

УДК 537.24

Система безперервного моніторингу браслету антистатичного захисту

Стеценко В.А., Бевза О.М.

1. Вступ

Тенденції розвитку напівпровідникової промисловості безпосередньо пов'язані зі зменшенням мінімальних топологічних розмірів проектування інтегральних схем (ІС), що призводить до більшої чутливості пристроїв по відношенню до зовнішніх чинників і, особливо, до електростатичного розряду (ESD).

Електростатичний розряд – це вивільнення накопиченого на поверхні електричного розряду під час контакту двох об'єктів.

ESD може відбутися будь-яким з чотирьох способів:

- коли заряджене тіло торкається ІС;
- коли заряджена ІС торкається заземленою поверхні або об'єкта;
- коли заряджений металевий інструмент торкається ІС;
- коли через вплив електростатичного поля на діелектрику наводиться електричний заряд, потужності якого вистачає для пробиття цього діелектрика.

ESD в першу чергу пошкоджує найбільш слабо захищені компоненти, що призводить до наступних пошкоджень:

- тепловий пробій р-п-переходу;
- виникнення в оксиді пустот, ниткоподібних утворень, випаровування оксиду, що призводить до замикань і неправильної роботи ІС;
- металева розводка і контакти можуть плавитися і випаровуватися, в результаті відбуваються замикання або розриви, і відмова ІС.

Для зменшення імовірності ESD в промисловості використовують заземлення робочих місць і самих працівників та інструментів. І для перевірки надійності заземлення використовують спеціальні прилади. Для перевірки заземлення персоналу використовують систему безперервного моніторингу браслету антистатичного захисту, яка повідомляє про порушення цілісності проводу, поломка роз'єму, знос браслету і нещільне прилягання браслету до зап'ястя.

2. Мета і завдання досліджень

Метою даної роботи є аналіз існуючих методів захисту від ESD електронних компонентів, вибір найбільш оптимального методу для використання в системі моніторингу браслету та розробка приладу на базі цього методу.

3. Методи моніторингу заземлення

3.1. Реєстратор електричних розрядів

Реєстратор електричних розрядів являє собою малогабаритний спеціалізований пристрій з радіочастотною частиною, аналого-цифровим блоком, органами управління та індикації, а також інтерфейсом для опціонального підключення до централізованого комп'ютерної системи збору інформації. Принцип дії цього реєстратора досить простий. Розряди статичної електрики генерують електромагнітне випромінювання: чим потужніший розряд, тим сильніше поле. Прилад є своєрідним «радіоприймачем»: прийнятий через антену сигнал примусово розтягується в часі (бо реальний сигнал може бути занадто коротким, в наносекундному діапазоні) і порівнюється по амплітуді з встановленим пороговим значенням. При перевищенні порога реєструється «ESD-подія», яка супроводжується світловим і звуковим сигналом в моделі

Поріг чутливості реєстратора можна встановити вручну потенціометром, так і електричним сигналом (рівнем напруги або силою

струму) від зовнішньої системи збору даних. В обох випадках підбір оптимальної висоти порога є найважливішим фактором ефективності застосування приладу.

Якщо поріг занадто низький, то почастишають помилкові спрацьовування від малих розрядів статичної електрики і електромагнітних перешкод будь-якого походження за межами контрольованої зони. Якщо ж поріг занадто високий, то ігноруються дійсно значущі ESD-події в робочій зоні [1].

3.2. Вимірювання напруженості статичного поля

Вимірювання напруженості статичного поля відоме в кількох варіантах реалізації на американському і європейському ринках.

Зазвичай це компактні і точні прилади для виміру напруженості електростатичного поля мають наступні властивості:

- придатність для використання навіть в іонізованому повітрі;
- зручний «кишеньковий» розмір, тривале живлення від батарейки;
- вимір з можливістю тимчасового запису результату;
- світлова індикація номінальної дистанції від приладу до об'єкта;

- корпус приладу з провідного ESD-пластику з роз'ємом заземлення;
- цифровий дисплей з автоматичним вибором діапазону значень;
- аналоговий вихідний сигнал для підключення до системи збору даних.

Для зняття показань прилад розташовують на відстані 1 дюйм від об'єкту, що досліджується - носія статичного заряду. Через мить на дисплеї з'явиться значення напруженості електричного поля в кіловольт на дюйм. Прилад оснащений функцією запису для зняття показань в «незручних» місцях, де пряме спостереження дисплею неможливо. Точність вимірювання залежить від стабільності заземлення і відстані (1 дюйм) до об'єкта, а також від співвідношення розміру об'єкта і відстані, з якого проводиться вимірювання.

Співвідношення має бути не менше трьох, тобто площа об'єкта повинна бути не менше 3 квадратних дюймів, якщо вимірюється на відстані 1 дюйм. Вимірювання можливі і з більшої відстані при правильному масштабування діапазону до дистанції до об'єкта. Приклад: об'єкт, напруженість поля якого вимірюється з відстані 3 дюйма, повинен мати площу не менше 9 квадратних дюймів [2].

3.3. Вимірювання статичного потенціалу

При дотику пальцем до пластини на панелі приладу індикатор висвічує значення напруги щодо землі з похибкою не більше 5% [2].

3.4. Вимірювання ємності між браслетом і заземленням

Вимірювач фіксує вимірює ємність в конденсаторі, де перша пластина – це заземлення, друга – клема браслету, а в якості діелектрику слугує повітря. В залежності від площі до якої приєднано браслет (є контакт браслету з оператором чи ні) змінюється ємність. Прилад таким чином фіксує надійність під'єднання браслету. [2, 3]

3.5. Вимірювання опору заземлення

Метод полягає в порівнянні опору між шиною заземлення, що підключена безпосередньо до приладу та точкою контакту взуття оператора з заземленою поверхнею підлоги. Перевагою даного методу є відносна його простота. Суттєвим недоліком даного методу є те, що опір, який вимірюється, суттєво залежить від багатьох параметрів: індивідуальних особливостей організму оператора, стану поверхні підлоги, вологості повітря. До хибних спрацювань також призводить, наприклад, розміщення ніг оператора на ніжки стільця, або інші незаземлені поверхні [2].

4. Типи моніторів заземлення

4.1. Монітор заземлення

Монітор заземлення являє собою електронну порогову схему в нехитрому корпусі з парою

світлодіодів і п'єзокристалічним випромінювачем. Прилад негайно повідомляє оператора про порушення цілісності ланцюга індивідуального заземлення, що проходить від тіла людини через антистатичний браслет і монітор заземлення на загальну шину. Причинами порушень можуть стати нещільне прилягання браслета до зап'ястя, знос браслета, поломка роз'єму або обрив шнура.

Таким чином, превентивно виключаються згубні наслідки роботи персоналу в незаземленому стані.

4.1. Тестер-стенд

Тестер-стенд індивідуальних засобів заземлення використовується для щоденного передопераційного контролю наручного браслету як первинного засобу заземлення, а також взуття як первинного або вторинного засобу заземлення. У простій реалізації стенду SVR-SR2 оператор встає на металеву плиту, підключає шнур від браслета до гнізда на стенді і вибирає перемикачем режим контролю «браслет», «взуття» або «браслет + взуття». При натисканні металевої кнопки на стенді проводиться вимірювання опору від неї через браслет з гарнітурою та взуття до підлоги пластині.

У разі, якщо опір виявляється поза допустимого діапазону за стандартом ІЕС61340, стенд видає попереджуючий сигнал. Примітка: оскільки опір заземлення через взуття зменшується при зволоженні устілки, тестування необхідно здійснювати після закінчення перших декількох хвилин її носіння.

Загальними властивостями тест-станцій, представлених на світовому ринку, є:

- плита на підлозі для роздільного контролю опору взуття на кожній нозі;
- комп'ютерна документація результатів тестування зі значеннями вимірюного опору в програмованому діапазоні від 100 кОм до 100 МОм (або до 1 ГОм);
- можливість сполучення з клавіатурою і індикаторним табло, зчитувачами штрих-коду, магнітних і мікропроцесорних смарт-карт для ідентифікації користувача;
- можливість підключення виконавчого механізму - наприклад, для відкривання замка входних дверей після успішного проходження тесту.

4.2. Комбінований тестер

Комбінований тестер поєднує в собі три вимірювальних прилади з цифровим відображенням результату на дисплеї:

- мегаомметр з електродами у вигляді гир для вимірювання поверхневого опору (ламінітів антистатичної мебелі, і підлогових покриттів, тканин), а також прохідного опору до землі;
- гігрометр для вимірювання відносної вологості повітря (вологість – важливіший

параметр, що фіксується при вимірюванні опору);

- термометр для діапазону від 0 до 38 ° С.

Напруга тестового впливу обирається рівним 10 або 100 В для діапазону 50 кОм-990 ГОм або 50 кОм-9,9 ТОм відповідно. Похибка вимірювань від 5% в діапазоні 10^3 - 10^8 Ом до 25% в діапазоні 10^{11} - 10^{12} Ом. При натисканні кнопки в центрі приладу протягом декількох секунд проводиться одночасне вимірювання опору, вологості і температури. [3]

5. Система моніторингу на основі ємнісного датчика

Порівнявши характерні особливості методів моніторингу заземлення, було обрано ємнісний тип моніторингу, в зв'язку з тим, що він є більш завадостійким в порівнянні з реєструванням електростатичних полів та напруженості статичного поля, а моніторинг ємності не так сильно залежить від зовнішніх факторів, як моніторинг опору ланцюгів [4,5].

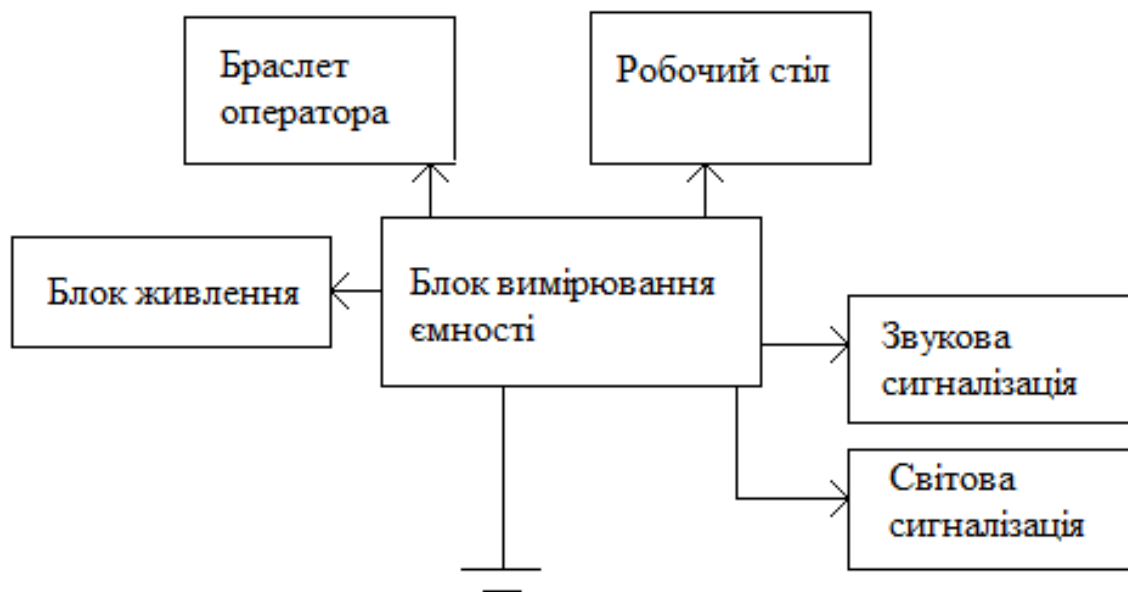


Рис.1 Структурна схема пристрою

Блок вимірювання ємності вимірює ємність між оператором або поверхнею робочого столу і «землею». При відключенні браслету або поверхні робочого столу від заземлення іде сигнал на звукову сигналізацію та відповідну світлову індикацію (червоний світлодіод), що сигналізують про зникнення контакту

оператор/поверхня робочого столу – «земля». Про нормальний стан контактів браслету та поверхні робочого столу сигналізує світлодіод зеленого кольору.

Принцип дії пристрою заснований на зміні ємності між сенсором-клемою E1 і «землею» (загальним проводом: всім тим, що відноситься до захисного

заземлення - в даному випадку це підлога). При підключенні клеми ця ємність істотно змінюється, що

виявляється достатнім для спрацювання мікросхеми 4093BP.

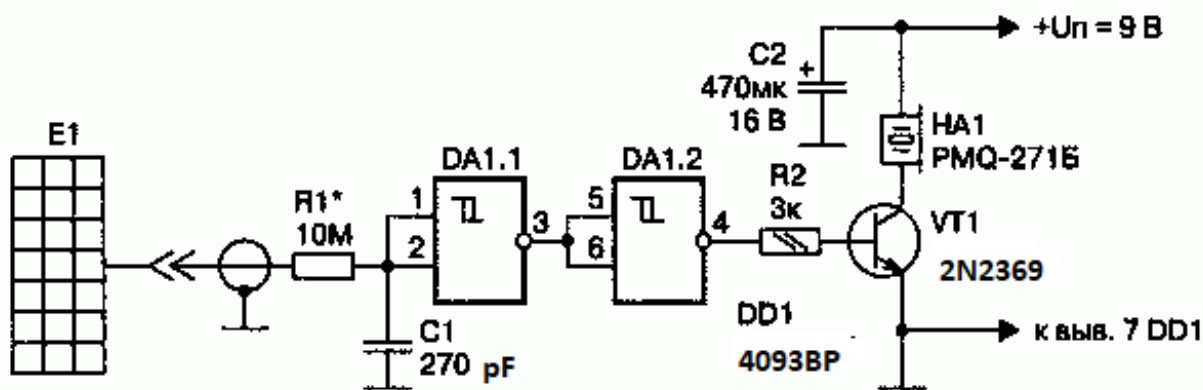


Рис.2 Схема ємнісного датчика

В основі конструкції - два елементи мікросхеми 4093BP (DD1), включені як інвертори. Ця мікросхема має в своєму складі чотири однотипних елемента з функцією 2 I-NE з тригерами Шміта з гістерезисом (затримкою) на вході і інверсією по виходу. [6]

Крім того, мікросхема 4093BP дозволяє включати свої незалежні логічні елементи паралельно, як буферні елементів, внаслідок чого потужність вихідного сигналу пропорційно збільшується. Тригери Шміта бістабільні схеми, здатні працювати з повільно зростаючими входними сигналами, в тому числі з домішкою перешкод. При цьому забезпечують по виходу круті фронти імпульсів можна передавати в наступні вузли схеми для стикування з іншими ключовими елементами і мікросхемами. Мікросхема 4093BP може виділяти керуючий сигнал (у тому числі цифровий) для інших

пристроїв з аналоговим або нечітким входним імпульсом.

Схема включення інверторів - класична, вона описана в довідкових виданнях. Особливість представленої розробки - в конструктивних нюансах. Після включення живлення на вході елемента DD1.1 присутній невизначений стан, близький до низького логічного рівня. На виході DD1.1 - високий рівень, на виході DD1.2 - знову низький. Транзистор VT1 закритий.

До сенсора E1 підключена клема. При підключенні браслету (поверхні робочого столу) змінюється ємність між клемою і землею. Від цього переключаються елементи DD1.1, DD1.2 в протилежний стан. На виводі 4 мікросхеми з'являється високий рівень напруги, внаслідок цього транзистор VT1 відкривається і звучить п'єзоелектричний випромінювач HA1.

Джерело живлення стабілізоване з напругою 9 В, з хорошою фільтрацією напруги пульсацій по виходу. Струм споживання мізерно малий у режимі очікування (кілька мікроампер) і збільшується до 22-28 мА при активній роботі п'єзоелектричного випромінювача НА1. В даному випадку не можливо використовувати без трансформаторний тип джерела живлення через імовірність ураження електричним струмом, при відсутності гальванічної розв'язки з промисловою мережею живлення. Оксидний конденсатор С2 діє як додатковий фільтр по живленню, на робочу напругу не нижче напруги джерела живлення.

Висновки

На сьогоднішній день основними методами моніторингу заземлення оператора або робочої поверхні оператора на сучасному виробництві електроніки є:

- Реєстрація електричних розрядів;
- Вимірювання напруженості статичного поля
- Вимірювання статичного потенціалу;
- Вимірювання ємності між браслетом та заземленням;
- Вимірювання опору заземлення.

Виходячи з особливостей цих методів, був обраний метод вимірювання ємності, що найбільш точно відповідає поставленій задачі.

Розроблена система має порівняно простий метод моніторингу заземлення оператора та(або) робочого столу. Особливих переваг схемі надає використання мікросхеми 4093ВР з малим споживанням струму, високим захистом від шумів (до 45% від рівня напруги живлення), захищеністю по входу від статичної електрики і короткочасного перевищення вхідних рівнів, що не вимагає будь-яких особливих запобіжних заходів і захисту. Розроблена схема повністю відповідає поставленій задачі.

Література

1. *Антистатичний захист і статична електрика [Електронний ресурс]:* - <https://masteram.com.ua/uk/articles-and-video/esd-safety/> - Назва з екрана.
2. *Антистатика прилади моніторингу та аудита // Компоненты и технологии, № 2'2004*, Виктор Новселев.
3. *Ємнісний датчик [Електронний ресурс]:* <https://shema.info/uk/pobutova-elektronika/indikatori-detektori/7473-emnisnii-datchik.html> - Назва з екрана.
4. Москвін А. Безконтактні ємнісні датчики. - *Радіо*, 2002, № 10, с. 38, 39. Автор: М. Єршов
5. Нечаєв В. Ємнісне реле. - *Радіо*, 1988, № 1, с. 33.

6. *Схема ємнісного датчика на мікросхемі K561ТЛ1* *mikroskHEME-k561t11-cd4093b.html - Назва з екрана.*
[Електронний ресурс] :
<http://radiostorage.net/1779-skHEMA-emkostnogo-datchika-na->