

Elektroničar Maksimilijan Konrad (1924. – 1980.) – znanstvenik i mentor

Sažetak: Maksimilijan Konrad djelovao je u vrijeme pojačanog interesa za nuklearne procese te je najvećim dijelom ostvario rezultate istraživanja u području elektroničke instrumentacije s primjenom u nuklearnim mjerenjima. Bio je jedan od prvih zaposlenika Instituta *Ruđer Bošković* u Zagrebu i zaslužan je za puštanje u rad zagrebačkog ubrzivača – ciklotrona. Na Institutu je vodio Odjel elektronike, čija djelatnost obuhvaća široko područje tema iz nuklearne znanosti i elektroničke instrumentacije. Zajedno sa suradnicima ostvario je brojne znanstveno-istraživačke rezultate i realizirao mnoge elektroničke instrumentacijske sustave koji su u ono vrijeme značili sam vrh istraživanja u svijetu. Uz obilje faktografskih podataka i povezanih tekstova izravno preuzetih (preslikanih) iz navedenih izvora, u članku su posebice izdvojeni neki rezultati rada M. Konrada koji prema mišljenju autora članka daju najbolji uvid u njegov način rada i istraživanja, a koji su mu nedvojbeno donijeli svjetsku prepoznatljivost. To su dubinska analiza i preporuke za optimalno oblikovanje signala iz detektora zračenja, istraživanje i realizacija nekih tipova analogno-digitalnih pretvarača te oblikovanje višekanalnih spektrometrijskih sustava visokog razlučivanja za prihvat i analizu signala iz nuklearnih detektora.

Ključne riječi: ciklotron, elektronika, instrumentacija, mjerenje zračenja, nuklearna znanost

Uvod

Završetkom Drugog svjetskog rata u svijetu je naglo narasla znanstvena znatiželja i potreba za istraživanjem nuklearnih procesa te za razumijevanjem interakcije nuklearnog i drugih zračenja s materijom. Nuklearna znanost usmjerena na istraživanje konstitucije i odnosa atoma, fundamentalnih sastavnica svijeta oko nas, dobila je novi zamah i poticaj.

Krajem 1940-ih u Jugoslaviji su utemeljena tri nuklearna interdisciplinarna instituta. Odlučeno je da Beograd i Ljubljana budu središta reaktorskih istraživanja, a da se u Zagrebu izgradi akcelerator. Posljedično, 1950. godine osnovan je u Zagrebu Institut *RuđerBošković* (u daljnjem tekstu IRB), a godinu kasnije odlučeno je da se izgradi akcelerator – ciklotron po uzoru na slične ciklotrone u UK-u i SAD-u, energije 16 MeV za deuteron, 8 MeV za protone i 32 MeV za alfa-čestice. Ciklotron ubrzava čestice izmjeničnom strujom u koracima po spiralnom putu.

Ciklotron IRB svečano je otvoren 25. listopada 1962. godine. Napori da se dobije vanjski snop ubrzanih čestica bili su neuspješni jer konstrukcija ciklotrona nije omogućavala prikladan deflektor za ekstrakciju snopa. Tek je 1973. izvučen vanjski snop. Kako su u to vrijeme istraživanja u nuklearnoj fizici tražila znatno naprednije snopove, odlučeno je da se zagrebački ciklotron koristi većim dijelom u proizvodnji radioizotopa [1], [2].

U okviru IRB-a, Odjel elektronike bio je od prvih dana uključen u istraživanja i izradu elektroničke instrumentacije oko novoizgrađenog ciklotrona, kao i instrumentacije za potrebe ostalih istraživanja u drugim odjelima na IRB-u, posebice nuklearne eksperimentalne fizike (npr. instrumentacija za mjerenje energetskog spektra zračenja). Odjel elektronike na vrhuncu svojeg djelovanja imao je oko 35 suradnika. To je bila izvanredno uspješna grupa mladih i sposobnih elektroničara. U to doba svi su svjetski istraživački centri sami gradili instrumentaciju za znanstveni rad. Još nije postojala industrija nuklearne i druge instrumentacije te su svi sklopovi i sustavi izrađeni u Odjelu elektronike bili sam vrh svjetskih postignuća na tom području. U današnje su se vrijeme potrebe za njihovom gradnjom unutar znanstvenih institucija uvelike smanjile. Rad Elektroničkog odjela IRB-a na gradnji elektroničke (i druge) instrumentacije u početnom razdoblju IRB-a neprocjenjiv je. Taj se rad ne može ocijeniti samo na osnovi objavljenih radova djelatnika Odjela jer je ugrađen u nebrojene radove drugih istraživača [4].

Bio je to vremenski kontekst i okruženje u kojem je istraživao i djelovao Maksimilijan Konrad, jedan od prvih stalnih zaposlenika IRB-a i dugogodišnji pročelnik Odjela elektronike.

1. Životopis Maksimilijana Konrada [3], [4]

Maksimilijan Konrad rodio se u Zagrebu 21. kolovoza 1924. godine. Otac mu je bio građevinski inženjer. Od 1930. godine Maksimilijan je u Zagrebu pohađao osnovnu, a od 1934. srednju školu (Drugu mušku realnu gimnaziju). Maturirao je u toj gimnaziji 1942. Bio je mobiliziran u Domobranstvo. Vojsku je služio u protuavionskoj artiljerijskoj vojnoj jedinici blizu Zagreba. Kako je



Sl. 1.: Maksimilijan Konrad (1924. –1980.)

mogao povremeno odlaziti u grad, upisao je u jesen 1943. godine studij elektrotehnike na Tehničkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Kako nije mogao izvršavati sve obveze, u to vrijeme nije mogao napredovati u studiju. Neposredno nakon Drugog svjetskog rata odobren mu je u jesen 1945. upis u treći semestar. Proveo je oko jednu godinu u zarobljeništvu i zatim se vratio u Zagreb i nastavio studirati. Na studiju je bio vrlo uspješan i već je 1946. postao demonstrator u Zavodu za fiziku Tehničkog fakulteta, a nakon što je postao apsolvant izabran je za laboranta na istom Zavodu. Maksimilijan Konrad diplomirao je 14. travnja 1949. na smjeru 'slaba struja', slika 2.

Nedugo nakon diplome, iste se godine zaposlio u Radio-centru Hrvatske i bio rukovoditelj njegove tehničke službe. Pokazao se kao izvrstan poznavatelj elektroničkih uređaja, s velikom sposobnošću da ih stavi u ispravan rad ili nadogradi. Te njegove sposobnosti ubrzo su se proćule u širem krugu elektrotehničara te drugih inženjera i znanstvenika.

Kao što je spomenuto, 1950. godine u Zagrebu je odobrena gradnja instituta za područja nuklearnih znanosti, prvotno nazvanog Institut za fiziku JAZU, a kasnije preimenovanog u Institut *Ruđer Bošković* (IRB). Najveća zasluga za gradnju pripada Ivanu Supeku, profesoru i predstojniku Zavoda za teoretsku fiziku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Temeljni problem u uspostavi IRB-a bilo je okupljanje znanstvenika za rad na Institutu jer je visoko školstvo bilo znatno poremećeno od početka Drugog svjetskog rata, a poslije rata još se nije oporavilo. Stoga je i kod nas i u svijetu bio velik nedostatak visokokvalificiranih ljudi. Profesor Supek tražio je i nalazio mlade sposobne ljude koji su bili izgledni da će se razviti u kvalitetne istraživače u tad kod nas novim znanstvenim disciplinama: nuklearnoj fizici, elektronici, istraživanju radioaktivnosti, radiokemiji, radiomedicini i sl. Tad je Maksimilijan

Jedan od prvih poslova za koji je doktor Konrad bio zadužen nakon povratka iz Engleske (1955.) bilo je sudjelovanje u gradnji ciklotrona u IRB-u. On je riješio dva ključna zadatka na tom ubrzivaču, koji je prema projektu trebao ubrzavati deuterone do energije 16 megaelektronvolta (MeV) i helijeve jezgre (alfa-čestice) do energije 32 MeV. Jedan od njegovih zadataka bila je vrlo precizna stabilizacija magnetskog polja ciklotrona, a drugi konstrukcija, ispitivanje, puštanje u rad i stabilizacija radiofrekventnog oscilatora za visokonaponsku uzбудu ubrzavajućeg polja među elektrodama u ciklotronu (tzv. D-ovima). To je odlično riješio i ti su sustavi služili cijelo vrijeme rada ciklotrona.

Treba istaknuti da je Konrad kao pročelnik Električkog odjela IRB-a vodio razvoj pogona za gradnju nuklearne električke i druge znanstvene instrumentacije svjetske kvalitete za potrebe drugih odjela IRB-a i za niz drugih znanstvenih institucija. Svojim radom postavio je temelje impulsne elektronike u Hrvatskoj. Početno je to bila elektronika s vakuumskim cijevima. Kad su se pojavili tranzistori, odmah je počeo razvoj tranzistorskih sklopova i gradnja tranzistorske instrumentacije. To se ponovilo kad su postali dostupni integrirani tranzistorski sklopovi pa kako su sve sofisticiraniji čipovi dolazili na svjetsko tržište, oni su se nabavljali i ugrađivali u nove uređaje. Nadalje, s pojavom miniračunala i kasnije mikroračunala razvijene su međujedinice za povezivanje različitih mjernih uređaja na računala i napravljeni su programi za automatsko vođenje mjerenja.

Osim velikog i napornog znanstvenog rada i vođenja velikog odjela, Maksimilijan Konrad aktivno je sudjelovao u preddiplomskoj i poslijediplomskoj visokoškolskoj nastavi. Od samog osnutka poslijediplomskih studija, prvotno na IRB-u 1956./1957. u vidu poslijediplomskog tečaja Uvod u nuklearne nauke i njihove primjene, te 1957./1958., kad se taj studij povezuje s nizom fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, 1961./1962. postaje zajednički studij Sveučilišta, IRB-a i drugih znanstvenih instituta, te 1971., kad postaje Sveučilišni poslijediplomski studij. Prema dostupnim podacima, pod njegovim je vodstvom magistriralo 15 i doktoriralo osam električara na Elektrotehničkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu i jedan na Sveučilištu Columbia u SAD-u, od kojih je desetak postiglo svjetski uspješne karijere.

Za svoj znanstveni rad dobio je mnoga priznanja: znanstveni suradnik 1957., viši znanstveni suradnik 1963., znanstveni savjetnik 1966., Nagradu za znanstveni rad *Nikola Tesla* 1964, suradnik na Sveučilištu Columbia u SAD-u (1965. – 1968.), Orden rada sa zlatnim vijencem 1962., a 1975. izabran je za izvanrednog člana JAZU (današnje HAZU).

Nažalost, Maksimilijan Konrad iznenada je preminuo 1980. godine u punom naponu radne sposobnosti. Svjetska stručna i znanstvena zajednica tako je ostala uskraćena za njegove još mnoge potencijalno vrlo uspješne doprinose.

2. Ključna područja znanstvenog i stručnog rada Maksimilijana Konrada

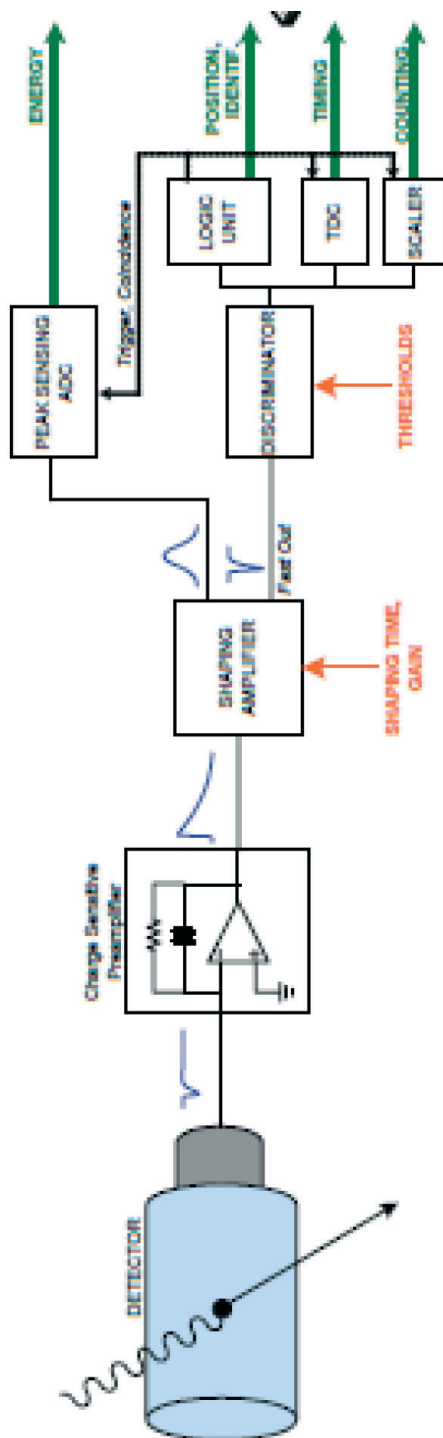
Znanstveni i stručni rad Maksimilijana Konrada obuhvaća široko područje tema iz nuklearne znanosti i elektroničke instrumentacije. Tijekom rada na doktorskoj disertaciji u Birminghamu ostvario je mjerenja impulsnih valnih oblika u frekvencijskom pojasu preko 1 GHz [4]. Samostalno je razvio mjerni uređaj temeljen na izvornoj metodi mjerenja uzoraka (engl. *sampling*), što je bio pionirski rad u ono vrijeme. Metoda se temelji na dodavanju i oduzimanju kratkog (1 ns) impulsa stalne amplitude s vremenskim pomakom. Mjerenja su se obavljala u snažnom električnom polju ciklotrona (preko 1 MV/m), dok je struja snopa iznosila tek oko 10 mA. Ta je istraživanja (metoda mjerenja, valni oblici ciklotronskog snopa, teorija ionskog ubrzavanja), opisao u nizu radova koji su bili vrlo zapaženi u svijetu.

Konrad nakon povratka na IRB tijekom 1955. počinje raditi na projektiranju, izvedbi i stavljanju u pogon ciklotrona u Zagrebu. Pod njegovim je vodstvom ostvaren uređaj za stabilizaciju struje magneta ciklotrona te je stavljen u pogon visokofrekventni sustav. Ipak, temeljna aktivnost Maksimilijana Konrada vezana je uz elektroničku instrumentaciju.

Široko područje elektroničke instrumentacije koje je bilo u središtu istraživanja Maksimilijana Konrada obuhvaćalo je u najvećoj mjeri mjerne sustave i detekcijske metode. Neka su od tih istraživanja: ciklički integratori (osnova današnjih preciznih elektroničkih digitalnih mjernih instrumenata), analogno-digitalni (AD) i vremensko-digitalni pretvarači, višekanalni amplitudni analizatori koincidentnih signala iz više nuklearnih detektora (posebno važno nakon uvođenja poluvodičkih detektora u istraživanjima nuklearnih raspada), oblikovanje ulaznih impulsa za AD pretvarače radi optimizacije u spektrometriji visokog razlučivanja s minimalnim slučajnim varijacijama amplituda, u kojem se pažljivo analizira utjecaj šuma, pribrajanje vremenski bliskih impulsa, utjecaj promjena osnovne naponske linije i drugo te metode za stabilizaciju višekanalnih sustava (radi postizanja suglasnih ishoda dugotrajnih mjerenja).

Nuklearna pulsno-amplitudna spektrometrija visokog razlučivanja bila je u fokusu rada Maksimilijana Konrada, a tako i cijelog Odjela elektronike na IRB-u od samog početka. Blok shema tzv. analognog (tradicijskog) sustava nuklearne spektrometrije prikazuje slika 3. Iako je slika preuzeta iz dokumenta novijeg datuma, svi elementi i njihovo povezivanje u spektrometrijskom lancu odgovaraju sustavima kakvi su se gradili od 1950. do 1970. godine, tj., u vrijeme Konradova rada.

Kratki strujni signal / impuls čiji je vremenski integral proporcionalan energiji čestice iz detektora zračenja dolazi na nabojski osjetljivo pretpojačalo/integrator (engl. *charge sensitive preamplifier*), zatim na pojačalo za optimalno



Sl. 3.: Blokovska shema analognog sustava nuklearne spektrometrije (preuzeto iz: CAEN – Digital Pulse Processing in Nuclear Physics, WP 2081, August 2011.)

oblikovanje impulsa (engl. *sampling amplifier*) te na analogno-digitalni pretvarač (engl. *peak sensing ADC*¹), slika 3. Prihvat zanimljivih impulsa određuju logički sklopovi preko signala okidanja ADC-a (engl. *trigger coincidence*). Brojčana veličina iz ADC-a proporcionalna amplitudi impulsa (energiji čestica) upisuje se u višekanalni analizator (engl. *multi chanel analyzer* – MCA, nije prikazan na slici 3.), u kojem se inkrementira adresa/kanal koji odgovara toj brojčanoj veličini. Prihvat većeg broja impulsa iz detektora povećava sadržaj samo određenih adresa/kanala, gradeći tako spektar promatranog zračenja. Kako je Konrad istraživao i sudjelovao u ostvarenju gotovo svih dijelova sustava prikazanog na slici 3., u nastavku će biti opisani neki njegovi najznačajniji doprinosi.

2.1. Oblikovanje signala iz detektora zračenja [5]

Svako mjerenje impulsa iz detektora zračenja nužno uključuje slučajne pogreške. Napon $E(t)$ čija se amplituda mjeri sastoji se od dvije komponente: $E_j(t)$ napon je koji odgovara naboju q_j iz detektora zračenja, a $E_u(t)$ doprinos je iz svih drugih izvora. Ako se mjerenje izvodi u času T_j , tad je zbog $E_u(T_j)$ pogreška mjerenja naboja $Q_{uj} = E_u(T_j) / K$.

Kako se impulsi iz detektora zračenja pojavljuju slučajno u vremenu, to je Q_{uj} slučajna veličina određena svojom razdiobom vjerojatnosti. Naboj q_j iz detektora također je slučajna veličina, a obje su slučajne veličine statistički neovisne te je mjereni spektar konvolucija ovih dviju funkcija gustoće razdiobe. Konrad je pokazao da se analiza pogreške mjerenja može provesti uz pretpostavku dolaska jednakih impulsa q_1 (funkcija gustoće razdiobe jedinični je impuls). Tako se oblikovanje signala svodi na analizu odziva mreže na jedinični impuls i određivanje optimalne težinske (prijenosne) funkcije sustava s ciljem minimizacije pogreške Q_{uj} . Potrebno je uzeti u obzir tri izvora nestabilnosti: šum, pomak osnovne linije i slučajno pridodavanje drugih impulsa (engl. *pile-up*). Svaka od tih komponenti pogreške utječe na odabir težinske funkcije sustava (oblik i vremenski opseg) na poseban način te se na pitanje “Koja je optimalna težinska funkcija?” ne može odgovoriti načelno. Na pogrešku još utječe učestalost generiranja signala iz detektora zračenja, razdioba naboja impulsa te, konačno, što se želi odrediti mjerenjem. Nakon izračuna srednje vrijednosti i varijance svih triju tipova pogreške ovisno o težinskoj funkciji i statističkim svojstvima slučajno dolazećih impulsa, Konrad je u svojem izvornom istraživanju utvrdio kako je navedeno u nastavku.

Za vrlo niske učestalosti impulsa iz detektora zračenja težinska se funkcija može odabrati tako da minimizira pogrešku generiranu šumom. U tom slučaju

¹ ADC (engl. *analog to digital converter*), analogno-digitalni pretvarač

integracijska konstanta pretpojačala, slika 2., može biti vrlo velika tako da je pogreška zbog pomaka bazne linije zanemariva. Vjerojatnost pridodavanja drugih impulsa (engl. *pile-up*) također je mala. U cilju eliminacije pogreške pomaka bazne linije zbog spore promjene izlaznog napona pojačala (drift, nesavršeno napajanje, filtriranje i sl.) poželjno je oblikovati sklop za obnavljanje bazne linije (engl. *restorer*) s dovoljno velikom vremenskom konstantom kako ne bi došlo do povećanja pogreške generirane šumom. Sklop za obnavljanje bazne linije vremenski je promjenjiva mreža čiji se parametri mijenjaju s ulaznim naponom generiranim impulsima iz detektora zračenja te mijenjaju težinsku funkciju sustava.

Za visoke učestalosti impulsa iz detektora zračenja najveću pažnju potrebno je usmjeriti na pogreške zbog pomaka bazne linije i pridodavanja drugih impulsa te su sklopovi za odbacivanje pridodavanja drugih impulsa i obnavljanje bazne linije bitni. Dodatno, bit će potrebna kompenzacija vremenske konstante pretpojačala. U većini slučajeva širina težinske funkcije mora se smanjiti kako bi se izbjegao prekomjerni gubitak impulsa iz detektora zračenja. Potrebno je postići kompromis između pogreške šuma i drugih slučajnih pogrešaka uključujući statističke pogreške zbog gubitka impulsa iz detektora. Ako se koristi stabilizacija bazne linije ubacivanjem referentnih impulsa, pogreška se značajno smanjuje pod uvjetom konstantne ili slabo promjenjive učestalosti impulsa. Kod pulsniha ubrzivača (akceleratora) učestalost dolazaka čestica brzo se mijenja pa se mijenja i srednja vrijednost pogreške bazne linije. Varijanca te pogreške povećava se i ne može se smanjiti stabilizacijom bazne linije.

Zaključno, način realizacije težinske funkcije sklopova istodobno određuje i svojstva stupnjeva pojačala. U cilju realizacije najboljih performansi cjelovitog sustava, potrebno je simultano razmotriti oblikovanje signala i izvedbu pojačanja.

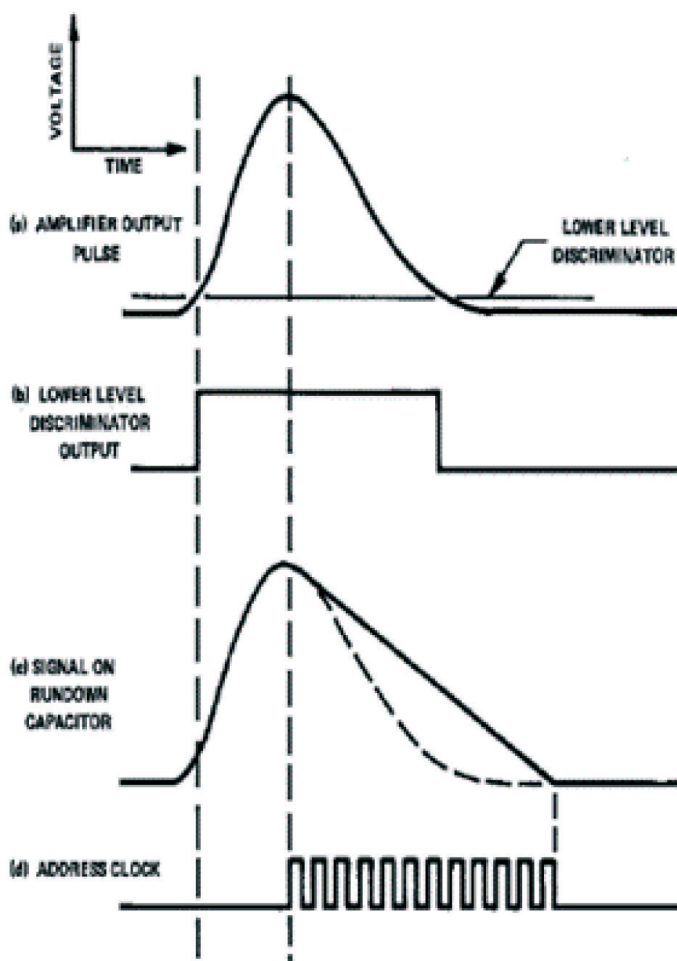
2.2. Prihvat i analiza signala iz detektora zračenja [6]

Doprinos Maksimilijana Konrada u istraživanju i realizaciji prihvata i analize signala iz detektora zračenja kao daljnjih komponenti u lancu sustava za nuklearnu spektrometriju, slika 3., također je značajan. U radu o analogno-digitalnoj (AD) pretvorbi sistematski je opisao osnovne metode rada tih pretvarača (ADC-a), a svrstao ih je u četiri osnovne skupine: izbijanje kondenzatora izvorom stalne struje (Wilkinsonova metoda), impulsno odbijanje naboja iz kondenzatora (najčešće se upotrebljava za amplitudno-frekvencijske pretvorbe), uspořádivanje produljenog impulsa s linearno rastućim naponom (najčešće se upotrebljava uz cirkulirajuće memorije) te metoda sukcesivnih aproksimacija u kojoj se čini niz usporedbi zadržane amplitude ispitivanog impulsa i binarno skalirajućeg standardnog referentnog naponskog izvora V_{REF} . Metoda ADC-a sa

sukcesivnom aproksimacijom vrlo je brz način digitalizacije ispitivane amplitude u kojem se ona izravno pretvara u binarni broj.

ADC Wilkinsonova tipa ima vrlo dobru diferencijsku linearnost te je pogodan za rad u nuklearnoj spektrometriji. Konrad je posebno istraživao ovaj tip ADC-a te o tome objavio više radova. Sam je stalno realizirao nekoliko takvih uređaja s diskretnim komponentama. Ostvareni ADC-i pokazali su izvanredne značajke. Desetak godina nakon smrti Maksimilijana Konrada pokušalo se kopirati njegovu izvedbu ADC-a s modernim, novodostupnim komponentama, no ranije ostvarene karakteristike nisu se mogle nadmašiti.

Načelo rada ADC-a Wilkinsonova tipa prikazuje slika 4. Na apscisi je prikazan protok vremena, a na ordinati napon na pojedinim dijelovima ADC-a.

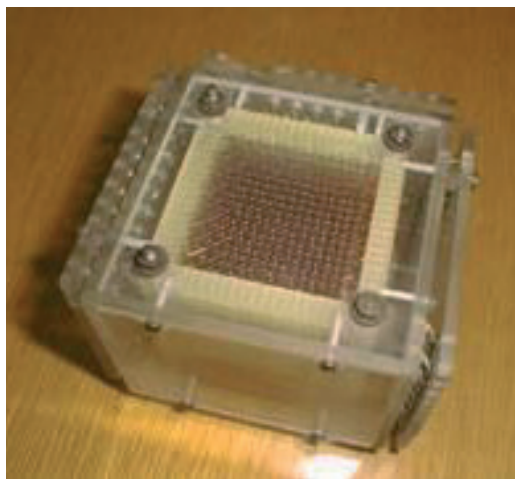


Sl. 4.: Načelo rada ADC-a Wilkinsonova tipa (preuzeto iz ExpMeth_II_03.pdf, National and Kapodistrian University of Athens, Greece, 2007.)

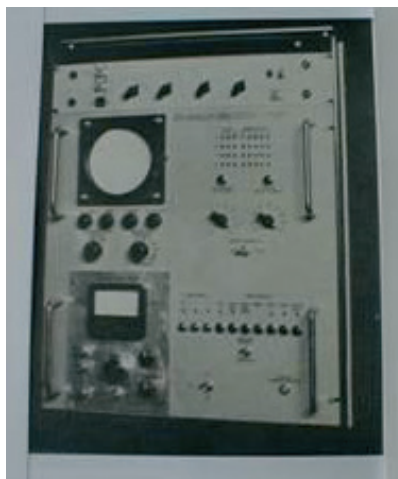
Optimalno oblikovan signal iz pojačala (engl. *amplifier output pulse*) najčešće je oblika koji je nalik na Gaussovu razdiobu, slika 4.(a). Prolazom tog signala preko malog diskriminacijskog praga (engl. *lower level discriminator*), slika 4.(a) i (b), počinje ciklus analogno-digitalne pretvorbe tijekom koje je ADC zatvoren za prihvrat novih signala. Porast prihvaćenog signala puni interni kondenzator do trenutka detekcije vrha. Tom detekcijom počinju dva procesa. Otvara se ulaz u binarno brojilo pravokutnim impulsima iz oscilatora (engl. *address clock*), slika 4(d), i istodobno počinje pražnjenje internog kondenzatora konstantnom strujom (engl. *signal on rundown capacitor*), slika 4.(c). S padom napona kondenzatora i u trenutku prolaza kroz diskriminacijski prag zatvara se daljnji ulaz u brojilo. Broj impulsa zapisan u binarnom brojilu predstavlja vrlo dobru aproksimaciju amplitude ulaznog analognog signala. Sadržaj brojila prenosi se u sljedeći element spektrometrijskog lanca, a to je amplitudni analizator. U nizu stvarnih izvedbi ADC ne posjeduje vlastito brojilo, nego se niz impulsa prenosi izravno u registar amplitudnog analizatora. Time se ubrzava cijeli proces analize jer je ADC ranije spreman za prihvrat novog signala iz pojačala.

Posebna pažnja Maksimilijana Konrada i njegovih suradnika posvećena je amplitudnoj analizi, što je rezultiralo izgradnjom među prvim u svijetu 256-kanalnih analizatora s feritnim jezgricama. Na temelju izgrađenog prototipa realizirano je nekoliko sustava za uporabu na IRB-u te na drugim institutima u zemlji. Amplitudni analizatori odvajaju električne impulse prema veličini njihove amplitude u određeni broj diskretnih veličina – kanala. Broj kanala određen je maksimalnim nizom impulsa iz oscilatora (ili kapacitetom brojila) u analogno-digitalnom pretvaraču te izvedbom memorije analizatora. Opisani analizator prihvaća 8-bitni sadržaj ADC-a te tako ima 256 kanala, slika 5. Svakom kanalu pridružena je riječ od 16 binarnih brojnih mjesta što znači da se u svaku riječ (kanal) može zapisati brojčani sadržaj do 65 535, tj. toliko je moguće kumulirati signala iz ADC-a jednake amplitudne vrijednosti. Približno vrijeme analize jednog signala iz detektora zračenja iznosi $t = (10 + 0,05n)$ ms, gdje je n broj kanala (od 1 do 256) u koji se impuls zapisuje, a 10 ms traje upis u memoriju i pridružene aritmetičke operacije.

Memorija analizatora izvedena s feritnim jezgricama njegov je najznačajniji i najsloženiji dio. Na slici 5. jasno je vidljivo 8-bitno brojilo (2^4 bistabila), tzv. ‘adresni registar’ koji prihvaća impulse iz ADC-a i određuje kanal koji odgovara amplitudi signala iz detektora. Memorija sadrži 16 ravnina, a u svakoj je ravnini 256 feritnih jezgrica. Svakom kanalu pripada u svakoj ravnini po jedna jezgrica te se u svaki kanal može zapisati sadržaj do $2^{16} - 1 = 65535$. Za daljnju obradu sadržaja kanala postoji ‘aritmetički registar’ kapaciteta 16 binarnih mjesta preko kojeg se mogu očitati upisani podaci u numeričkom obliku ili nakon digitalno-analogne pretvorbe prikazati na zaslonu osciloskopa. Fizički izgled memorije s feritnim jezgricama prikazuje slika 6., a realizirani analizator slika 7.



Sl. 6.: Fizički izgled memorije s feritnim jezgricama



Sl. 7.: Izvedeni 256-kanalni analizator.

Na fotografiji analizatora, slika 7., uočava se ADC (lijevo dolje) kao njegov integralni dio. Analogni instrument na ADC-u prikazuje učestalost dolaska signala iz detektora zračenja. Iznad ADC-a nalazi se zaslon osciloskopa za prikaz sadržaja kanala, tj. za prikaz spektra prihvaćenih signala, a desno dio za numerički prikaz. Svim operacijama analizatora upravlja 'programator', slika 7. desno dolje. Program se bira pritiskom na odgovarajuću tipku. Osnovni su programi: ispitivanje, amplitudna analiza, pribrajanje, pisac, vremenska analiza i osciloskop.

Maksimilijan Konrad istraživao je metode stabilizacije cjelokupnog sustava za mjerenje nuklearnog zračenja, a ne samo njegove pojedinačne dijelove. Te se metode primjenjuju za dugotrajna mjerenja u kojima se želi sačuvati visoko energijsko razlučivanje. Konrad je uveo veličinu koja je mjerilo kakvoće stabilizatorskog sustava i na toj osnovi analizirao je tri osnovne vrste amplitudnih stabilizatora: brzinskog, bistabilnog i integracijskog. Njegova je analiza pokazala da je u većini slučajeva integracijski tip najpovoljniji [4].

Zaključak

Maksimilijan Konrad u radu je bio samoprijegoran, strpljiv i ustrajan. Postavljao je visoke zahtjeve za rezultate svojeg rada i rada svojih suradnika. Nije pokušavao naći nedokučivo, idealno a neostvarivo, nego je tražio i vrlo uspješno nalazio stvarna rješenja koja je sam ili sa suradnicima realizirao za primjenu u radnim uvjetima. Taj je način rada prenio i na svoje mnogobrojne suradnike. Svi radovi Maksimilijana Konrada iz područja elektroničke instrumentacije. Nije

zahtijevao da bude suautor i u mnogim radovima svojih suradnika ako sam nije imao bitan udio u radu [4]. Početkom 1970. godine eksponencijalni tehnološki razvitak mikroelektronike, a posljedično pojava računala i sustava temeljenih na računalima, postavili su nove izazove u istraživanju i ostvarivanju mjernih sustava. Taj je izazov Konrad prihvatio s jednakim žarom kao i u ranijem razdoblju elektroničke instrumentacije koja je bila dominantno izvedena s diskretnim komponentama. U početku novog tehnološkog razdoblja sveprisutnih računala Konrad sa suradnicima posvetio je pažnju čvrstom povezivanju mjernih procesa s računalima s ciljem automatizacije i prihvata velike količine podataka te njihove istodobne ili naknadne obrade. Iznenadna smrt zatekla ga je upravo na pragu te digitalne revolucije tijekom koje smo uskraćeni za njegove vizionarske poglede i znanstveno-istraživačke prodore.

Dodatak: Popis znanstvenih i stručnih radova Maksimilijana Konrada

1. M. Konrad: *The Cyclotron Beam Waveform*, Ph. D. Thesis, University of Birmingham, 1955., 103 str.
2. M. Konrad: Equations for the Ion Motion in a Fixed Frequency Cyclotron, *Glasnik mat. fiz. i astr.* 11 (1956) 253.
3. M. Konrad, N. Živković: Instrumentacija za mjerenje jačine i doze radio-aktivnog zračenja, *Atomsko oružje i zaštita* 208, Beograd 1957.
4. M. Konrad: Ion Phase Measurements on the Birmingham Cyclotron, *Rev. Sci. Instr.* 29 (1958) 840.
5. M. Konrad: Ion Phase Measurement Techniques on the Birmingham Cyclotron, *IRE Trans. on Nuclear Science* NS-6 (1959) 35.
6. B. Turko, M. Konrad: Sorting of Two Coincident Pulses According to Their Amplitude, *Nuclear Instr. and Methods* 13 (1961) 29.
7. M. Konrad: Integratori istosmjernih struja s kondenzatorom, *Zbornik radova VI. seminara JUREMA* (1961) 145.
8. M. Konrad: Pulse-Amplitude Multipliers Using Logarithmic Amplitude-to-Time Conversion, *Proc. of the Conf. on Nuclear Electronics*, Beograd, 15-20 May 1961 (1962) 405.
9. M. Konrad: Poboljšanje svojstava integratora kompenzacijom grešaka, *Zbornik materijala VI. konferencije ETAN* (1961) 21.
10. M. Konrad: Response in Electronic Integrator, *J. Electronics and Control* 12 (1962) 517.
11. M. Konrad: Obrada i digitalna registracija impulsnih podataka iz detektora zračenja, *Zbornik radova VII. seminara JUREMA* (1962) 179.
12. M. Konrad: Određivanje kutnih grešaka polarno-koordinatnih osciloskopa iz radialnih odstupanja, *Elektrotehnika* 1 (1963) 3.

13. M. Konrad, B. Souček: Sistem za ispisivanje magnetostruktivne memorije pisačem, *Zbornik materijala VII. konferencije ETAN* (1963) 65.
14. M. Konrad, V. Bonačić: Sistem za dekadsko očitavanje i automatsko numeričko ispisivanje sadržaja magnetostruktivne memorije amplitudnog analizatora, *Zbornik materijala VIII. konferencije ETAN* (1964) 61.
15. M. Konrad, B. Turko: Sistem za selekciju i pretvorbu koincidentnih impulsa, *Zbornik materijala IX. konferencije ETAN* (1965) 84.
16. M. Konrad, B. Turko: Punched Tape Data Sorting Using a 256-Channel Memory, *Elektronika* 4 (1965) 254.
17. M. Konrad: A Simple Decimal Read and Print-out System for Amplitude Analysers with Magnetostrictive Wire Memory, *Coloque International sur les Techniques des Memoires*, Editions Chiron, Paris (1966) 682. 238.
18. M. Konrad: Monostable Circuit Triggered with Pulse Trains, *Int. J. Control* 3 (1966) 275.
19. M. Konrad: Triggering of Cathode or Emitter Coupled Univibrators Connected into a Chain, *Int. J. Control* 3 (1966) 287.
20. I. Brčić, L. Cucančić, K. Čuljat, A. Družeta, A. Dulčić, F. Jović, M. Konrad, G. Smiljanić: Tranzistorizirani analizator amplituda s feritnom memorijom, *Automatika* 5-6 (1967) 261.
21. M. Konrad: Detector Pulse Shaping for High Resolution Spectroscopy, *IEEE Trans. on Nuclear Science* NS-15 (1968) 268.
22. M. Konrad: Statistical Errors of Direct Pulse Rate Ratio Measurement, *Proc. Ispra Nuclear Electronics Symposium*, Brussels (1969) 349.
23. M. Konrad: A Comparison of Pulse Height Spectrometer Stabiliser Systems, *Semi-conductor Nuclear Particle Detectors and Circuits*, National Academy of Sciences, Washington DC, Publ. 1594 (1969) 731.
24. F. Jović, M. Konrad: Functional Units of an Interface System, *Proceedings of the Fourth International Meeting on Electronics and Automation*, Herceg Novi (1969) 109.
25. M. Konrad: A Comparison of A-D Conversion Methods, *Proc. Fifth Int. Summer School on Electronics and Automation*, Herceg Novi (1970) 75.
26. N. Bogunović, M. Konrad: The Realisation of Univibrators, Delays and Differentiation Using Integrated Circuits, *Proc. Fifth. Int. Summer School on Electronic and Automation*, Herceg Novi (1970) 127.
27. N. Bogunović, F. Jović, M. Konrad: Zapisivanje koincidentnih podataka s analognog-digitalnih pretvarača, *Elektrotehnika* 2 (1971) 81.
28. F. Jović, M. Konrad: Generiranje vremenski programiranih pulseva u on-line sistemima, *Elektrotehnika* 4 (1972) 305.
29. M. Deletis, M. Konrad: Direktni upis programa s papirnate trake u memoriju procesnog računala, *Elektrotehnika* 1 (1972) 9.
30. N. Bogunović, F. Jović, M. Konrad, Ž. Posavec: Sistem za 3D registraciju podataka nuklearnih eksperimenata, *Zbornik radova V. kongresa matematičara, fizičara i astronoma Jugoslavije* II (1972) 129.
31. M. Konrad: Utjecaj spojnog kabela na točnost indukcionih konduktometara, *Zbornik radova XVI. simpozija ETAN u pomorstvu* (1974) 151.

32. M. Konrad: Registracija parametara mora na magnetsku traku, *Zbornik radova XVII. Simpozija ETAN u pomorstvu*, Zadar (1975) 108.
33. M. Konrad: Težinske funkcije za mjerenje neutronskega toka i njegove brzine promjene, *Elektrotehnika* 2-3 (1976) 107-239.
34. D. Gamberger, M. Konrad: Sistem za registraciju parametara mora na magnetske kazete, *Zbornik radova XIX. Simpozija ETAN u pomorstvu*, Zadar (1977) 454.
35. M. Konrad: Automatizacija mjerenja, *Zbornik radova JUREMA* 23 (1978) 3.
36. N. Bogunović, M. Konrad: Uloga mikroprocesora u mjernoj instrumentaciji, *Zbornik radova XX. Simpozija ETAN u pomorstvu* (1978) 2, 412.
37. D. Gamberger, M. Konrad: Realizacija upravljačkih sklopova poluvodičkim memorijama, *Zbornik radova XX. Simpozija ETAN u pomorstvu* (1978) 2, 328; *Elektrotehnika* XXII, 3-6 (1978) 174.
38. L. Cucančić, D. Divić, M. Konrad: Sistem za zapis parametara okoliša mikroprocesorom, *Zbornik radova XX. Simpozija ETAN u pomorstvu* (1978) 2, 353; *Elektrotehnika* XXII, 3-6 (1978) 167.
39. M. Konrad: Vremenski promjenljiv RC filter za uzimanje uzoraka s bijelim šumom, *Zbornik referatov na VIII. Jugoslavenskom simpoziju za meritve in merilno opremo* (1978) 1, 263.
40. M. Konrad: Samobaždarenje mjernih uređaja, *Zbornik radova JUREMA* 24, 3 (1979).
41. L. Cucančić, N. Bogunović, M. Konrad: On some Dynamic Properties of EPROM Programming, MINI 79, Zürich, *Eigth International Symposium Mini and Microcomputer*, Acta Press, Zürich (1979) 162.
42. M. Konrad: Pouzdanost mjernih rezultata kod redundantnih struktura, *Zbornik radova JUREMA*, Zagreb, 25, 2 (1980).
43. D. Gamberger, M. Jelavić, M. Konrad: Sklopovska i mikroprocesorska realizacija sistema za zapis parametara mora, *Zbornik radova XXIV. simpozija ETAN u pomorstvu*, Zadar, (1980) 344.

Važnije interne publikacije Maksimilijana Konrada

1. T. Bosanac, M. Konrad, M. Lažanski, V. Lopašić: *Projekt zagrebačkog ciklotrona*, IRB, 1953.
2. Z. Herceg, M. Konrad, B. Leskovar: *Oscilatorski sistem ciklotrona*, IRB, 1958.
3. B. Leskovar, M. Konrad: *Stabilizacija magneta zagrebačkog ciklotrona*, IRB, 1958.
4. T. Rabuzin, M. Konrad: *Uređaji za mjerenje zračenja I, II i III*, IRB, 1959.
5. M. Konrad, A. Hrisoho, G. Smiljanić, B. Souček, G. Szavits: *Uređaj za mjerenja zračenja IV*, IRB 1963.
6. M. Konrad, A. Hrisoho, P. Slapničar, G. Smiljanić, B. Souček, B. Turko: *256-kanalni amplitudni analizator s feritnom memorijom*, IRB 1963.
7. M. Konrad: Analogue-to-Digital Stabilizers, NPL, Columbia University, N. Y., Progress Report, AEC Contract AT (30-1), 1967, 153.

8. M. Konrad, Ž. Posavec: *Tranzistorizirani analogno-digitalni pretvarač*, IRB 1970.
9. M. Konrad, L. Cucančić, M. Deletis, Ž. Posavec: *2048-kanalni amplitudni analizator s PDP-8/I računalom*, IRB 1971.
10. N. Bogunović, D. Gamberger, M. Konrad: *Sistem za zapis parametara vjetra*, IRB, 1977.
11. M. Konrad: *Programator za automatizaciju mjerenja i upravljanje procesima*, IRB, 1973.
12. N. Bogunović, M. Konrad, I. Marić: *Automatski izvor napajanja*, IRB, 1980.
13. M. Jelavić, M. Konrad: *Sklopovski "stack"*, IRB, 1980.
14. M. Jelavić, M. Konrad: *Mikroprocesorska realizacija sistema za zapis parametara mora*, IRB, 1980.

Izvori

- [1] D. Rendić: Gradnja instrumentacije i razvoj eksperimentalne fizike u nas, *Ruđer*, Vol. 7, Broj 5/6, 2006. str 3-7.
- [2] I. Šlaus: Neutronske generatore u Institutu Ruđer Bošković – istraživanja u nuklearnoj fizici, *Ruđer*, Vol. 7, Broj 5/6, 2006. str 8-13.
- [3] Ksenofont Ilakovac, Branko Hanžek: Maksimilijan Konrad (1924. – 1980.), svjetski poznati električar, *Godišnjak njemačke zajednice*, DG Jahrbuch, Vol. 24, 2017. str. 231-242.
- [4] Ksenofont Ilakovac, Branko Souček: Maksimilijan Konrad (1924. – 1980.), *Spoimenica preminulim akademikima*, JAZU, 1985, ur. Vilko Niče.
- [5] M. Konrad: Detector Pulse Shaping for High Resolution Spectroscopy, *IEEE Trans. on Nuclear Science* NS-15 (1968) 268.
- [6] I. Brčić, L. Cucančić, K. Čuljat, A. Družeta, A. Dulčić, F. Jović, M. Konrad, G. Smiljanić: Tranzistorizirani analizator amplituda s feritnom memorijom, *Automatika* 5-6 (1967) 261.

Electronics specialist Maksimilijan Konrad (1924 – 1980) – scientist and mentor

Nikola Bogunović

Abstract: Professional activity of Maksimilijan Konrad encompassed the period of heightened interest in nuclear processes. He has accomplished notable results in the field of electronic instrumentation with focused application to nuclear measurement processes. He was one of the first employ-

ees at *Ruđer Bošković* Institute in Zagreb and was meritorious for putting into operation cyclotron accelerator in Zagreb. At the Institute he was the Head of Electronics division with activities that covered wide spectrum of topics from nuclear science and electronic instrumentation. Together with his associates he has accomplished numerous basic scientific and applied research results that, at that time, represented the very top world-wide achievements. The paper presents abundance of facts co-opted directly from named reference sources. In addition, the paper depicts some sorted accomplishments of M. Konrad that, by subjective judgement of paper author offer the best insight into his style of research and which have undeniably brought him world-wide recognition. These are: thorough analysis and recommendations for optimal detector pulse shaping for high resolution nuclear spectroscopy, research and realization of several types Analog to Digital Converters and the study and design of multichannel high-resolution spectrometric systems for acquisition and analysis of signals from nuclear radiation detectors.

Keywords: nuclear science, radiation measurement, electronics, instrumentation, cyclotron