



ТРЕТИ КОНГРЕС ПО ФИЗИЧЕСКИ НАУКИ

ИСТОРИЯ НА ФИЗИКАТА

СЕКЦИЯ

29 септември 2016 – 2 октомври 2016 г.

Приноси на физиката в изследванията и технологичното развитие на кварца и кварцовите прибори в България

Л. Спасов

Институт по физика на твърдото тяло “Академик Георги Наджаков” – БАН
lozan_spassov@abv.bg

Докладът е посветен в памет на видния български физик академик Милко Борисов, който полага основите на акустоелектрониката в България и обучава няколко поколения изследователи, по случай 95 години от рождението му.



1. Увод

Още през 60-те години на миналия век в перспективните планове за развитие на радиоелектронната промишленост на България е заложено построяването на два завода за професионална апаратура: Завода за ултракъсовълнови (УКВ) радиостанции – гр. Гоце Делчев и Завода за радионавигационна апаратура – Варна. Продукцията им е предназначена както за вътрешния, така и за външните пазари, главно за СССР. И за двата завода са необходими кварцови резонатори и филтри, които са основен градивен елемент в радиоелектронната промишленост. Нарастват и вътрешните потребности на страната от кварцови резонатори за специалната радиоелектроника и отбранителната ни промишленост.

През месец септември 1965 година е внесено предложение и през месец декември същата година излиза решение на Министерския съвет за преобразуване на “Завода за силови полупроводникови прибори” (бившата Батерийна фабрика) – София в “Завод за електронни преобразователни елементи”(ЗЕПЕ) като в производствената му програма е включено производство на кварцови резонатори за нуждите на радиоелектронната промишленост на страната [2].

2. Първи стъпки

По техническо задание от СО РЕСПРОМ – София, на Базата за развитие и внедряване (БРВ) към ЗЕПЕ е възложено разработката и усвояването в производство на серия от кварцови резонатори и филтри за УКВ радиостанции [3]. Създадена е проблемна група от трима млади физици: Лозан Спасов, Румяна Таргова и Райна Попова-Захариева, двама техници Любо Сиклунов и Цветан Предов и един стъклодув Ангел Леков.

По това време в България няма подготвени кадри и технологичен опит в производството на кварцови резонатори. Известни познанията за пиезоелектричния кварц и кварцовите преобразователи студентите по физика получаваха от лекциите на проф. Г. Наджакков в курса по Опитна физика във Физическия факултет на СУ "Климент Охридски". Но те бяха недостатъчни.

Необходимо бе изучаване на един сериозен, не лек раздел от физиката на твърдото тяло, свързан с възбуждането и разпространението на акустични вълни в пиезоелектрични кристали и сериозна технологична подготовка.

Едновременно с подготовката си специалистите от БТР трябваше да проектират, изработват и предават на Института по радиоелектроника (ИРЕ) на СО РЕСПРОМ опитни образци на кварцови резонатори за влагане в новите им разработки.

При много примитивни условия и при липса на специализирано оборудване през 1966 година в бараките на БРВ край Панчарево са изработени първите кварцови резонатори в България за 8000 kHz. Те бяха предназначени за първия наш хибриден 10-канален радио-телефон РТ-21-10 и неговата модификация РТ-21-1 (едноканален), разработени под ръководството на талантливия наш конструктор Петър Хинков в ИРЕ. Тези радиотелефони по-късно намериха широк прием в селското стопанство на СССР и бяха реализирани в огромни количества.

През следващите 1967 – 1970 години са завършени разработките и на други кварцови резонатори за 8050 kHz и 10 000 kHz, влезли в разработката на серия от радиостанции РСД (радиостанция джобна) с АМ и ЧМ предназначени за персонална връзка в инфраструктурата на страната и в специалните ведомства.

3. Доставка, монтаж и пускане в експлоатация на линия за производство на кварцови резонатори

Междувременно на 22 юли 1967 година е направена първата копка на строителството на новия Завод за електронни преобразователни елементи в София – Горубляне [3].

Година по-късно след тежки преговори в Машиноекспорт – София е подписан договор с Техмашекспорт – Москва за доставка на оборудване за производство на кварцови резонатори с капацитет 150 хиляди броя годишно на стойност 642 хиляди рубли [3].

През 1970 година линията за производство на кварцови резонатори е доставена от Съветския съюз и с помощта на няколко съветски специалисти е пусната в действие.

Подписан е и договор (Л-8/313) за обучение на 30 наши специалисти в техни заводи, но по-късно поради специалния режим при производството на кварцови резонатори в СССР (засекретено) обучението категорично е отказано [3]. Това налага България със собствени сили да реши проблема с подготовката на специалисти и квалификацията на производствения персонал.

В завода постъпват млади специалисти, току що завършили физици, химици, радиоинженери и техници. Проблемната група по “Кварцови прибори” увеличава своя състав и е преобразувана като “Конструктивно и технологично бюро” за разработка и внедряване на кварцови резонатори и филтри. Специалистите вече притежават комплексна линия за технологични изследвания и контролно-измерителни апаратури за тестване на кварцови резонатори, но все още недостатъчна подготовка и квалификация за развойна дейност.

За подготовка на специалисти за нуждите на ЗЕПЕ има изключителна заслуга професор Милко Борисов. Той се заема и организира вечерен курс за следдипломна квалификация на специалисти от ЗЕПЕ по избрани въпроси от “Увод във физика на твърдото тяло”, а по-късно и курс по “Акустични и оптични вълни в твърди тела”.

В продължение на повече от две години всички специалисти от БРВ (физици, химици и радиоинженери) след завършване на работния ден вечер, два пъти седмично отиват във Физическия факултет на Софийския университет да слушат лекциите на проф. Милко Борисов. Така, успоредно с обучението във Физическия факултет на СУ, се разработват и усвояват резонатори за нови честотни интервали по технически задания на потребителите.

4. Проектно-конструкторски и технологични разработки и внедряване

През периода 1971 – 1975 година за нуждите на радиоелектронната ни промишленост в БРВ успешно са завършени и внедрени в производство няколко десетки проектно-конструкторски и технологични разработки на кварцови резонатори.

С това е разширен честотния диапазон за производство на кварцови резонатори от 200 kHz до 350 kHz DT и CT- срезове с контурни трептения на пиезоелемента [5] и кварцови резонатори AT-срез с лещовидни и плоско-паралелни пиезоелементи, покриващи целия диапазон от 1 MHz до 100 MHz.

Успешно са разработени и усвоени в производство нови изделия: SSB кварцови филтри на 1,7 MHz и 5 MHz с обемен монтаж за специални радиостанции за нуждите на Министерството на народната отбрана [11, 12].

През 70-те и особено през 80-те години на миналия век служебните УКВ радиостанции в България получават голямо развитие. Служебните УКВ радиостанции имат двойно предназначение. Те се използват и за специални нужди в Министерството на вътрешните работи (МВР), Министерството на народната отбрана (МНО), Гражданска отбрана, строителството и др. Върху специалистите от развойните звена възложена цялата отговорност по замяната на вносните градивни елементи и специфични материали с български. Това в

особена сила се отнася за кварцовите прибори за честотен контрол, които се разработват и произвеждат в ЗЕПЕ за нуждите на специалната електроника. Физиците от БРВ успешно се справят с високо отговорната задача. Произведените в ЗЕПЕ кварцови резонатори напълно удовлетворяват предявените към тях тежки изисквания на Военния стандарт по отношение на механични натоварвания, климатична и радиационна издръжливост, надеждност и дълговременна стабилност [6].

5. Усвояване производството на монолитни кварцови филтри в България

Друг важен електронен елемент в УКВ радиостанции е кварцовия филтър за селекция на работния честотен интервал в приемно-предавателните апаратури. С особена сила това се отнася за многоканалните УКВ станции. Потребностите на страната до 1976 година се задоволяват чрез внос на кварцови филтри с обемен монтаж предимно от западни фирми.

През 1973 година сътрудника от БРВ на ЗЕПЕ Лозан Спасов специализира в Института за промишлени науки на Токийския университет Япония, в лабораторията на световно известния учен в областта на кварцовите прибори за честотен контрол и селекция, професор Морио Оное.

Темата по която работи “Много режимни кварцови резонатори” е основата на която се развиват т.н. “монолитни кварцови филтри” (МКФ), по-късно намерили широко приложение във всички многоканални УКВ радиосистеми [7, 8].

Много режимните (много модовите) резонатори се характеризират с това, че върху една кварцова пластина са реализирани два или повече резонатора, между които съществува контролирана акустична връзка.

Тази структура дава възможност да се филтрира радио честотния спектър, като пропуска само определена лента от него. Ширината на лентата на пропускане зависи от големината на акустичната връзка между двата резонатора. Това е първата и за сега все още единствена интегрална акустоелектронна структура, известна като “монолитен кварцов филтър”, която сама изпълнява определени функции в радио-съобщителните устройства, без участие на други пасивни или активни електронни елементи.

След завръщането си в България организира за специалистите от БРВ и завода курс за квалификация по “Физически основи на монолитните кварцови филтри” и обосновава предложение за ускорено усвояване производството на монолитни кварцови филтри, като ново поколение в акустоелектронните прибори.

През 1974 година е сключен договор за доставка на специализирано оборудване и технология за производство на монолитни кварцови филтри с Японската фирма “Кинсекиша Лаб.”

Две години по-късно оборудването е доставено и екип от специалисти под негово ръководство 8 месеца предсрочно пуска линията за производство на монолитни кварцови филтри [9].

Една част от първите произведени количества са изнесени във Франция, а останалата за нуждите на различни потребители в страната. През следващите години производството на Завода за УКВ радиотелефони в Гоце Делчев силно нараства и вече голямо количество от производство на монолитните кварцови филтри е насочено предимно към задоволяване на неговите потребности.

С усвояването на МКФ производството на кварцови прибори в Завода за електронни преобразователни елементи непрекъснато расте. За периода от 1971 до 1979 година то възлиза на 2,000 хиляди броя [3].

Още в началото на 70-те години колектив под ръководството на проф. М. Борисов по договор с Института по полупроводници – Ботевград към МЕ, прави обширно проучване върху перспективата за развитие на ново направление в електрониката т.н. “Функционална електроника”. След направеното проучване в проф. М. Борисов и част от колектива се поражда интерес към твърдотелната електроника. Организираното вече промишлено производство на кварцови прибори в България и появилата се трайна перспектива в тяхното развитие засилва интереса на професор М. Борисов и към твърдотелната микровълнова електроника – акустоелектрониката.

През 1973 година по негова инициатива между Единния център по физика (ЕЦФ) при БАН и “Завода за електронни преобразователни елементи” – София е подписан “Договор за научно обслужване и подготовка на кадри” за нуждите на кварцовото производство. Под ръководството на академик М. Борисов е подготвена и съгласувана “Програма за научно сътрудничество и взаимопомощ” в областта на акустоелектрониката между “Института по физика на твърдото тяло” при БАН, Физическия факултет на СУ “Кл. Охридски” и ЗЕПЕ (с БРВ).

Академик М. Борисов:

- За подготовка на специалисти за нуждите на ЗЕПЕ въвежда редовен курс за студенти по физика по “Увод във физиката на твърдото тяло” във ФзФ на СУ “Кл. Охридски”. Продължава и вечерния курс за следдипломна квалификация на специалисти от ЗЕПЕ по “Акустични и оптични вълни в твърди тела”.
- Насочва асистенти и аспиранти от Физически факултет на СУ към научни и приложни изследвания в областта на кварца и кварцовите прибори.
- Подготвя дипломанти в областта на кварцовите прибори с участието на специалисти от БРВ при ЗЕПЕ
- Организира общи семинари и технически конференции по проблеми свързани са развитието на кварцовите прибори в България.
- Развива сътрудничество в областта на микроакустиката чрез участие на наши и чуждестранни учени и специалисти в Национални и Международни форуми.
- Поставя началото на Международна научно-техническа конференция по Акустоелектроника, организирана от ИФТТ-БАН, ФзФ на СУ и ЗЕПЕ и със съдействието на Министерство на електрониката, която в продължение на почти две десетилетия се провежда в България и събира

учени и специалисти от водещи научни центрове и промишлеността от цял свят.

7. Създаване на лаборатория “Акустоелектроника” в ИФТТ при БАН

С увеличаване на производството на кварцови прибори потребностите на ЗЕПЕ от кварцови кристали силно нарастват. Срещат се затруднения в обезпечаване на производството с основната суровина – синтетични кварцови кристали, доставяни от Съветския съюз, поради нараснало и при тях вътрешно потребление.

За хидротермално израстване на пиезоелектричен кварц, подходящ за производство на кварцови резонатори, западните фирми използват обикновено ломен кварц, доставян от Бразилия, о-в Мадагаскар или Индия. Това България не може да си позволи.

Още през 1976 година ЗЕПЕ прави проучване на възможността за производство на пиезоелектричен кварц на базата на българска суровина. За целта мостри с определени количества от “жилен” кварц са изпратени за оценка на фирми от Япония и Великобритания. Оценката и на двете фирми за изпратените мостри е положителна. Тяхното мнение е, че българската суровина може да се използва за израстване на кварцови кристали за производство на КР, само ако тя отговаря на изпратените мостри, без да специфицира изискванията на които трябва да отговаря. През 1977 година академик М. Борисов създава сектор по “Акустоелектроника и акустооптика” в Института по физика на твърдото тяло при БАН, който по-късно преминава в лаборатория по Акустоелектроника. В него се разработват научноизследователски теми и задачи, свързани с развитието на акустоелектронните прибори и материали. Резултатите от тези изследвания се обсъждат на съвместни семинари и се докладват на специализирани наши и международни конференции.

През 1978 година в ЗЕПЕ-София е сключен договор с английска фирма за доставка на автоклави за промишлено израстване на синтетичен кварц.

Професор М. Борисов поставя задача на лаборатория “Акустоелектроника” в ИФТТ при БАН: “Да се намери български суровинен източник за хидротермално израстване на пиезоелектричен кварц с високи акустически характеристики за производството на кварцови резонатори и филтри”.

В продължение на няколко години в лабораторията по Акустоелектроника на ИФТТ при БАН се провеждат интензивни проучвания на суровини от различни източници, технологични изследвания и кристален растеж за решаване на поставената задача.

- измерителна система за полу промишлено хидротермално израстване на пиезоелектричен кварц [14, 15].
- Съвместно с колеги от Геологическия институт – БАН са проучени суровини от находища с промишлено значение и са изследвани кристалофизическите и кристалохимическите им характеристики [13].
- Проведени са серия от хидротермално израстване на кварцови кристали от различни находища [13, 16].

- Изследвано е влиянието на качеството на суровината и условията на растеж върху акустичните характеристики на кварцовите кристали [17].
- Намерени са условия за хидротермално израстване на кристали с акустически качества сравними с най-добрите образци в света ($Q > 2$ мил.) [18].

В резултат на тези изследвания:

- Определени са изискванията към грануло метричния състав, морфологията и кристалохимичните характеристики на суровината за хидротермално израстване на пиезоелектричен кварц с високи акустични свойства.
- Намерено и блокирано е находище, което според геоложките проучвания, обезпечава суровинната база на завода за над 100 години напред [13].

След 1985 година научноизследователската и технологична дейност на лабораторията по Акустоелектроника в ИФТТ при БАН се насочва към нови направления в развитието на кварцовите прибори. Провеждат се научни и технологични изследвания с приложна насоченост. По поръка на Министерство на отбраната БАН възлага на лаборатория Акустоелектроника в ИФТТ разработка и изследване на:

- Кварцови прибори на повърхнинни акустични вълни (ПАВ) предназначени за радарни установки,
- Пиезоелектрични резонансни кварцови сензори за температура и влага за изграждане на летищни метеорологични комплекси,
- Кварцови сензори за регистрация на токсични замърсявания и контрол на околната среда.

Същевременно на БРВ към завода възложена задача за технологична подготовка за усвояване на кварцови прибори на ПАВ.

В резултат на проведените изследвания в лаборатория Акустоелектроника на ИФТТ при БАН са разработени и произведени първите кварцови генератори [19] и дисперсионни линии на ПАВ [20]. Те веднага са вградени в първата радио локационна станция за откриване на надводни цели и ниско летящи самолети “КАЛИАКРА”, разработена и произведена от Института за Специална електроника на ДСО “Електрон”. Разработването на РЛС КАЛИАКРА представляваше нов етап в развитието на военната радиолокация в нашата страна [4]. След разформироването на военната промишленост в България, разработките са прекратени.

През следващите години силно развитие в лаборатория Акустоелектроника на ИФТТ при БАН получават термо-чувствителните кварцови резонатори, известни като високочувствителни кварцови температурни сензори, експозе за които е представено на Третия конгреса по физика.

8. Равносметката

С усвояване производството на синтетичен кварц от българска суровина, ЗЕПЕ затвори технологичния цикъл на производствената си програма със собствена суровина за производството на:

- Синтетични кварцови кристали, за задоволяване на собствените си потребности и износ.
- Кварцови ламберти, заготовки и пластини – износ по 2-ро направление.
- Кварцови резонатори, монолитни филтри и генератори – главно за Завода за УКВ радиоапаратури, специалното производство и вътрешно потребление в страната.
- Микропроцесорни кварцови резонатори – компютърна и битова електроника.
- Часовникови кварцови резонатори – износ за Съветския съюз.

През 1980 година производството на кварцови прибори нараства на 969 хиляди броя/годишно и достига до 1,945 хиляди броя/годишно през 1985 година [1]. За периода 1980 – 1986 година ЗЕПЕ е направил директен износ на селенови и кварцови прибори за над 91 милиона валутни лева [1].

На базата на български кварцови резонатори и филтри за времето от 1977 година до 1989 година в Стопанския комбинат “Михаил Антонов“ – Гоце Делчев са произведени 600,000 радиостанции. От тях 90% са изнесени в СССР при много голям икономически ефект [4].

- България в края на 80-те години се превърна в една от най-бързо развиващите се страни в Европа в областта на технологичните изследвания и производството на кварцовите кристали и прибори за честотен контрол и третата страна в света (след САЩ и Япония), която усвои промишлено производство на монолитни кварцови филтри – една върхова (ембаргова по това време) технология.
- Резултатите от проведените научни и технологични изследвания в областта на кварца и кварцовите прибори за периода 1972 – 1985 година са докладвани на над 20 престижни научни форуми в Европа, САЩ, Япония и други страни в света и са намерили място в повече от 80 научни и научно-приложни статии, публикувани в специализирани списания у нас и в чужбина.
- Върху получените резултати успешно са защитени 9 кандидатски и една докторска дисертации, от които 3 на специалисти от Базата за развитие и внедряване към ЗЕПЕ.

9. Заключение

Десетки български физици от ЗЕПЕ – Горубляне вложиха своята енергия и труд в развитието и производството на синтетичен кварц и кварцови прибори като:

- конструкции и технолози: д-р Румяна Пушкарлова, д-р Веселин Димитров, Райна Захариева, Коста Поптодоров, Диана Янкова, Момчил Георгиев
- организатори и ръководители на производството: Георги Ботев – зам. Директор на ЗЕПЕ, Дечко Дечев – началник БРВ, Павел Захариев – началник производство, Румяна Таргова – началник цех КР

Те превърнаха ЗЕПЕ (Интеркварц) в перлата на българските електронни елементи.

“Завода в Горубляне – по думите на патриарха на българската физика, академик Г. Наджаков – представлява една модерна българска физическа научно производствена лаборатория”.

Други като: проф.дфн Юлиан Буров, проф.дфн Веселин Страшилов, доц.д-р Климент Брънзалов и още много други физици от катедрите на Физическия факултет на СУ посветиха бъдещото си развитие в областта на мокро акустиката и обучението по физика и извървяха пътя от аспирант до уважавани учени и преподаватели във Физическия факултет на СУ ”Кл.Охридски”, продължавайки делото на акад. Милко Борисов

Трети, като: проф.дфн Димитър Стоянов, проф.дтн Иван Аврамов, доц.д-р Александър Манов, доц.д-р Людмил Константинов, доц.д-р Величка Лазарова, доц.д-р Екатерина Радева, д-р Валентиа Кутепова, д-р Радка Велчева, д-р Юлиан Василев, научните сътрудници Камен Грънчаров, Едуард Йосифов, Виктория Гаджанова Цветан Йорданов и др., продължиха делото на акад. М. Борисов в лаборатория “Акустоелектроника” на ИФТТ и други институти на БАН, продължавайки научните и технологични изследвания и създаване на нови кварцови прибори.

Сред всички тях бе и пишещият настоящите редове.

Всички тези млади хора ги обединяваше и мотивираше интереса към пиезо-електричен кварц и неизчерпаемите му възможности за създаване на нови кварцови прибори.

Раждането, развитието и просперитета на българската акустоелектроника бе резултат от всеотдайния труд и талант на българските физици, в тясното им сътрудничество с техни колеги – химици, радиоелектроници, електроинженери, механици и техници, без които не бе възможно утвърждаването ѝ като нов и значим отрасъл в електронната ни промишленост.

Това бяха хора, които обичаха своята професия, работеха всеотдайно за издигане името на българската наука и просперитета на нашата промишленост.

Те положили основите на акустоелектрониката в България и адаптираха най-високите световни постижения в развитието на пиезоелектричния кварц и кварцовите прибори.

В края на 80-те години България имаше своите високи технологии и не бива да тънат в забрава, както и поколението, което ги създаде, разви и реализира.

Източници

1. Й. Младенов, О. Генчев, И. Димитров, П. Тотев, Панорама на електронната промишленост на България, София (2003) с.79.
2. Разпореждане на Министерски съвет No. 276 от 09.12.1965 г.
3. Г. Ботев, Мемоарни записки (неиздадени).
4. И. Кошинов, Българската специална електроника (1951 – 1989), издателство Водолей, София (2005).
5. Л. Спасов и др., Резонатори кварцови херметизирани за честотен интервал 200 до 750 kHz, Отраслова нормала ОН-50003-71 (1971).
6. Р. Таргова, Л. Спасов и др. Резонатори кварцови херметизирани, Български държавен стандарт БДС-9169-71 (1971).

7. M. Onoe, L. Spassov, An experiment of two Dimensional Monolithic Crystal Filter, Journal Institute of Industrial Science, University of Tokyo, 25(12) 29-31 (1973) Comptes Rendus de l'Academie Bulgare de Sciences, 27 (4) 465-468 (1974).
8. L. Spassov, M. Borissov, Studies on Monolithic Quartz Filters, Bulgarian Journal of Physics, 4(5) 523-532 (1977).
9. Н. Янчев, Л. Спасов, Филтри кварцови лентови за номинална честота 10.7 MHz, Отраслова нормала ОН-0952254-75 (1975).
10. М. Борисов и др.,
11. Н. Янчев, Автореферат на дисертационен труд
12. Н. Янчев, Л. Спасов, Филтри кварцови за еднолентово предаване, Отраслова нормала ОН-0966283-75 (1975).
13. M. Borissov, D. Dechev, E. Yossifov, L. Spassov and I. Batanjiev, Growth of Piezoelectric Quartz Crystals of a New Type of Raw Materials, Comptes Rendus de l'Academie Bulgare de Sciences, 35(6) 761-763 (1982).
14. M. Borissov, M. Valchev, K. Grancharov, D. Dechev, E. Yossifov and L. Spassov, A Pilote Precision Autoclave for Hydrothermal Growth of Quartz Crystals, Bulgarian Journal of Physics 8(6) 614-624 (1981).
15. М. Борисов, М. Вълчев, К. Грънчаров, Е. Йосифов, Л. Спасов, Хидравлично устройство за отваряне на автоклави, Машиностроене (5) 33-34 (1982).
16. M. Borissov, I. Vassilev, D. Dechev, E. Yossifov, L. Spassov, I. Velinov and A. Kunov, Studies on Monoquartzites as a Quartz Nutrient for the Hydrothermal Growth of Piezoelectric Quartz Crystals, Bulgarian Journal of Physics, 8(3) 314-321 (1982).
17. M. Borissov, D. Dechev, V. Kusev, E. Yossifov and L. Spassov, Studies on the Hydrothermal Growth of Piezoelectric Quartz, Bulgarian Journal of Physics 9(4) 353-366 (1982).
18. M. Borissov, L. Spasov, E. Yossifov, K. Grancharov, Studies on Hydrothermal Growth of Piezoelectric Quartz, Proceedings of the 5th Conference on Electromechanical Devices and their Applications (November 1985) Tokyo, Japan.
19. М. Борисов, И. Аврамов, К. Грънчаров, В. Кутепова, Л. Спасов, Генератор с повърхнинни акустични вълни за честота 1025 MHz, Втора научно-техническа конференция с международно участие, Акустоелектроника 85, Пловдив (октомври 1985) 204-207.
20. М. Борисов, Л. Спасов, Е. Йосифов, Е. Радева, К. Грънчаров, В. Кутепова, Проектиране и изработване на закъснителна линия с ПАВ за честотна стабилизация на генератор на 1025 MHz, Втора научно-техническа конференция с международно участие, Акустоелектроника 85, Пловдив (октомври 1985) 199-203.