kuchlanish) egri chiziqlarini o‘rganish uchun vaqt bo‘yicha o‘lchangan kuchlanish va tok to‘lqin shakllari hamda o‘rtacha ikkilamchi kuchlanish (V_a) va tok qiymatlari asos qilib olingan.

3-rasmda ikkilamchi kuchlanish va tokning tipik to‘lqin shakllari keltirilgan. Bir fazali TRda tok to‘lqini kuchlanish maksimal qiymatiga yetganda har safar nol qiymatga tushadi. Aksincha, uch fazali TRda tok deyarli doimiy bo‘lib, nol nuqtasiga yetmaydi. Bu holat yonish (spark breakdown) jarayonlarini nazorat qilish uchun yangi turdagi avtomatik kuchlanish nazoratchisini (AVC) joriy etishni talab qiladi [6]. Kuchlanish to‘lqinlari nuqtai nazaridan qaralganda, uch fazali TR qo‘llanilganda kuchlanishdagi tebranishlar (ripple) ancha kamayadi. Natijada o‘rtacha kuchlanish (V_a) va maksimal cho‘qqi kuchlanish (V_p) qiymatlari deyarli bir-biriga tenglashadi.

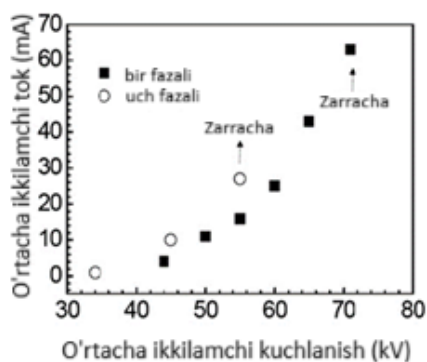


3-rasm. Ikkilamchi kuchlanish va tok to‘lqinlarining vaqt bo‘yicha o‘lchangan xarakteristikasi, 20 ms/bo‘linma, a) bir fazali TR bilan, b) uch fazali TR bilan.

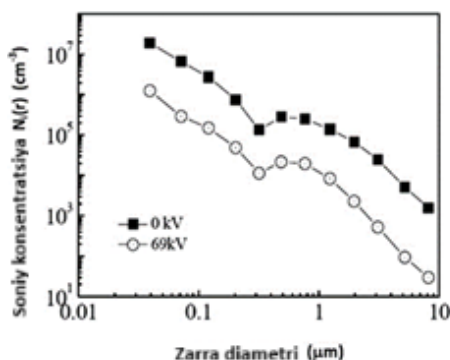
Shuning uchun IeV egri chiziqlari 4-rasmda ko‘rsatilganidek aniq farqlarni namoyon etadi. Bir fazali TR uchun $(V_p - V_a)/V_a$ nisbati odatda 30–40% atrofida



bo'ladi, uch fazali TRda esa bu ko'rsatkich 5% dan ham kam. Ushbu tadqiqot doirasida bir fazali TRni uch fazali TR bilan almashtirish natijasida maksimal ikkilamchi kuchlanish (V_a) 55 kV dan 71 kV gacha, tok esa 31 mA dan 62 mA gacha oshgani aniqlangan. Natijada, korona zaryadining quvvati taxminan 2,5 barobarga ortgan. Shuningdek, kuzatilgan kuchlanish va tok egri chiziqlari ilgari chop etilgan natijalar bilan to'liq mos keladi [7,10]. Bunda berilgan ikkilamchi kuchlanish uchun uch fazali TRda o'rtacha tok doimo kichikroq, berilgan tok qiymati uchun esa ikkilamchi kuchlanish yuqoriroq bo'ladi (4-rasm). Shu tarzda, ESP tizimi uchun maksimal V_a – V_p qiymati uch fazali TR qo'llanilganda sezilarli darajada oshadi, chunki V_a deyarli V_p ga tenglashadi. Demak, ESPni bir fazali TRdan uch fazali TRga modernizatsiya qilish natijasida zarrachalarni cho'ktirish samaradorligi sezilarli ravishda yaxshilanishi mumkin.

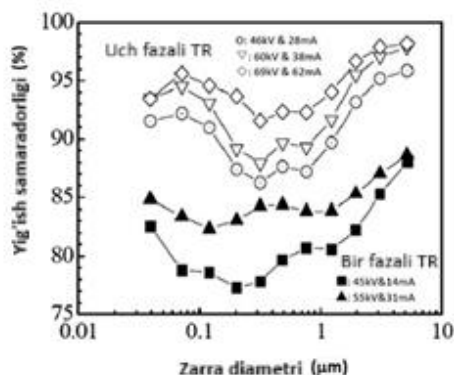


4-rasm. Gaz oqim tezligi 40,000 Nm³/soat, dastlabki massa konsentratsiyasi 15 g/Nm³ va harorati 110 °C bo'lgan sharoitda o'rtacha ikkilamchi kuchlanish va tokning I_eV egri chiziqlari.





5-rasm. Gaz oqim tezligi $40,000 \text{ Nm}^3/\text{soat}$ va dastlabki massa konsentratsiyasi 15 g/Nm^3 , harorati 110°C bo'lgan sharoitda ESP kirish va chiqishdagi zarracha o'lchamlari taqsimoti.



6-rasm. Gaz oqim tezligi $40,000 \text{ Nm}^3/\text{soat}$ va dastlabki massa konsentratsiyasi 15 g/Nm^3 , harorati 110°C bo'lgan sharoitda, zarracha diametriga va elektr manbalariga bog'liq toifaviy yig'ish samaradorligi

Xulosa. Bir fazali va uch fazali transformator-to'g'rilagichlar (TR) asosida o'tkazilgan sanoat miqyosidagi tajribalarga tayanib, quyidagi xulosalarga kelindi: O'ziga xos yig'ish maydoni yoki qo'llanilgan elektr maydoni nuqtai nazaridan qaralganda, zarrachalarning soni va massasi bo'yicha toifaviy yig'ish samaradorligini modifikatsiyalangan Deutsch tenglamasi orqali yuqori aniqlikda baholash mumkin. Buning uchun tenglama koeffitsiyentlarini elektr maydoni kuchi va zarracha diametrlariga mos ravishda to'g'rilash zarur. Shunga qaramay, migratsiya tezligi bilan zarracha diametri o'rtasidagi aniq analitik bog'liqlikni ifodalovchi soddalashtirilgan tenglama hali ishlab chiqilmagan.

Uch fazali TR dan foydalanish bir fazali TR ga nisbatan ESP (elektrostatik cho'ktiruvchi) tizimining kirish maydonida zarrachalarni toifalar bo'yicha yig'ish samaradorligini sezilarli darajada oshiradi. Buning sababi — uch fazali tizim yuqoriroq kuchlanish va kattaroq korona toki bilan ishlashidir.

-Juda mayda zarrachalar ($0.03\text{--}0.1 \text{ mm}$) uchun samaradorlik taxminan 1,12 baravar,

-Mayda zarrachalar ($0.1\text{--}2.5 \text{ mm}$) uchun 1,08 baravar,



-Yirik zarrachalar (2.5–8 mm) uchun esa 1,13 baravar yaxshilanadi.

ESP tizimini qayta o'lchash (resizing) orqali massa emissiya konsentratsiyasini kamaytirish rejalashtirilganda, avvalgi dizaynda ishlatilgan migratsiya tezligini yangi komponentlar uchun soddalashtirish maqsadida qo'llash mumkin emas. Chunki bu tezlik zarracha o'lchamiga sezilarli darajada bog'liq.

-ESP kirish maydonida bir fazali TR ni uch fazalisi bilan almashtirish natijasida massa yig'ish samaradorligini 80–85% dan 90–95% gacha oshirish mumkin.

Modifikatsiyalangan Deutsch tenglamasidan foydalanish orqali TR yangilanishi yoki ESP qayta loyihalashidan so'ng tizim samaradorligini oldindan aniqlash imkoniyati mavjud. Yaqin kelajakda elektr energetikasi va metallurgiya tarmoqlarida ko'plab ESP tizimlari uch fazali TR asosida modernizatsiya qilinishi kutilmoqda. Biroq, bu jarayonni amalga oshirish uchun har bir aniq sanoat holatiga moslashtirilgan koeffitsiyentlarni aniqlash zarur bo'ladi.

Foydalanilgan adabiyotlar.

- [1] Series publications of Electrostatic Precipitation, <http://www.isesp.org/>.
- [2] S. Oglesby, G.B. Nichols, Electrostatic Precipitation, Marcel Dekker Inc., New York, 1978.
- [3] Electrostatic precipitation, in: K. Yan (Ed.), 11th International Conference on Electrostatic Precipitation, Springer-Verlag GmbH, Berlin Heidelberg, Hangzhou, 2008.
- [4] Y. Zhao, S. Wang, C.P. Nielsen, X. Li, J. Hao, Establishment of a database of emission factors for atmospheric pollutants from Chinese coal-fired power plants, Atmos. Environ. 44 (2010) 1515e1523.
- [5] Q. Yao, S.Q. Li, H.W. Xu, J.K. Zhuo, Q. Song, Studies on formation and control of combustion particulate matter in China: a review, Energy 34 (2009) 1296e1309.



- [6] B. Zhang, R. Wang, K. Yan, Industrial applications of three-phase TR for upgrading ESP performance, in: K. Yan (Ed.), *Electrostatic Precipitation ICESPXI*, Springer-Verlag GmbH, Berlin Heidelberg, Hangzhou, 2008, pp. 276e280.
- [7] J. Ristimäki, A. Virtanen, M. Marjamäki, A. Rostedt, J. Keskinen, On-line measurement of size distribution and effective density of submicron particles, *J. Aerosol Sci.* 33 (2002) 1541e1557.
- [8] X. Li, X. Zhang, J. Zhu, W. Feng, K. Yan, Sensitivity analysis on the maximum ash resistivity in terms of its compositions and gaseous water concentration, *J. Electrostat.* 70 (2012) 83e90.
- [9] J. Ma, Y. Yang, R. Wang, K. Yan, Industrial applications of a new AVC for upgrading ESP to save energy and improve efficiency, in: K. Yan (Ed.), *Electrostatic Precipitation ICESPXI*, Springer-Verlag GmbH, Berlin Heidelberg, Hangzhou, 2008, pp. 281e283.
- [10] P.D. Boyle, G. Paradiso, Demonstration of Three Phase Power Supply for Electrostatic Precipitators, In: *Proceedings of the American Power Conference*, vol. 61-1, Illinois Institute of Technology, Chicago, IL, 1999.