

Технология за настройка на гебелослойни резистори за ХИС чрез високоволтови импулси

T.Ivanchev, Prof.P.Philippov
Technical University-Sofia
borisov@ecad4sun.vmei.acad.bg
Prof.H.Thust, Dipl.Ing.T.Thelemann
Technical University of Ilmenau
Heiko.Thust@e-technik.tu-ilmenau.de

Abstract:

To realize a noncut trimming method without any damage to the resistor surface of thick film resistors for electronic devices and overcome the difficulties related with laser trimming, a pulse voltage trimming method (PVTM) has been developed for small resistors of less than 1.0mm².

When the resistors are buried in LTCC-Circuits it's possible to trimm them by laser only in two cases:

1. The resistor structures are on the surface of the substrate.
2. The resistor structures are covered only by one thin tape layer.

Resistors buried deep inside the tape compound can not be adjusted with a laser system.

Two methods are known for trimming Thick Film Resistors by the high voltage pulses. One is based on discharges between the resistor and separate electrode above. This technique called high-frequency discharge trimming is not so suitable because of the typically frequencies up to 500kHz and voltages in the range of 5-10 kV. The second method is based on internal discharges using both resistor terminations as electrodes.

This trimming method combines coarse and fine adjustments which are, respectively, due to pulse peak voltage and the number of pulse groups. The PVTM ensures resistance accuracy of less than 1%.

1. Въведение.

Главното предимство на тънкослойните и дебелослойните резистори е възможността им да бъдат настроивани до прецизни стойности. Настройката се изразява в селективно и контролируемо отнемане на резистивния материал до постигането на предварително зададената стойност. Настройката е необходима поради факта, че макар и малки, вариациите при различните технологични операции правят трудно реализирането на резистори с прецизна стойност. Нормално хибридна технология осигурява дебелослойни резисторни структури (след процеса на изпичането) с толеранс $\pm 20\%$, докато при тънкослойните той е ограничен до $\pm 10\%$.

Дебелослойните резистори обикновено се използват широко за реализирането на компактни и надеждни електронни устройства. Поради малките размери на резисторите (под 1.0 mm^2) е трудно да се постигне точна и стабилна стойност на съпротивлението. Процесите ситопечат и изпичане са фундаментални при производството на тези елементи. Съществуват редица фактори, които способстват за постигането на предварително зададената стойност на съпротивлението в рамките на $\pm 20\%$. Тези фактори, като пример са: дебелината на резисторната структура, както и нейната геометрия (размери, обем); контрол на същите по време на ситопечата; условията на процеса на изпичането.

Както е известно, най-често използваният метод за настройка на този вид резистори е лазерният. Но, с намаляване размерите на структурата става все по-трудно да се намали и широчината на лазерния срез. Това се дължи на следните сериозни проблеми:

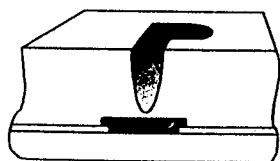
1/ намалява се максимално-възможната енергия, която може да бъде отделена на определено място от повърхността на резистора.

2/ размерите на разпространяващите се микро-пукнатини от края на лазерния срез към обема на резисторната структура стават значителни. Това води до съществени затруднения за протичащия ток, респективно до увеличаване на съпротивлението (трудно контролируемо). Когато резисторните структури са в ХИС, изградени по LTCC-технологията, лазерната настройка е възможна само при два случая:

1/ когато резисторните структури са "открити" т.е. отложени са на повърхността на подложката.

2/ когато резисторните структури са покрити само с един слой от "зелена" керамика (фиг.1).

Phases of laser trimming



open the cover layer



cut into the resistor

фиг.1

При LTCC-технологията по-често срещан е вторият вариант, но тук има съществени затруднения, поради факта, че настройката се извършва на два етапа и е трудно контролируема. Когато върху резисторната структура има отложени по-голям брой слоеве от "зелена" лента, като носители на проводящи шини и/или резисторни структури, лазерната настройка става неприменима.

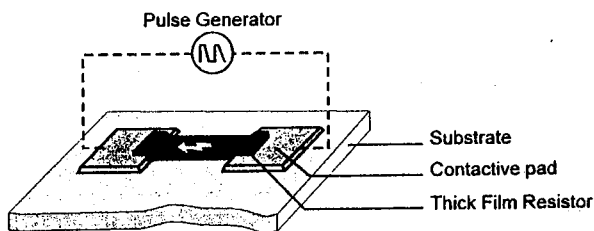
За преодоляване на тези затруднения, пробив в технологията за настройка на дебелослойните резистори бе направен с прилагането на новия метод - чрез високоволтови импулси. Той гарантира високо-прецизен контрол на съпротивлението, при това без никакви повреди по повърхността на резисторната структура.

2. Същност на метода.

При процеса на изпичането, резистивните съставки (като RuO_2) стъклени фрити и различните добавки в композицията започват постепенно да дифундират помежду си. Това причинява хетерогенност на контактния интерфейс между отделните проводящи съставки. Другият съществен момент е, че дебелослойните резистори с размери, по-малки от 1.0 mm^2 и листово съпротивление от порядъка на няколко Ω / \square са силно чувствителни към високоволтови импулси и по-специално към статичното електрическо поле.

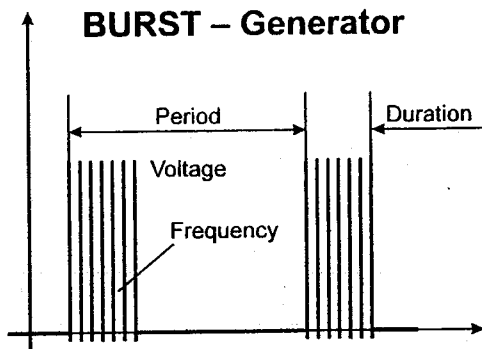
Най-често използваните резистивни пасти при хибридните интегрални схеми имат R_s респективно $100\Omega / \square$, $10k\Omega / \square$ и $1M\Omega / \square$, нанасят се чрез ситопечат, а след това се изпичат във въздушна среда при температура 850°C за време 60min до получаването на керметен тип резистори.

На фиг.2а и фиг.2б са представени схемата, по която се извършва настройката и вида на изходните импулси на генератора-"HILO-TEST".



Pulse voltage trimming method

фиг.2а



фиг.2б

Техническите параметри на генератора са следните:

- изходни правоъгълни импулси с широчина.....50ns.
- поляритет, селективен..... позит./негат./комб.
- амплитуда на изходните импулси,
регулируема.....200V ÷ 4500V.
- честота на импулсите, регулируема.....1kHz ÷ 1MHz.
- продължителност на импулсната група,
регулируема.....0.01ms ÷ 25ms.
- период на импулсната група,
регулируема.....10ms ÷ 1000ms.

3. Описание на експериментите.

За всички експерименти, независимо от факта, че касаят различни структури, изградени с различни резистивни пасти, респективно различно листово съпротивление са от съществено значение следните фактори:

1/ геометрията на резисторната структура (дължина и широчина) е определяща за оптималната амплитуда на импулсите, при които се получава най-същественото изменение в стойността на съпротивлението.

2/ най-силна е промяната след преминаването на първия импулс (поредица) през резисторната структура. Ако амплитудата на този импулс е твърде висока, стойността на съпротивлението се изменя със скок съответно към +, или - 20%. Съществува реалната възможност промяната да надхвърли тези граници, което говори за разрушаването на структурата. Ето защо за получаването на плавно изменение е необходимо към резистора да се прилагат импулси с постепенно нарастваща амплитуда.

3/ установено е, че най-добри резултати се получават при стъпка във времето $2 \div 5$ sec. - за измерване на текущата стойност на R и съответно $6 \div 15$ sec. за промяна на амплитудата на импулсите. Въз основа на това може да бъде описан и *алгоритъм на процедурата за настройка*:

- измерване началната стойност на съпротивлението.
- прилагане на импулси с определена амплитуда - 'A' за време - 't'.
- сравняване с предварително зададената стойност (целта).
- в случай, че е необходимо към структурата се прилага нова импулсна поредица с увеличена амплитуда, като времето остава същото - 't'.

Тази последователност се повтаря, докато не се достигне желаната стойност на съпротивлението. За да се получи точност до $\pm 0.1\%$ е нужно амплитудата да нараства с много малка стъпка (0.02kV), а времеви интервал между две съседни измервания да бъде сведен до минимум.

При всеки един от тестовите процедурата по настройката продължава до постигането на промяна в стойността на съпротивлението в рамките на $\pm 18 \div 20\%$ от първоначалната стойност.

4. Заключение.

Новата технология за настройка , използваща високоволтови импулси е предназначена предимно за резисторни структури с размери, по-малки от 1.00 mm^2 .

Могат да бъдат направени следните по-важни изводи:

1/ Тази техника за настройка без нарушаване целостта на резисторната повърхност, решава сериозни проблеми, като разпространението на микро-пукнатини в среза (при лазерна настройка).

2/ Точността при настройката, по-малка от 1.0% е възможно да се постигне единствено чрез комбиниране на техниките с постепенното увеличаване(намаляване) амплитудата на импулсите, както и чрез прецизното определяне броя на преминаващите импулси през структурата.

3/ Проблем в този случай може да се окаже от една страна паразитното (нежелано) влияние на силното електрическо поле към останалите (ненастройвани) високоомни резистори, а от друга страна необходимостта от осигурен достъп до контактните площадки на съответния резистор. Последното е т.нар. *Lay-out* проблем, който може да бъде разрешен чрез въвеждането на допълнително поле по периферията на подложката, което да осигурява връзка до вътрешните резистори за структурата. След настройката това поле може да бъде отстранено.