

Ултразвуков измервател на разстояние

Тук се разглежда приложението на метода при автомобилите – парктроник системи. Основното предназначение на тези устройства, както се разбира от името парктроник (parking assistant), е да помагат при паркиране на автомобила. Всъщност те измерват разстоянието до околни предмети и сигнализират за опасна близост не само при паркиране.

Такива устройства започват да се появяват като добавка към основното оборудване, като постепенно започват да са “задължителни” при автомобилите от висок и среден клас.

Ултразвуков измервател на разстояние

Принципът се основава на измерване на времето, за което се получава отразен сигнал – излъчва се звуков (ултразвук) импулс и се очаква той да се върне.

Най-простите устройства имат само една двойка излъчвател-приемник. Разстоянието се показва със стъпка от 5 или 10 cm, като при критична близост започва да издава предупредителен сигнал, който се усилва (или става “по-тревожен”).

При по-модерните автомобили сензорите са по няколко от всички страни, като на екран може да се види наличието на препятствия около автомобила и също се издава предупредителен сигнал, а вече се извършва и автономно спиране (паркиране).

Ултразвуков измервател на разстояние

Схемотехниката на най-масово използваните устройства не е сложна. Основните проблеми се свеждат до чувствителност, шумоустойчивост и най-вече надеждност. Когато шофьорът няма парктроник в автомобила си внимава повече, но когато се доверява на апаратурата – може да се удари дори в много видимо препятствие.

Както бе споменато по-горе, устройството периодично излъчва звукови импулси и очаква отражението. Освен основният отразен сигнал ще се получат и множество отражения от импулси, излъчени преди това. Те може да “заблудят” устройството. Амплитудата на отразения сигнал е много различна, а това пречи на разграничаването.

Ултразвуков измервател на разстояние

Отразеният сигнал от един вертикален стоманен прът, например на пътен знак, ще е много по-слаб от този от стъклена витрина, макар и на много по-голямо разстояние. Получените отразени сигнали трябва да се обработват и разпознават.

При простите уреди се използва компаратор, и ако сигналът е над зададена стойност се формира импулс. Измерва се времето между излъчването на сигнала и формирания импулс. Разстоянието се изчислява, като се знае скоростта на разпространение на звука и измереното време. Скоростта на звука се променя, но като се има предвид предназначението на устройството, не се правят корекции.

Ултразвуков измервател на разстояние

От таблицата се вижда, че дори в един много широк обхват от температури и влажност, отклонението спрямо средната стойност на разпространение е не-повече от 5%.

Температура Влажност %	-30C° m/s	-20C° m/s	-10C° m/s	0C° m/s	+10C° m/s	+20C° m/s	+30C° m/s
0	312.8	319.2	325.4	331.5	337.5	343.4	349.3
15	—	—	325.4	331.5	337.5	343.4	349.4
30	—	—	325.4	331.5	337.5	343.6	349.8
45	—	—	325.4	331.5	337.6	343.9	350.3
60	—	—	325.4	331.5	337.8	344.1	350.7
75	—	—	325.4	331.6	337.9	344.4	351.1
90	—	—	325.4	331.6	338.0	344.6	351.1

Ултразвуков измервател на разстояние

Като излъчватели и приемници се ползват пиезо-елементи. В някои случаи те са комбинирани, а в други се ползват поотделно. Когато са комбинирани се вземат мерки да не се получи насищане на усилвателя по време на излъчване на импулса.

При използване на отделни предаватели и приемници има възможност няколко приемника да получават сигнала от един предавател, което позволява да се получи по-детайлна картина на обкръжението на автомобила.

Честотата на излъчване е съобразена с резонанса на пиезо-елемента. И тук импулсът трябва да е стръмен и кратък.

Ултразвуков измервател на разстояние

Обикновено импулсът се формира от няколко превключвания (4-6) на резонансната честота – 40-50kHz. След това се “слуша” за отразен сигнал. Формира се нов импулс и отново се слуша.

Времето между импулсите се определя по следния начин. Ако на определено и безопасно разстояние имаме тяло, което много добре отразява звуковите вълни, върнатият от него сигнал може да обърка работата на устройството – отразеният от това тяло предишен импулс да се възприеме като получен от последния. От една страна това може да сигнализира за несъществуващо близко препятствие, а от друга да насити усилвателя и той да “не забележи” реално близко препятствие.

Ултразвуков измервател на разстояние

Все пак над определено разстояние амплитудата на сигнала спада достатъчно, дори и при добро отражение. Ако приемем, че това разстояние е 15 m ще се получи, че честотата на излъчените импулси трябва да е около 10 Hz. При изчисляването се отчита, че звуковите вълни изминават разстоянието двойно – отиват и се връщат.

Основните положения в схемотехниката са:

1. Използват се един или няколко сензора. По-новите схеми са с поне два;
2. Равностойно е приложението на отделни предаватели и приемници и комбинирани приемо-предаватели. Преобладаващи са пиезо-елементите;

Ултразвуков измервател на разстояние

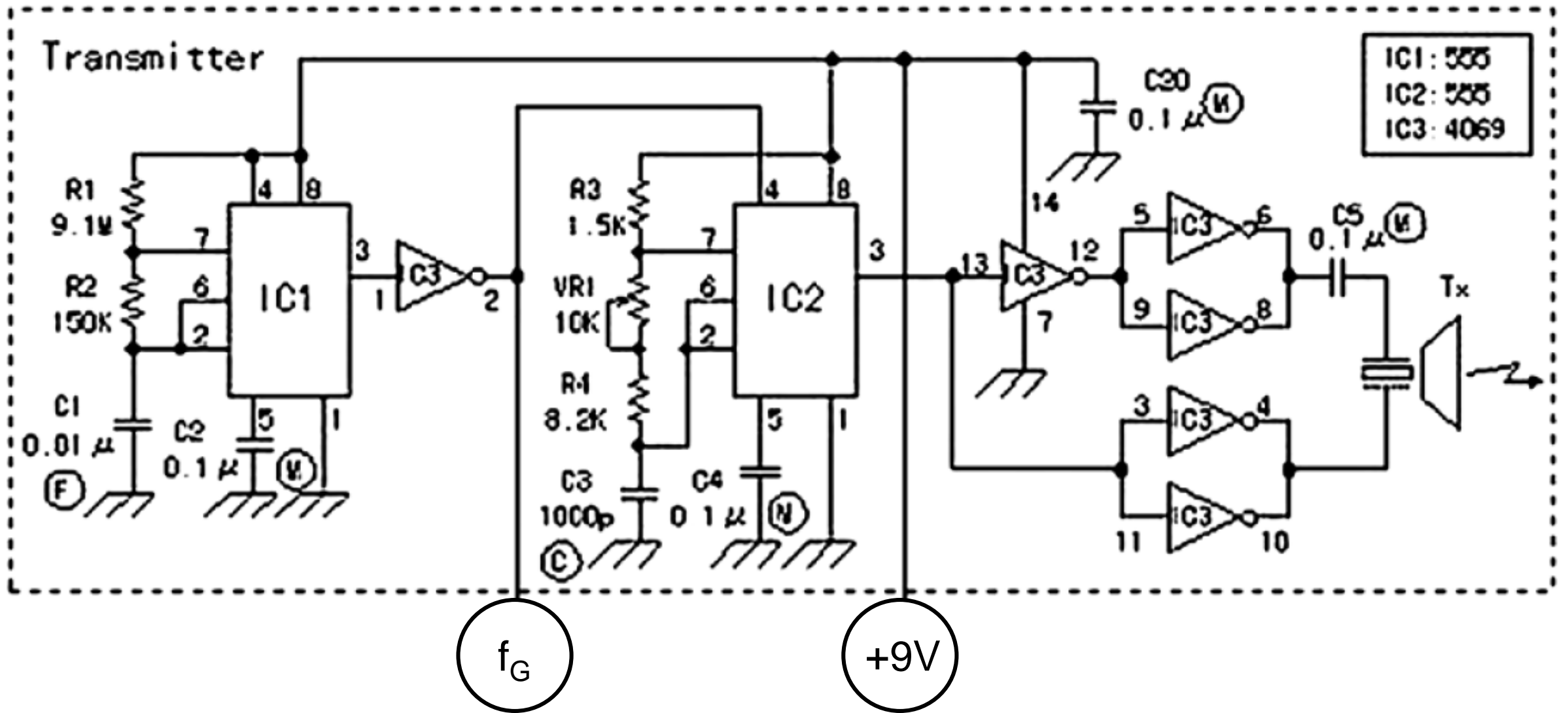
3. По-простите устройства използват един канал за приемане, а сензорите се включват паралелно. Това решение е по-евтино и сигнализира за най-близкото препятствие, но не показва къде е то. При по-скъпите сигналите се обработват поотделно и може да се покажат всички препятствия около автомобила и разстоянието, на което се намират;

4. Има различен подход за изработване на излъчвания импулс. За да има достатъчно мощност се използва умножаване на напрежението – 12V не са достатъчни. При по-сложните се прави отделно захранване.

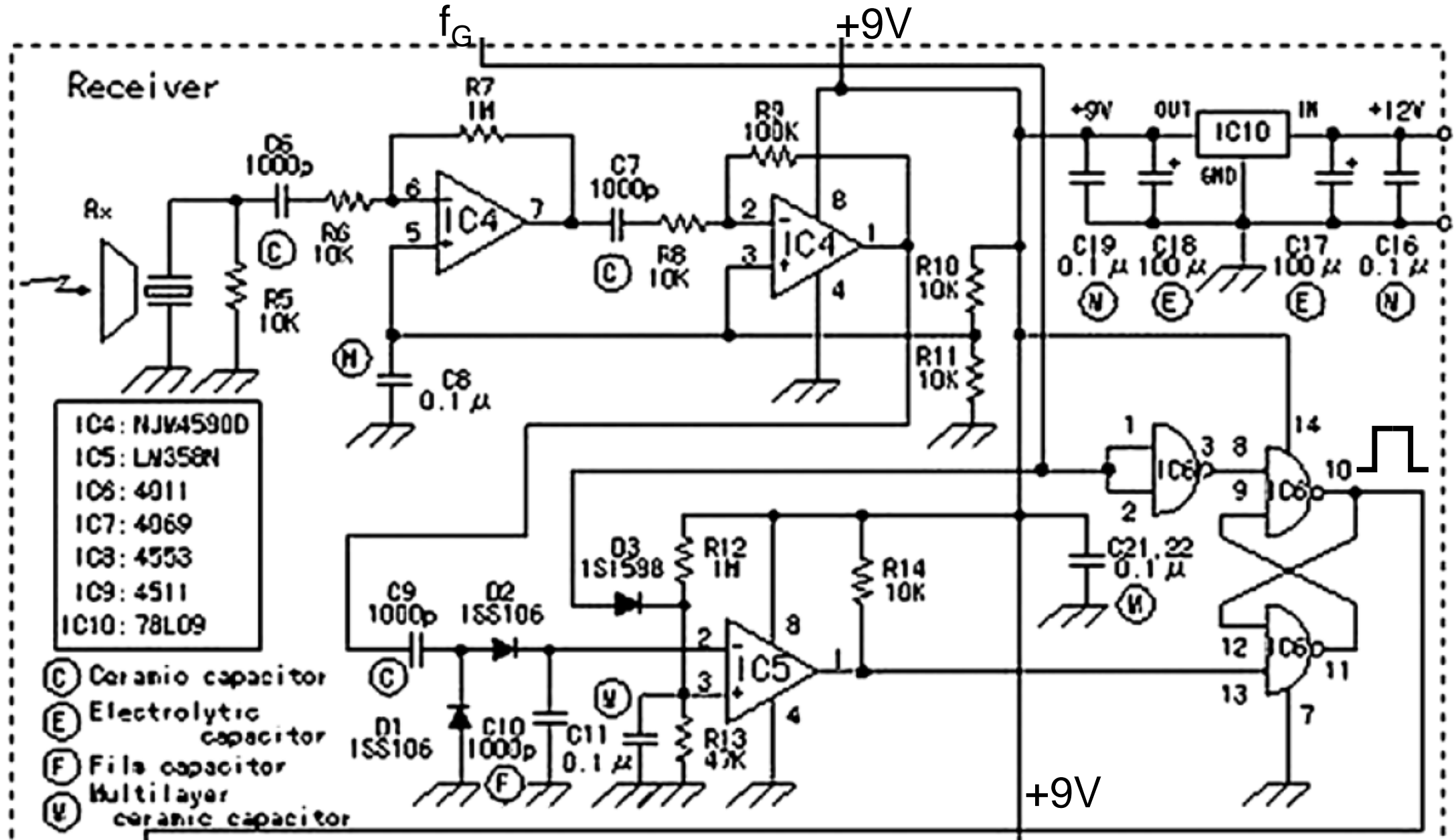
Ултразвуков измервател на разстояние

Представената схема е от най-простите. Включва излъчвател (Transmitter) и приемник (Receiver). Излъчвателят представлява генератор (IC1-LM555) на кратки импулси с честота f_G около 15 Hz и коефициент на запълване около 1:60. Тези кратки импулси се запълват с висока честота – (73 – 150 kHz) от втори генератор (IC2-LM555), която се настройва с VR1 да е равна на резонансната честота на излъчвателя. За по-голям ток към изхода инверторите са включени два по два в паралел.

Ултразвуков измервател на разстояние



Ултразвуков измервател на разстояние



Ултразвуков измервател на разстояние

Приемникът е реализиран с два усилвателя в един корпус – LM358. Усилвателите не са реализирани като филтри. В случая се разчита на пиезо-елемента приемник и на неговите резонансни свойства. За да работи надеждно схемата, приемникът и предавателят трябва да се подбират с характеристики.

Усиленият сигнал се подава на компаратор който се задейства по определено ниво на получения отразен сигнал. При задействане на компаратора се превключва SR тригер. На изхода на SR тригера се получава импулс с продължителност равна на времето от излъчването на импулса до получаване на отразения сигнал.

Ултразвуков измервател на разстояние

В едното състояние SR тригерът се превключва от излъчвателя (през IC3-2), а в другото от компаратора. За да не се получи погрешно задействане от излъчения в това време импулс, компараторът се блокира през диода D3.

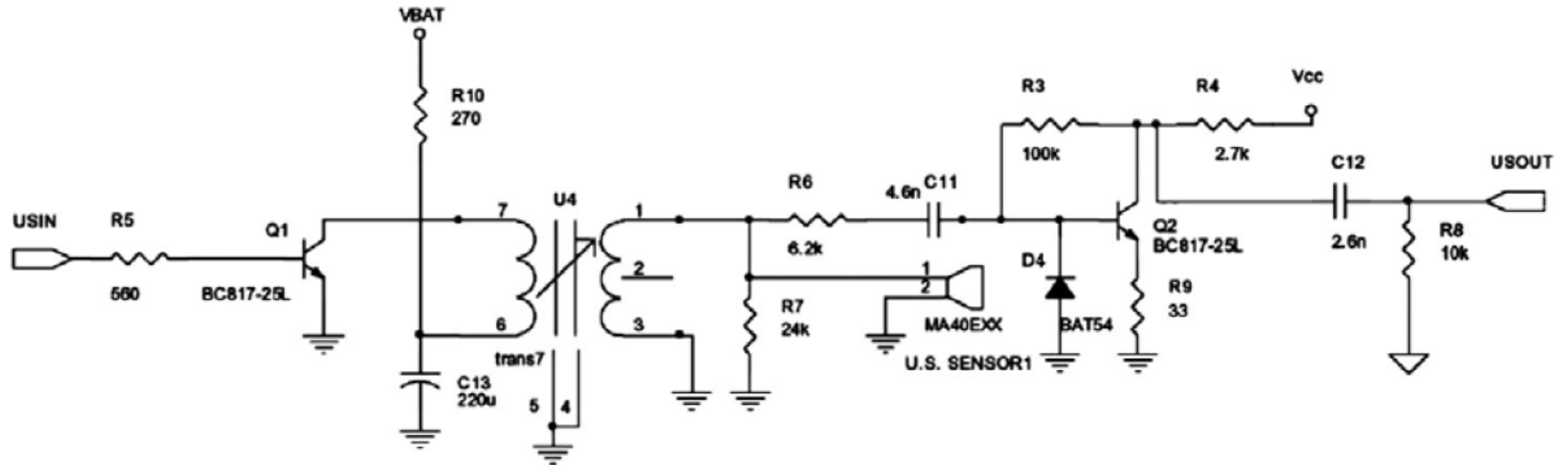
Полученият в изхода на тригера импулс се измерва и показва на индикацията. Честотата с която се запълва импулса се подбира така, че на индикацията да се показва разстояние (с VR2, VR3).

Ултразвуков измервател на разстояние

На следващата схема е показан един от приемо-предавателните модули на устройство с няколко чувствителни зони. Сигналите USIN и USOUT са входове и изходи на микроконтролер. Така всяка от чувствителните зони може да се управлява самостоятелно. Това дава определена гъвкавост на приложението.

Пиезо-елементът е един и работи като излъчвател и приемник. Импулсът, който ще се излъчва се подава от контролера през транзистор на първичната намотка на трансформатор, към който като товар е включен излъчвателят.

Ултразвуков измервател на разстояние



Ултразвуков измервател на разстояние

Сигналът от отражението, получен в същия елемент се усилва от транзисторен усилвател. Взети са мерки (диод D4 BAT54) транзисторът да не се повреди или насити от мощния излъчен импулс. За надеждна работа резонансната честотата на LC веригата, формирана от индуктивността на трансформатора и капацитета на излъчвателя, трябва да се настрои равна на подадената от контролера (около 40 kHz). Тогава размахът на импулсите достига 160 V_{pp}.

Основната грижа за качествена и надеждна работа на устройството се поема от програмното осигуряване – формиране на импулси, приемане, филтриране и изчисление на разстоянието.

Ултразвуков измервател на разстояние

Съществуват подобни устройства за подпомагане при паркиране и на оптичен принцип. При определяне разстоянието те не използват закъснението на отразения сигнал.

Поради огромната скорост на светлината закъснението е много малко – около 1 ns за 15 cm. За да се получи разрешаваща способност на измерването 5 cm, трябва честотата, с която се измерват интервалите да е 3 GHz. Това е възможно със съвременни средства, но е неоправдано скъпо.

Ултразвуков измервател на разстояние

Всъщност става въпрос за любителски (прекалено) устройства, при които по амплитудата на отразения сигнал се регистрира близък обект. Излъчват се два импулса с различна амплитуда. Ако нито един от двата не се приема – всичко е наред, няма опасност. Когато се приема само този, с по-голяма амплитуда, доближили сме се до нещо.

Когато и двата импулса се приемат, сме в опасна близост. Този подход не е лош при стандартни условия – когато паркираме на заден ход в гаража си. Методът много зависи от отражателната способност на обектите – може да алармира за опасност на няколко метра от стъклена витрина или да “пропусне” стоманен стълб.

Електронни дигитайзери

Дигитайзерите са електронни уреди, които служат за въвеждане на координати в компютър. Тези устройства навлизат в ежедневието, като се започне от мобилните телефони, различни игри и се стигне до професионално приложение в анимацията, въвеждане на подписи в документи, медицински изследвания и много други. Независимо от голямото разнообразие на приложенията, принципите на работа са няколко:

- измерване на съпротивление;
- измерване на времеви интервали;
- оптически метод;

Електронни дигитайзери

- капацитивен метод;
- индуктивен метод;
- ултразвуков метод.

Величините, които се измерват, независимо от метода, са напрежение, интервали от време, фаза.

Едно от най-ранните приложения на подобни устройства е за медицински изследвания. От една страна за специфични заболявания, а от друга – за подготовка на летци изпитатели или космонавти. Тези устройства не са точно дигитайзери защото изходната величина не е била цифров код, а изображение на движенията на хартия.

Електронни дигитайзери

Изследваното лице “пише” или рисува със специална писалка и това излиза на плотер. Сравняват се изображенията преди и след натоварвания (в центрофуга) или с отворени и затворени очи, след приложено лечение и т.н. Когато за пръв път са използвани такива устройства не е имало компютри и не е било въведено понятието дигитайзер.

При навлизането на компютърната терминология в българския език, за кратко време се ползва думата “оцифрител”. И в момента в геодезията се използва терминът “Оцифряване на планове и карти” - <http://geodesy.artitectural.com/bg/index.php/home/71-ocifriavane-na-planove>.

В съвременния език се е наложил терминът “дигитализиране”.

Електронни дигитайзери

В случая под оцифряване (дигитализиране) се разбира въвеждането в цифров вид на съществуващи планове и карти на хартиен носител. Това е типичен пример за приложение на дигитайзерите. Дигитайзерът е устройство, с което равнинни фигури се преобразуват в цифров вид (координати) с възможност да се изобразят на екран, чертеж и др. Има дигитайзери и за пространствени координати (3D), с които може да се дигитализират и обемни фигури. Пример за това е лазерното сканиране. В миналото за копиране (при това в мащаб) са се ползвали специални устройства – пантографи. Днес съвсем успешно, с подходящ интерфейс, те се използват като пространствени дигитайзери.

Електронни дигитайзери

Обектът се “опипва” в характерни точки, чиито координати се въвеждат в компютъра. След това с програмното осигуряване се изчислява траекторията на равнинните и на пространствените криви. В повечето от случаите така се използват дигитайзерите – въвеждат се отделни точки и между тях се прекарва линия (права или крива в зависимост от методиката).



Електронни дигитайзери

Това е съществената разлика между дигитайзери и скенери. При скенерите се получава изображение, снимка на обекта. За да може от тази снимка да се получат размери, координати и други параметри, необходими за проектиране или измерване, трябва да се ползва специален софтуер за разпознаване, а и оператор, който да оцени резултата.

В индустрията се ползват измервателни системи за контрол на качеството (трикоординатни измервателни машини), които измерват с точност $1\mu\text{m}$ и по-висока.



Електронни дигитайзери

Разглежданите по-нататък дигитайзери са само за равнинни координати (2D). При повечето от тях координатите се задават с показалец във вид на “писалка” или с устройство, подобно на мишка за компютър с няколко допълнителни бутона.

В същност компютърната мишка е пример за прост дигитайзер. Движенията на ръката се преобразуват в координати и се изобразяват. Преди мишките, за управление на компютъра при работа с графични програми се ползват таблети – вид дигитайзери. Те са много точни, с големи възможности, но и много по-скъпи и тромави в сравнение с мишките, които задоволяват изискванията на офис-програмите.

Електронни дигитайзери

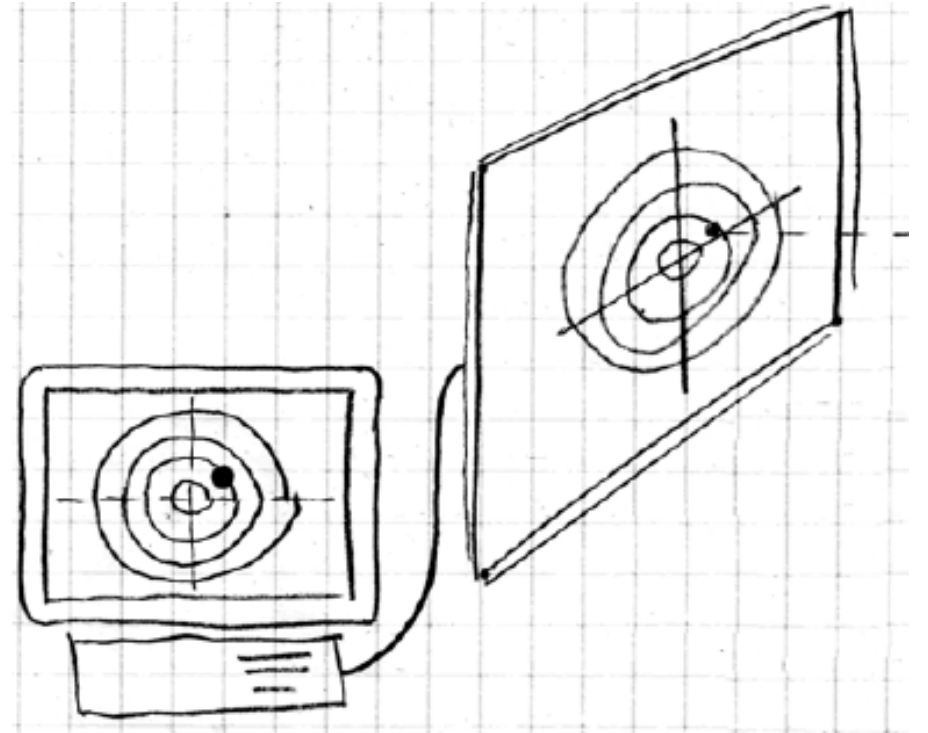
Таблетите продължават да се ползват при сложни програми, за анимация, компютърно изкуство и др. Показаният таблет се използва за работа с продукти като ACAD. Указателят е пластмасова пластина с вградена индуктивност.



Електронни дигитайзери

Ултразвуков метод – измерва се времето за разпространение на звуковите вълни от мястото на показалеца или тялото, предизвикало вълните, до микрофони с предварително известни координати.

Примери за приложението на метода са електронна мишена и интерактивна дъска.



Електронни дигитайзери

Разликата между мишената и интерактивната дъска е в скоростта на разпространение на звука – във въздуха е около 300 m/s, а в металната плоча – 6000, ако е от стомана. При другите метали скоростта варира от 3000 до 12000.

Ако искаме да получим разрешаваща способност на дъската от 0,5mm, която е достатъчна, като се има предвид дебелината на “тебешира” се получава $0,5 / 300000$ или трябва да може да отчитаме $1/600000$ от една секунда. При класическо измерване на време запълващата честота трябва да е по-висока от 600 kHz. Дори и най-евтините микроконтролери работят с тактова честота 1MHz.

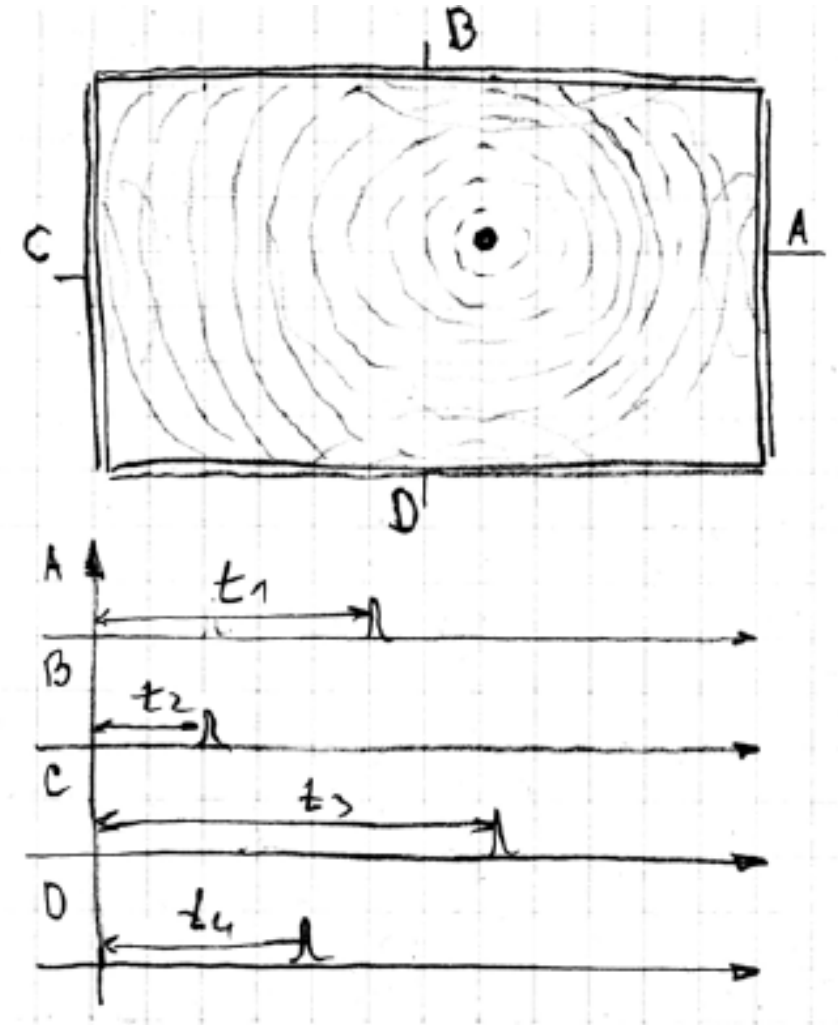
Електронни дигитайзери

При мишената по-голямата скорост на звука изисква по-висока честота. В същото време разрешаващата способност може да е по-малка – най-малките калибри стрелково оръжие са с диаметър 3-4 mm. Така за запълващата честота се получава стойност 10 MHz, напълно постижимо при електронно измерване на време.

Всъщност проблем е да се формират подходящи импулси със стръмен фронт. Във въздуха е по-трудно, но пък при дъските импулсите се повтарят многократно, може да се използва система за АРУ и отчитането на импулса да става при определена стойност. Интерактивните дъски на ултразвуков принцип винаги се калибрират преди ползване.

Електронни дигитайзери

Електронната мишена за огнестрелно оръжие с малък калибър представлява стоманена плоча, която е устойчива на куршуми. На задната страна на плочата и по четирите ѝ страни са поставени микрофони – общо 5. В момента на удара в стоманата се разпространяват ултразвукови вълни, които достигат до микрофоните за различно време в зависимост от координатите на попадението.



Електронни дигитайзери

Като се измерят интервалите от време между импулсите от микрофоните и като се знаят размерите на плочата, може да се изчисли мястото на попадението. То се регистрира и визуализира. При този принцип за по-голяма точност се използват пет микрофона – за решаване на задачата са достатъчни три.

Блоковата схема на електронния измерител включва:

- кондензаторен микрофон;
- усилвател компаратор;
- измервател на интервали от време;
- блок за изчисления, регистрация и визуализация.

Електронни дигитайзери

При мишените качеството на измерване зависи преди всичко от качеството на микрофоните (пиезопреобразувателите).

Кондензаторният микрофон е избран защото е чувствителен към цялата повърхност на плочата и по цялата дължина на страничните ръбове. Ако се ползва пиезо-микрофон, който е много по-чувствителен и евтин, интервалите от време ще зависят от мястото по дължината на страната, на което е разположен микрофонът. Това ще изисква по-сложен софтуер и може да намали разрешаващата способност, но все пак и този вариант се ползва.

Електронни дигитайзери

Интерактивните дъски са тези, които се използват за писане в училище, на презентации и т.н, като “написаното” се въвежда в компютър и прожектира върху дъската. Така в същност върху дъската не се пише (няма нужда да се изтрива написаното с гъба).

Един от методите за реализация на тези дъски е ултразвуковият. Писалката излъчва кратки ултразвукови импулси. Приемникът-микрофон се намира в единия край на дъската и измерва времето, за което постъпват импулсите. За прецизно определяне на координатите трябва да се извършва калибровка преди работа. Така се компенсира изменението в скоростта на разпространение на звука във въздуха.

Електронни дигитайзери

В някои от вариантите, за да се намали броят на приемниците и те да са разположени в една кутия, а не по периферията на дъската, писалката, едновременно с ултразвуковия, излъчва и инфрачервен импулс, който се използва като старт на измерването – инфрачервеният импулс се приема, че пристига веднага защото скоростта на светлината е милион пъти по-голяма от тази на звука.

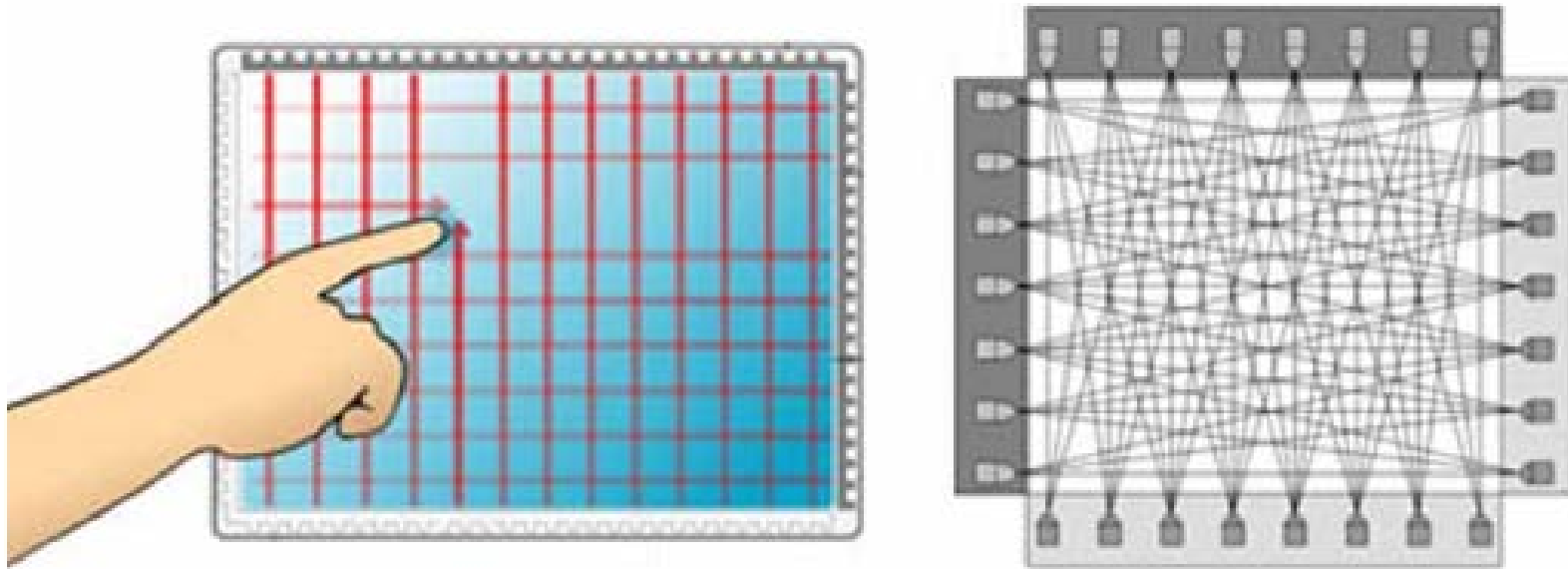
Електронни дигитайзери

Оптически метод – за определяне на координатите се използва светлината. Отново ще бъдат разгледани два примера за реализацията на метода – на мишена и на интерактивна дъска.

Интерактивните дъски навлизат масово в употреба, стават модерни, но все още няма наложена се технология. На оптически принцип има няколко варианта. Единият е с камери в два от ъглите и писалка, която излъчва или е осветена с инфрачервена светлина. Фотоприемниците в камерите са линейки с разрешаваща способност 1000 и повече точки (пиксела) – **CCD Linear Image Sensor**. По осветените точки в сензора се засича (триангулация) положението на писалката.

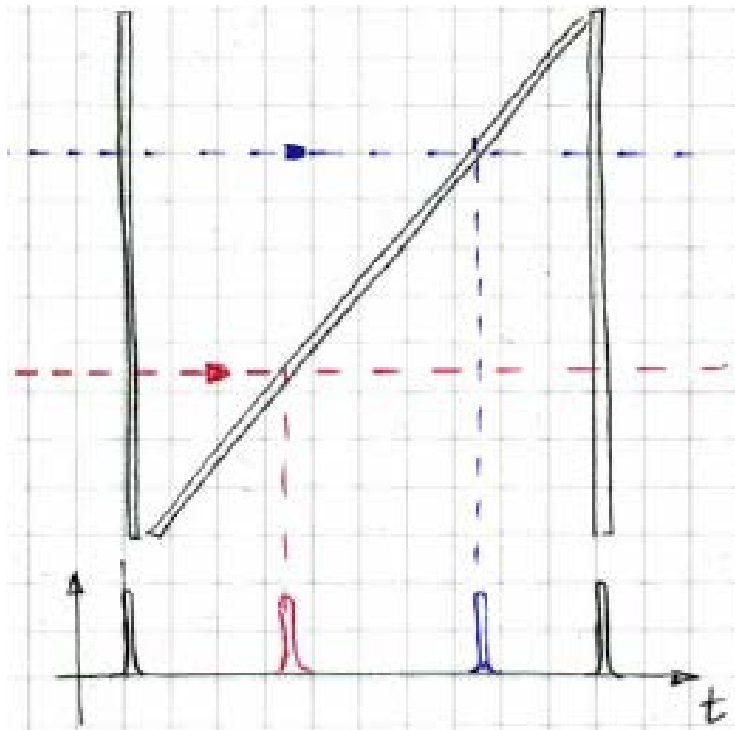
Електронни дигитайзери

Друг подход за засичане на положението на писалката е чрез множество инфрачервени предаватели и приемници, разположени по страните на дъската. Писалката засенчва някоя двойка или няколко двойки и така може да се определи местоположението. Изискванията към интерактивните дъски за разрешаваща способност не са големи.



Електронни дигитайзери

Оптическите мишени се ползват при оръжия с калибър, който би разрушил каква да е мишена – например артилерийски снаряди. В този случай снарядът (или куршум с голям калибър) се оставя да премине свободно през пространството, определено като мишена.



Самата мишена представлява комбинация от светлинни бариери. Принципът на измерване се състои в измерване на времето за преминаване между бариерите. От това време се изчислява мястото на преминаване на тялото (снаряд, куршум).

Електронни дигитайзери

Условие за точна работа е скоростта на тялото да не се променя докато преминава през мишената. Също така траекторията на преминаване трябва да е права линия, перпендикулярна на „мишената“. Тези изисквания се изпълняват лесно при огнестрелните оръжия.

Определяне на всяка от координатите става с три бариери – двете са успоредни една на друга и перпендикулярни на траекторията. Третата бариера е под наклон спрямо другите. Така закъснението между първата и наклонената бариери зависи от мястото на преминаване. За другата координата третата бариера е наклонена в другата посока. Двете успоредни бариери се ползват и в двата случая.

Електронни дигитайзери

Така общо четири бариери са необходими, за да се определи точката на преминаване (попадение).

При описанието на принципа на работа се изисква светлинната бариера да реагира при изменение на потока с 0,5%. Това означава, че диаметърът на тялото е $1/200$ от страната на мишената, като се приема, че мишената е квадратна.

Как да се определи разстоянието между двете бариери, които са перпендикулярни на траекторията на тялото. Отправни точки ще бъдат:

- максималната скорост;
- дължината на тялото, тя обикновено е по-голяма от диаметъра или най-малко равна (сферични тела).

Електронни дигитайзери

Скоростите на телата които се измерват като правило са свръхзвукови. Нека приемем, за по-лесно изчисляване, скорост от 1000 m/s. Тогава, за да получим разрешаваща способност един диаметър на преминаващото тяло трябва да можем да измерим времето за преминаване на тялото между двете успоредни бариери с поне 200 импулса. От тези начални условия можем да изчислим по-конкретно и изискванията към схемите за измерване на времеви интервали и да определим наклона на третата бариера.

Ако честотата с която запълваме интервалите от време е 10MHz, времето за 200 импулса е 20 μ s. За това време тялото ще измине (при 1000 m/s) разстояние $1000 \times 0,00002 = 20\text{mm}$.

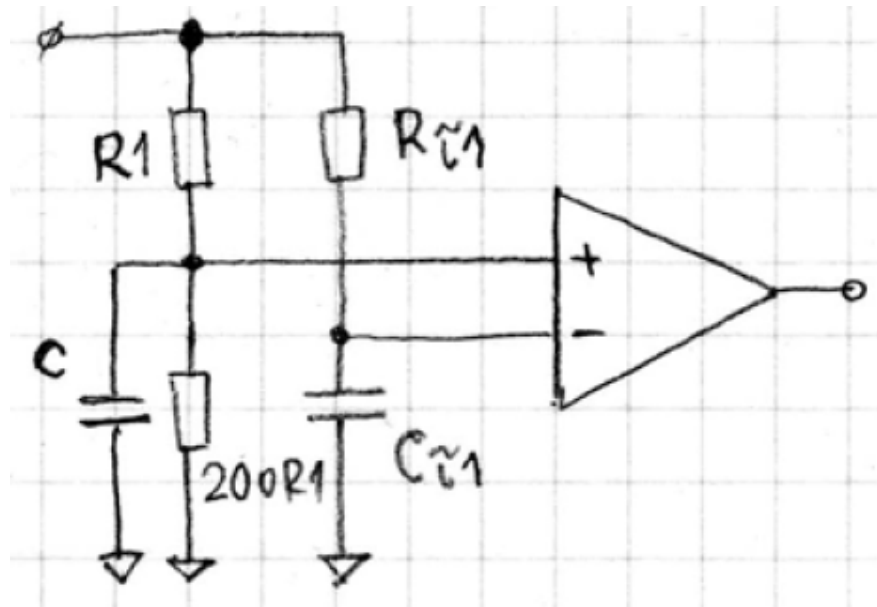
Електронни дигитайзери

От тези ориентировъчни пресмятания се вижда, че има голям запас за постигане на добра разрешаваща способност. Още повече, че и технологично е трудно на толкова малко разстояние да се разположат три, всъщност, като се има предвид и другата координата, четири бариери. Това показва, че усилията трябва да са насочени към качествено изпълнение на бариерите и сигурното отчитане на момента на преминаване на тялото. За намаляване на вероятността от случайни задействания бариерата се включва само когато тялото е с ултразвукова скорост. За целта на разстояние преди бариерата се поставя ултразвуков сензор, който подава сигнал за приближаване.

Електронни дигитайзери

Така времето, през което бариерите са включени може да се сведе до няколко ms. Схемотехниката на входните стъпала трябва да е такава, че да не реагира на бавни изменения на осветеността. Причина за тях може да е стареене на източника на светлина, промяна в захранването и др. Особено важно е това, когато за източник на светлина се използва небето. Средната осветеност се променя много, а освен това не са изключени и случайни явления като прелитане на птици. Скоростта на движение на птиците, обаче, е значително по-ниска.

Електронни дигитайзери



Схемата с компаратора изпълнява дадените по-горе изисквания. Времеконстантата R_1C е подбрана така, че бавните изменения на осветеността да постъпват на входа на компаратора.

Напрежението на единия вход е винаги с $1/201$ по-малко от напрежението на другия. Кой от двата да е инвертиращ и кой неинвертиращ се определя от желаната полярност на импулсите. При бързо спадане на входния сигнал с повече от $0,5\%$ се изработва импулс – кондензаторът C не може да следва бързите изменения.

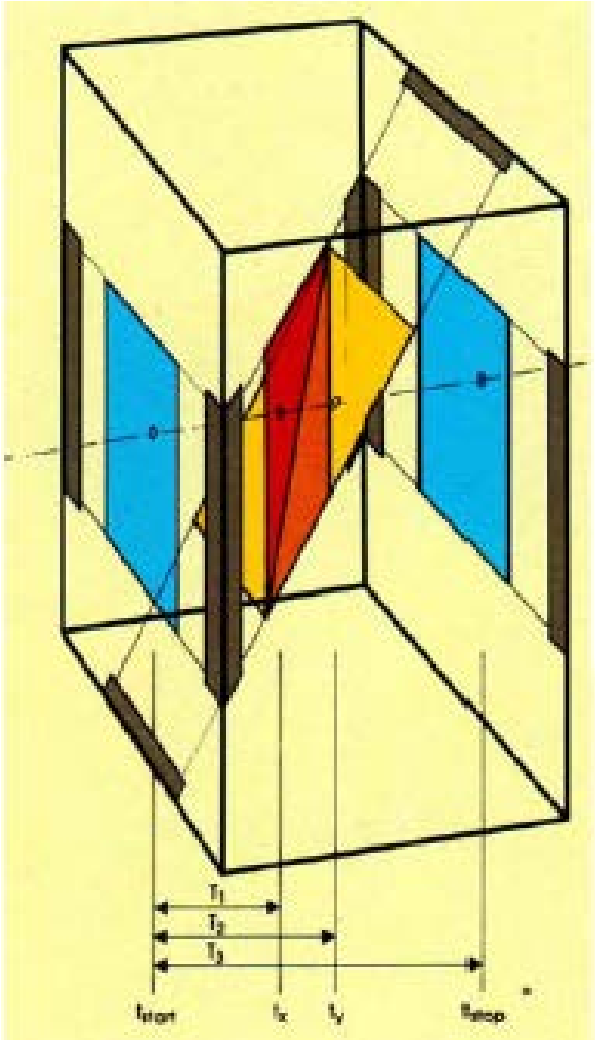
Електронни дигитайзери

Времеконстантата $R1C$ се изчислява от размерите на мишената и на преминаващите тела.

Втората времеконстанта $R\tau1C\tau1$ е с много по-малка стойност. Тя е предназначена да подтиска случайни и много кратки смущения. Това най-често са електрически шумове. Тази времеконстанта се изчислява като се отчита максималната скорост и минималните размери на телата, за които е предвидена електронната мишена.

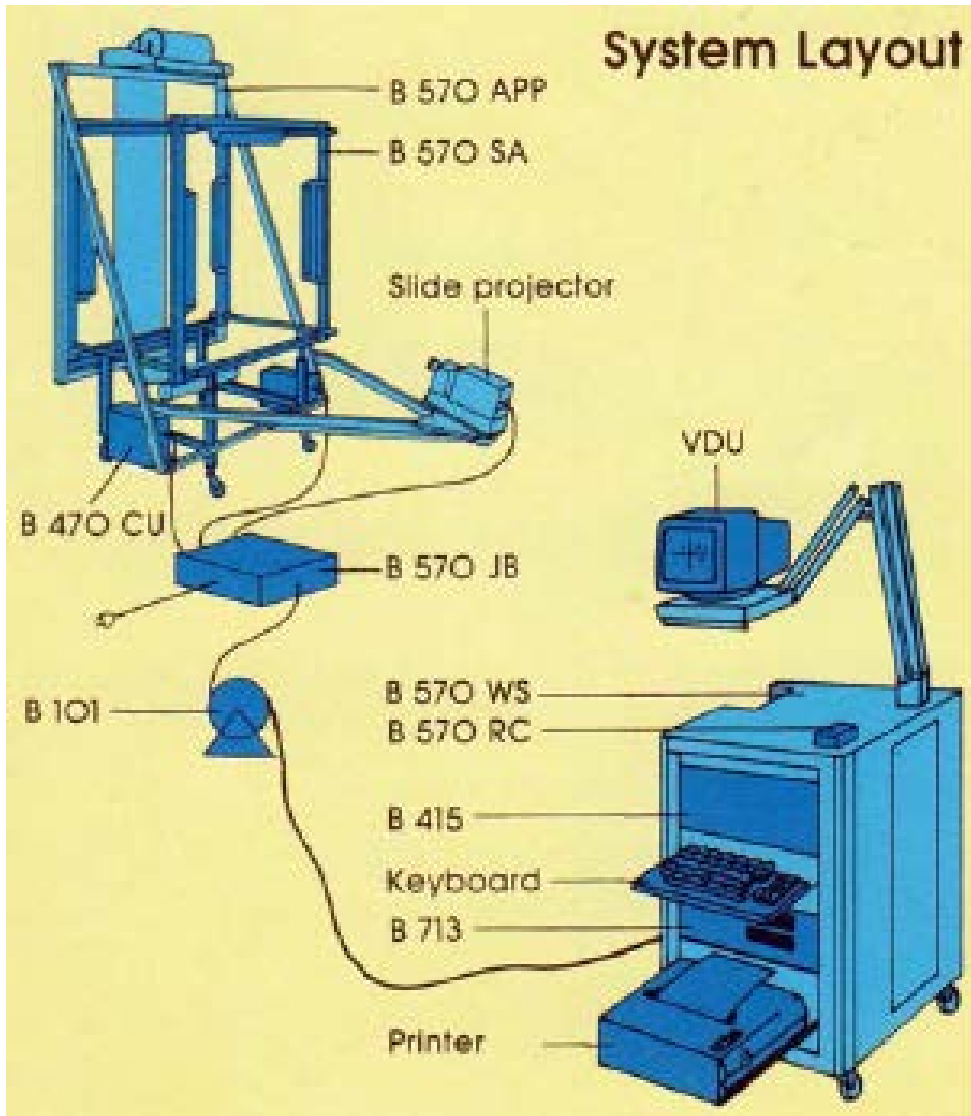
Фоточувствителните елементи в бариерите са или единични фотодиоди или лентови CCD сензори. Задължително се използва оптика за формиране на ширината на бариерата.

Електронни дигитайзери



Принципът на работа на светлинните бариери се основава на изменение на светлинния поток при преминаване на тялото, като промяна над 0,5% се регистрира. Когато тялото е с малки размери в сравнение с размерите на мишената, промяната на светлинния поток ще е малка и ще се регистрира трудно. Тогава мишената се разделя на секции – всяка с подходящите размери.

Електронни дигитайзери



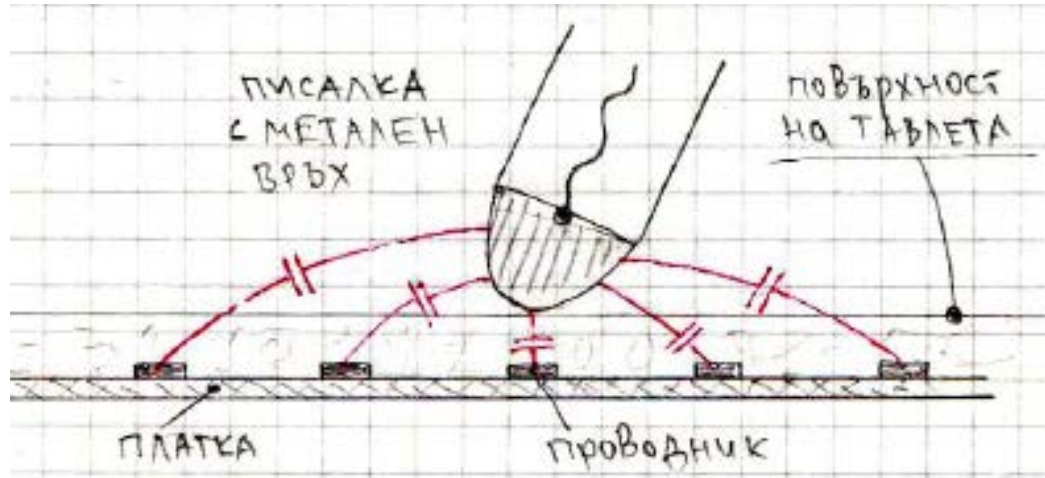
Освен самата мишена, електронната система включва и допълнителни устройства – регистратор на хартия, принтер, проектор на изображение на мишената, резервно захранване и др. При големи мишени, работещи на открито се използва естествено осветление. При по-малки мишени се ползва осветление от светодиоди, луминесцентни лампи и др.

Електронни дигитайзери

Капацитивни дигитайзери – методът се основава на регистриране на промяна на капацитета между показалеца (писалка) и повърхността. В някои варианти се ползват пръстите на ръката. На този принцип са някои сензорни екрани – на мобилни телефони, таблети и монитори. Различните капацитивни дигитайзери се различават по принципа на работа и разрешаващата способност.

Тук ще бъде разгледан принципът на работа на дигитайзер, който се основава на измерване на фазова разлика. Измерването се извършва последователно по X и Y координати. Писалката е с проводим връх, който представлява едната пластинка на кондензатор.

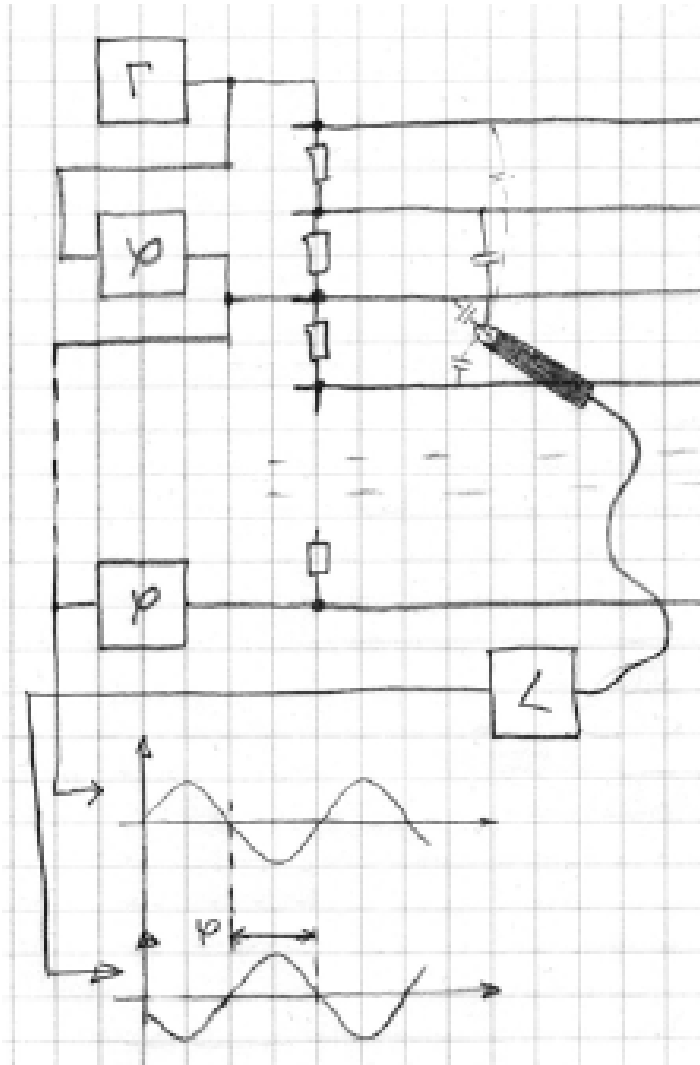
Електронни дигитайзери



Другата пластинка се образува от мрежа от успоредни проводници – едните по X, а другите по Y направление. Те се намират под повърхността на таблета. Те може да се изработят като част от печатна платка.

Размерите на таблетите обикновено са с формат A3 или A4, а в някои случаи и много по-големи – дизайн на облекло, кожа и др. Отделните проводници на мрежата се захранват с променливо напрежение с честота в обхвата 50-100 kHz, което е компромис между шумове и чувствителност.

Електронни дигитайзери



Променливото напрежение във всеки проводник е дефазирано – чрез дефазиращи усилватели и резистори. В зависимост от мястото на писалката спрямо проводниците се получава капацитивен делител и фазата на получения сигнал се осреднява. Като се измери фазата на сигнала в писалката може да се изчисли мястото ѝ спрямо проводниците. Колкото по-голяма е фазовата разлика между всеки два проводника, толкова по-точно ще се определят и координатите.

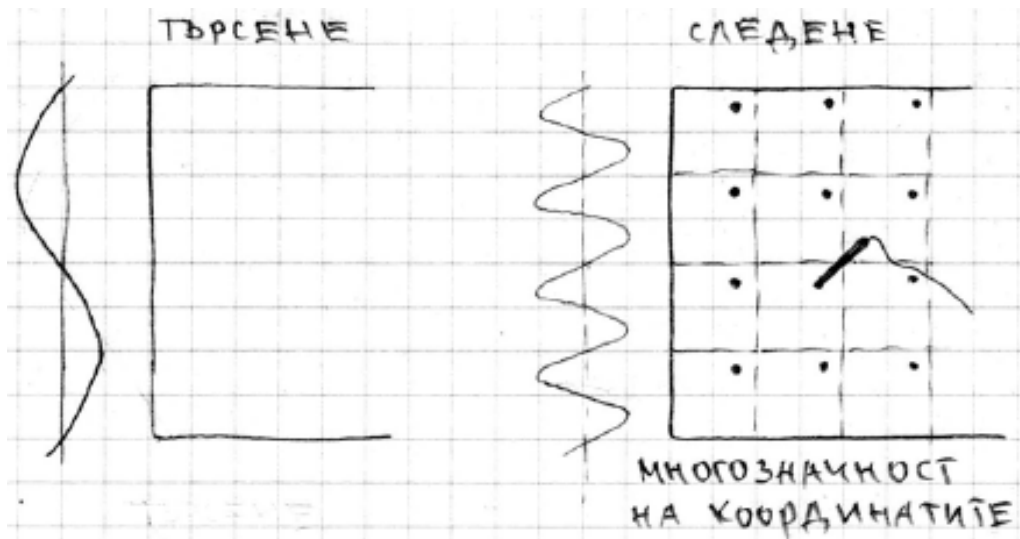
Електронни дигитайзери

Разрешаващата способност зависи от точността, с която може да се измери фазовата разлика. За разрешаваща способност от 0,1mm – типична стойност на професионалните дигитайзери, мрежата трябва да е със стъпка 5-10 mm и фазова разлика около 45° между проводниците.

Това означава, че след осмия проводник сигналът ще е във фаза с първия ($8 \times 45 = 360$) и след това фазата ще започне да се повтаря. За размери на таблета, при които фазата да се променя от 0° до 360° се получават около 4-8 cm, а това е твърде малко. Този проблем се решава като таблетът работи в два режима – в режим на „търсене“ и в режим на „следене“. Когато на плота няма писалка (в нея няма сигнал с достатъчна амплитуда), устройството е в режим на търсене.

Електронни дигитайзери

Тогава дефазирането е такова, че фазата се променя от 0° до 360° по дължината на таблета. Тогава разрешаващата способност е ниска и е около 1mm. Когато се открие писалката започва „следенето“.



Преминава се към режим с по-висока чувствителност – разрешаваща способност. Обаче при него се получава многозначност на получените координати – това са около 20 аналогични полета, но

вече се знае в кое поле е писалката. Ако сигналът пропадне (обикновено при отдалечаване на писалката), отново се преминава към търсене.

Електронни дигитайзери

За да се получат X и Y координатите, се ползват две мрежи, разположени перпендикулярно една спрямо друга, изработени като два слоя на печатна платка. Измерването се редува по X и Y . Това може да доведе до изкривяване на изображението при бързо движение на писалката – докато се изчисли X и започне измерването на Y писалката се е преместила.

При този принцип на измерване единственият начин да се избегне изкривяване на изображението е като се ограничи скоростта на движение на писалката.

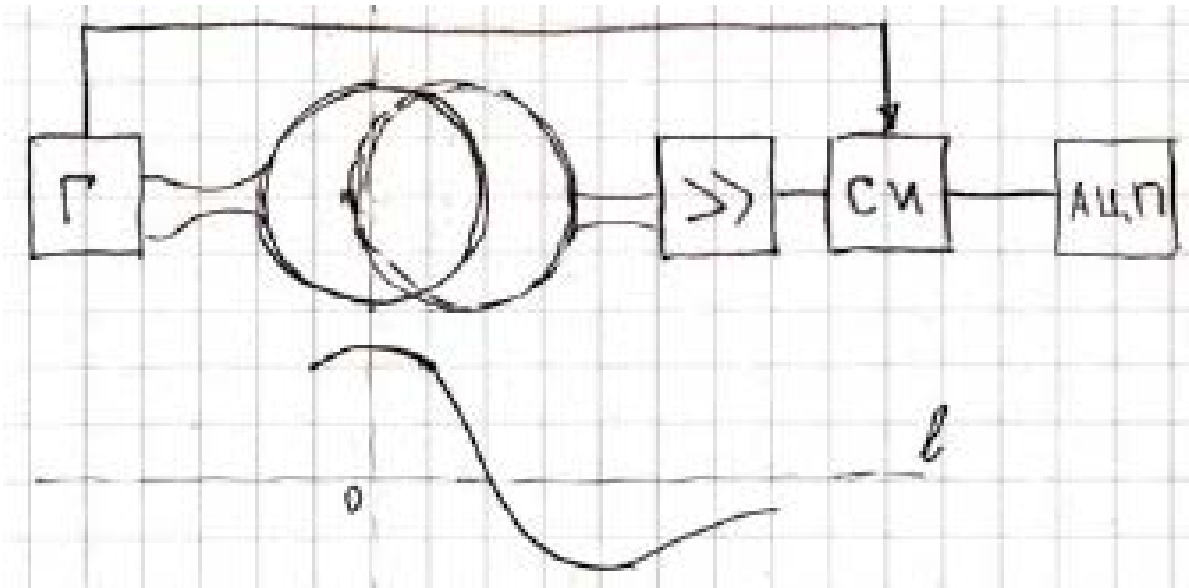
Електронни дигитайзери

Индуктивни дигитайзери – методът се среща и под името „Електромагнитни дигитайзери“ и се основава на индуциране на напрежение между намотки. Вариантите на конструктивно изпълнение са много, но принципът е един и същ – една намотка излъчва сигнал, а друга го приема. Амплитудата и фазата на сигнала показват взаимното положение на двете намотки.

Когато двете намотки са в една равнина, най-голяма амплитуда ще се индуцира, ако намотките са **една върху друга**. Ако започнем да преместваме едната намотка спрямо другата, амплитудата ще започне да спада, ще мине през нула и отново ще започне да нараства.

Електронни дигитайзери

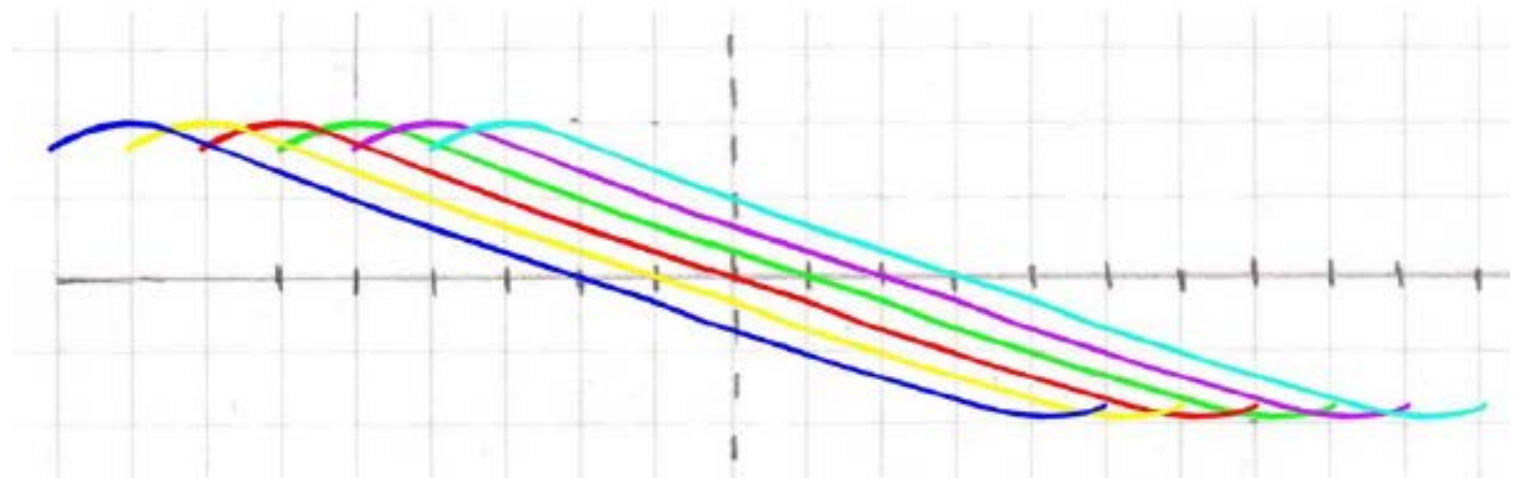
Когато намотките са **една до друга** отново ще се получи максимум, но сигналът ще бъде в противофаза. Ако сигналът от приемната намотка се изправи като се отчита и фазата (с фазов или синхронен детектор), ще се получи крива, която показва взаимното положение на двете намотки.



Показано е напрежението на входа на АЦП като функция от преместването l . Максимумът в плюс е когато двете намотки са една върху друга. Тази зависимост се използва за отчитане на координати.

Електронни дигитайзери

Ако приемната намотка е с безкраен диаметър, тя ще представлява прав проводник. Конструкцията на повечето индуктивни дигитайзери включва успоредни проводници, изпълнени върху печатна платка. Сигналите, индуцирани във всеки един проводник са идентични, но отместени на разстояние, равно на стъпката между проводниците. От отчетената амплитуда може да се съди за положението на намотката, която излъчва, а тя се намира в писалката.



Електронни дигитайзери

На амплитудата влияят странични фактори, най-вече разстоянието между писалката и плота. Това разстояние зависи от дебелината на обектите, които ще се дигитализират – карти, картини, стъклени плаки и др. За да се намали това влияние се ползва принцип, който се прилага винаги, когато е възможно. За определяне на координатите се използва не директно амплитудата, а отношението между амплитудите, получени от няколко съседни успоредни проводника. Използват се амплитудите от пет проводника, като в краищата на плота се достига до седем.

В краищата на плота няма проводници от двете страни на писалката, получените сигнали са еднополярни и затова за достигане на определената точност се налага ползването на седем отчета.

Електронни дигитайзери

Схемата на индуктивния дигитайзер включва плот с паралелни проводници по X и Y направление. Проводниците в единия край са свързани към общ проводник (GND), а в другия край към мултиплексор.

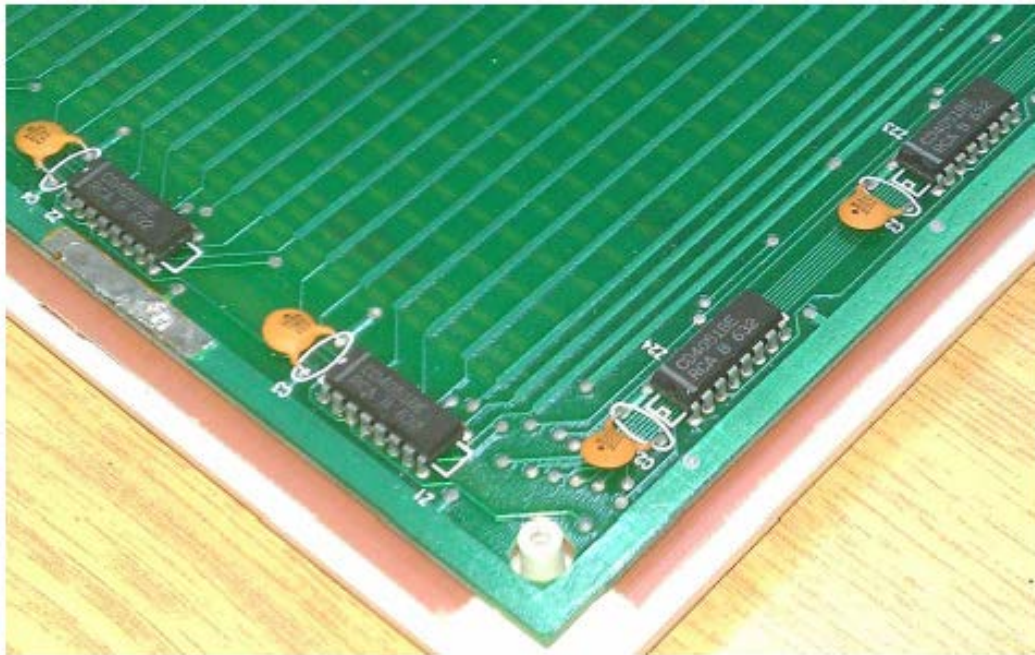


Основните блокове на индуктивните дигитайзери са базови електронни схеми – синусоидален генератор на честота 70-100 kHz, която се определя от компромиса между чувствителност и шумове,

Електронни дигитайзери

аналогови мултиплексори, АЦП (при това без екстремни изисквания), усилвател и синхронен детектор.

На фигурата се виждат печатните проводници за едната и другата посока. Мултиплексорите в ляво са за тези от горната страна на платката,



а тези в дясно – за долната. Изискванията към усилвателя са по-високи – да усилва поне 100-200 пъти, което не е проблем за повечето операционни усилватели, но честотата е сравнително висока (70-100kHz).

Електронни дигитайзери

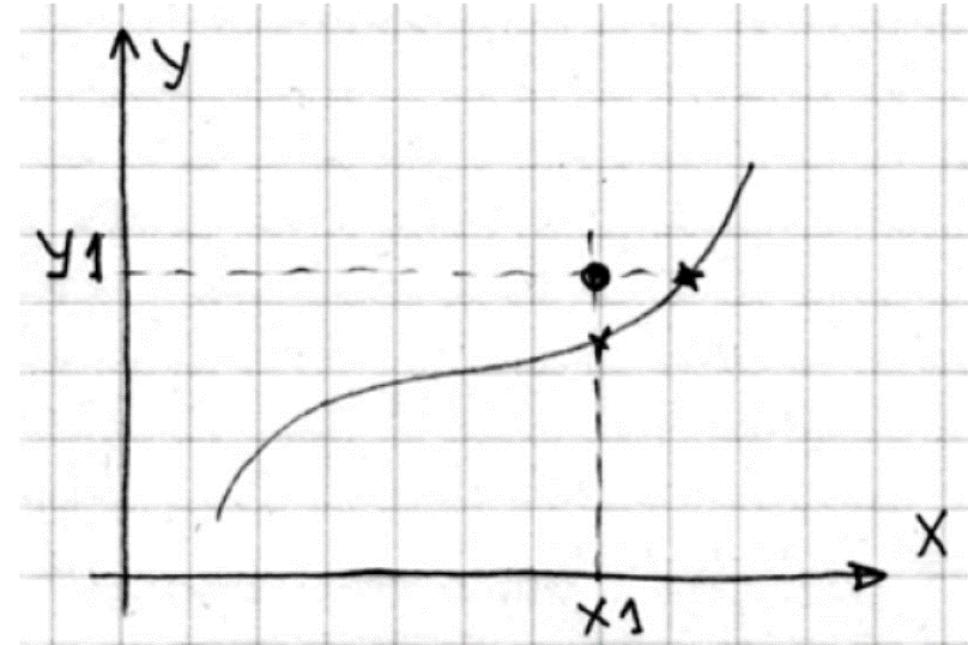
Това изискване е сериозно, защото по голямата част от усилвателите за обща употреба имат честота на единично усилване 1-2MHz, което означава, че на 100 kHz усилват едва 10-20 пъти. Подходящи за тази схема са така наречените “видео-усилватели”. Те имат честотна лента, при това на -3dB, по-висока от 50 MHz и усилване 200-400 пъти. При тях не се използва обратна връзка, а усилването се задава с външен елемент.

По отношение на стабилността и точността на коефициента на усилване изискванията са по-скоро ниски. Методът на измерване работи с отношенията на измерените стойности и неточният коефициент на усилване не води до грешки.

Електронни дигитайзери

Изискванията към синхронния детектор (изправител) са подобни – да работи при честота 100kHz. За препоръчване е да се реализира без операционни усилватели поради проблеми с устойчивостта. Най-прост вариант е с използването на ключове – било то в интегрално изпълнение или транзисторни.

Друг проблем при дигитайзерите е изкривяването на изображението при бързо движение на писалката. В какво се състои проблемът?



Електронни дигитайзери

Ако писалката се движи по траекторията, която е показана, и за времето за което се измерва Y_1 след като е измерено X_1 , писалката се премести на ново място, ще бъде отчетена координата (X_1, Y_1) , която ще бъде встрани и няма да е вярна. За всяка точка са необходими пет измервания, за бързи дигитайзери с компромис за точността поне три.

Времето, което е необходимо за измерване на нова точка от траекторията зависи, на първо място, от времето за установяването на напрежението в изхода на синхронния детектор и от бързодействието на АЦП.

Електронни дигитайзери

За едно измерване са необходими 10-15 периода на сигнала от генератора. При 10 периода и честота 100 kHz се получава: 100 μ s време за установяване на синхронния изправител и времеконстанта на НЧ филтър в изхода му – сумарно около 1 ms. За три измервания – 3 ms. При скорост на ръката от 1 m/s грешката е 3 mm.

За да не се получава изкривяване, се ползват отделни канали за усилване и изправяне по X и Y. Броят на мултиплексорите не се променя – и в двата случая за всеки проводник има един вход. Няма нужда и от два АЦП – времето на преобразуване, дори и на най-обикновени АЦП е 15-20 μ s, пренебрежимо малко спрямо 3 ms.

Електронни дигитайзери

Това подобрява точността, но при висока скорост има проблем дори при определяне на едната координата – докато се измерва всяко едно от напреженията, които участват в изчисленията, писалката продължава да се движи.

Изкривяването до известна степен може да се компенсира с подходящи алгоритми, които да компенсират движението на писалката – подобрието може да е забележимо.

За някои приложения вярното възпроизвеждане на движението е много важно, а скоростта да е много висока – при подписване или при работата на художници – аниматори. Там следва да се ползва друг принцип.

Електронни дигитайзери

За по-голямо бързодействие и при индуктивните дигитайзери се ползват режими “търсене” и “следене”. За да не се обхожда непрекъснато цялата повърхност, когато се локализира писалката, последователно се превключват само проводниците, които са около нея.

Така при движение на писалката едни проводници се включват за измерване, а други – изключват.

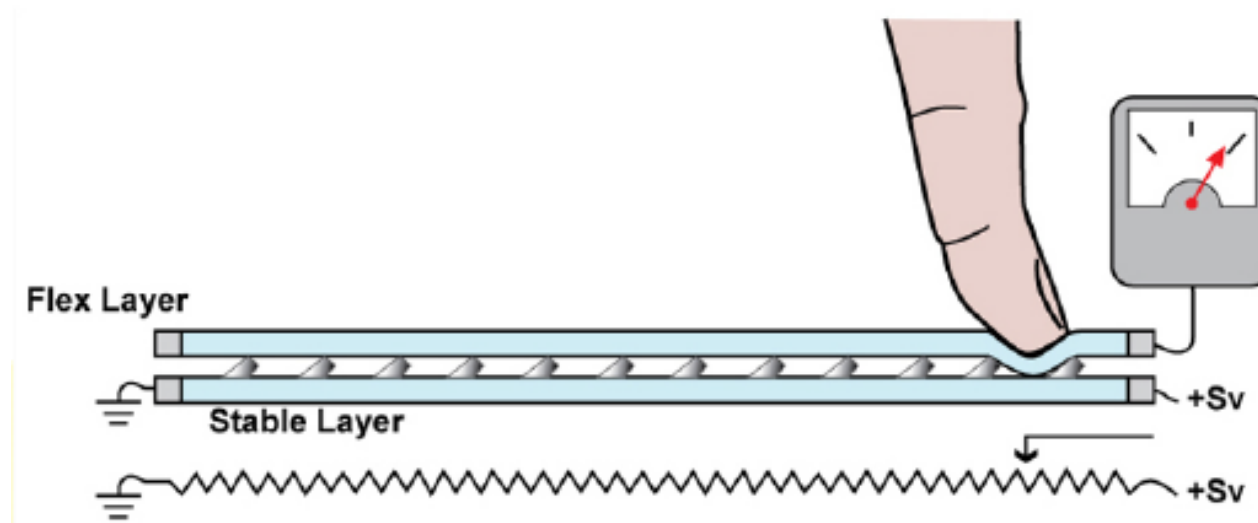
Електронни дигитайзери

Резистивни дигитайзери – методът се основава на определяне на мястото на плъзгача на потенциометър, като писалката е плъзгач.

В същност това е първият начин за електрическо определяне на координати и начертаване на движението чрез X/Y записвач. За работата на този уред се изисква електрически контакт между плота и писалката. Самият плот е покрит със съпротивителен слой като този на потенциометрите. В двата края на плота се подава постоянно напрежение, а в писалката се получава част от него в зависимост от мястото на допиране. Това напрежение се подава на записващо устройство.

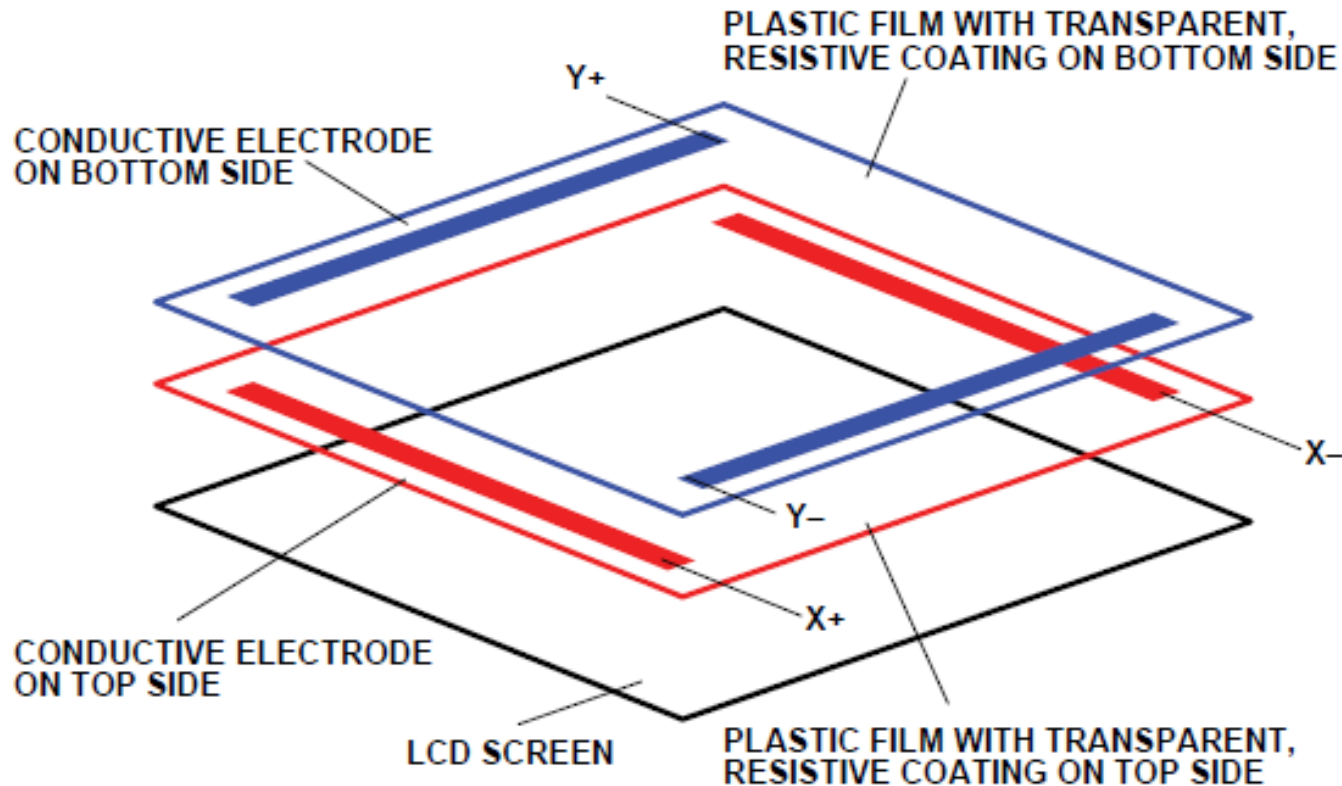
Електронни дигитайзери

Предизвикателство за времето си е било разделянето на X и Y координатите.



На съпротивителен принцип са и дигитайзерите за екраните на някои от мобилните телефони – touch screen за smartphone. В екрана са вградени множество резистори, свързани последователно.

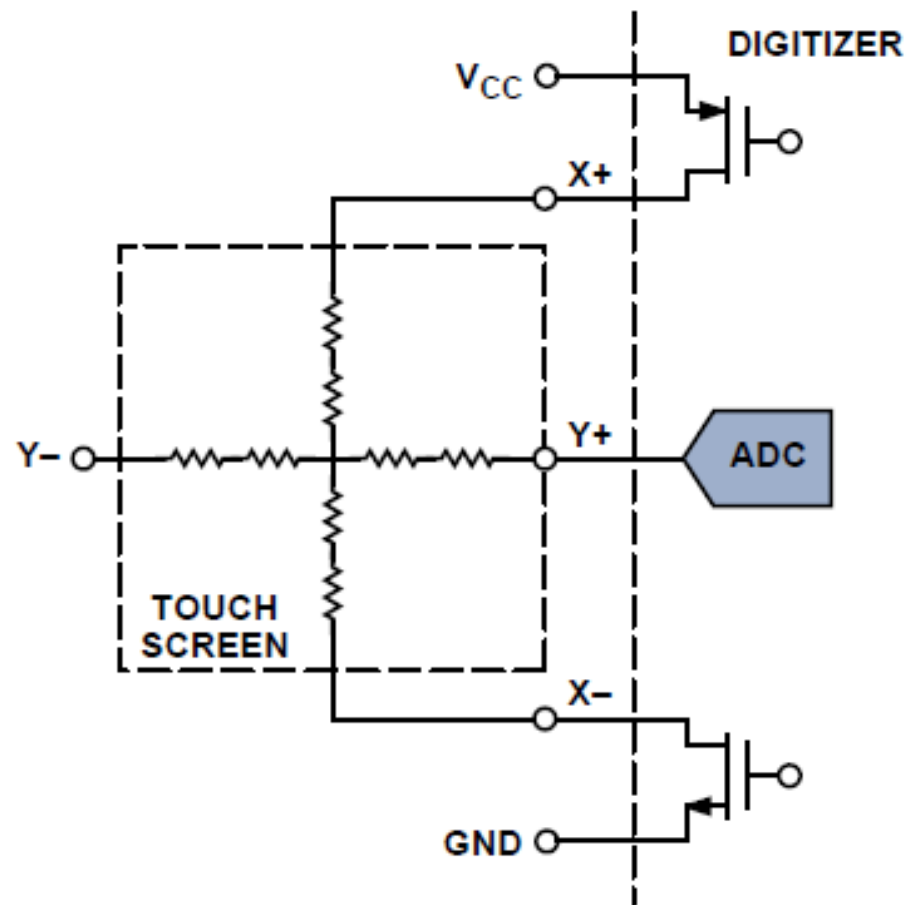
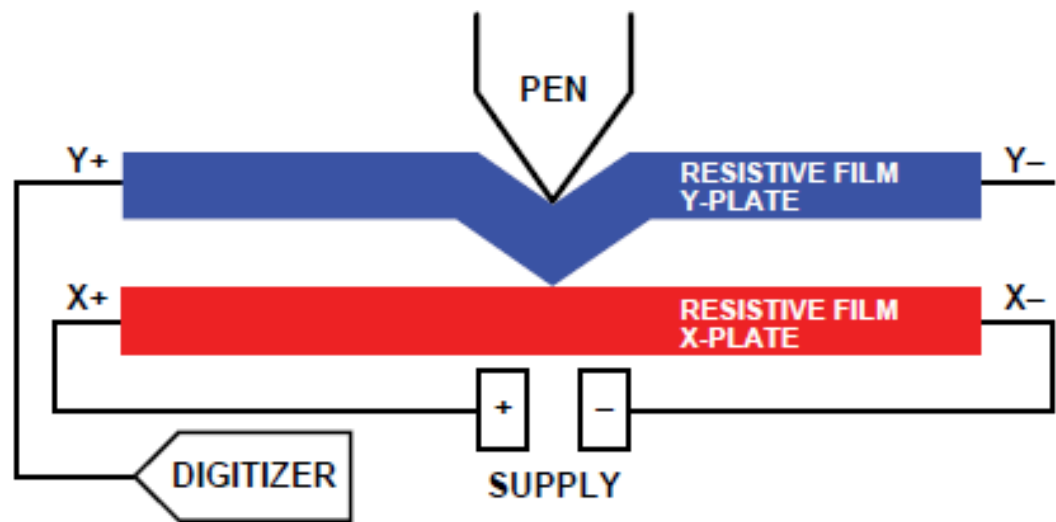
Електронни дигитайзери



Броят им определя разрешаващата способност на дисплея. Пластичната повърхност на екрана се допира до съответните резистори на мястото, където е писалката и така се измерва местоположението.

Екранът трябва да може да се деформира многократно без да се поврежда.

Електронни дигитайзери



Електронни дигитайзери

Когато екранът е докоснат, двете проводими плочи се допират, създавайки резисторен делител по X-плочата. Напрежението в точката на контакта, което представлява позицията по X-плочата се измерва чрез Y+ електрода, както е показано на предната фигура. Процесът след това се повтаря, като се захранва Y-плочата и се отчита Y-позицията през X+ електрода.

Капацитивните методи за touch screen, въпреки някои недостатъци, изместват съпротивителните.