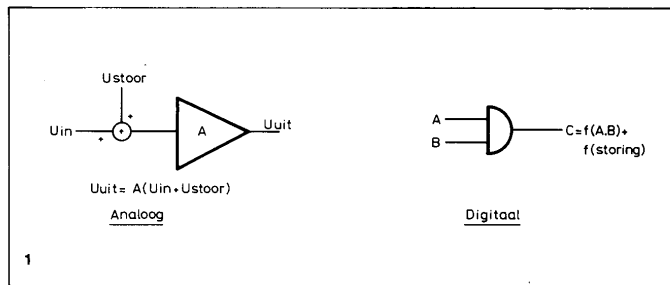


ZELF VOEDINGEN ONTWERPEN EN BOUWEN

H. J. C. OTTEN

VOEDINGSPROBLEMEN BIJ DIGITALE SCHAKELINGEN

In het volgende artikel wordt duidelijk gemaakt welke storingen mogelijk zijn bij digitale schakelingen en wat de remedie daar tegen is. Er wordt ook aandacht besteed aan hoe een print te ontwerpen met zo min mogelijk kans op storingen en een maximale schakelsnelheid.



Verskil met analoge schakelingen

Veel van wat in het vorige artikel 'Voedingsproblemen bij audio-apparatuur' over het verhelpen van storingen is gezegd is ook van toepassing op digitale schakelingen. Het is echter onjuist om te stellen dat ontstoren bij digitale schakelingen hetzelfde probleem is als bij analoge schakelingen zoals audio-apparatuur. Waarom dit zo is, zullen we met een voorbeeld proberen duidelijk te maken. Inafb. 1 zijn naast elkaar een voorbeeld van een analoge schakeling, een versterker, en een voorbeeld van een digitale schakeling, een poort, te zien. Per definitie versterkt de versterker het ingangssignaal met een factor A. Een op de ingang aanwezig stoorsignaal wordt ook met een factor A versterkt en is op de uitgang een veel grotere storing geworden. Bij analoge schakelingen moeten we dus de storing op de ingang zo klein mogelijk maken. Bij digitale schakelingen kennen we maar twee toestanden, de 0 en de 1, en niets daar tussen in. Een stoorsignaal op de ingang is alleen dan op de uitgang merkbaar als het zo groot is dat het bijvoorbeeld een 0 op de ingang tot een 1 maakt. De storingsmarge van digitale schakelingen, een getal wat aangeeft hoe groot een

storing moet zijn om op de uitgang invloed te hebben, is bijvoorbeeld bij TTL-schakelingen 400 mV en bij CMOS nog veel groter. Een klein stoorsignaal op de ingang merken we dus niet op de uitgang en we hoeven ons er dan ook niet druk over te maken. Eén van de mogelijke bronnen van storingen op de ingang is de rimpel op de voedingsspanning, die bij audio-apparatuur zo klein mogelijk moest zijn. Bij digitale schakelingen is de rimpelspanning helemaal niet zo belangrijk. Een andere storingsbron is de aardlus, alweer bij digitale schakelingen geen groot probleem.

Storingsbronnen bij digitale schakelingen

Toch is bij digitale schakelingen een groot aantal storingen mogelijk. De belangrijkste zijn:

1. Doordringen van hoogfrequente stoorspulsen via de lichtmetaansluitingen of door instraling, meestal op in- en uitvoerleidingen.
2. Overspraak tussen dicht bij elkaar gelegen signaalleidingen.
3. Bij de overgang van de 0-toestand naar de 1-toestand is de stroomopname tijdelijk erg hoog (en omgekeerd ook). De voeding kan dat niet zo snel bijslaffen en wordt daar ook nog in te-

gengewerkt door de parasitaire inductie van de voedingslijnen. Plaatselijk kan de voedingsspanning daardoor wegvallen.

De bij punt 1 genoemde storingen hebben dezelfde remedie als voor analoge schakelingen en de in het vorige artikel gegeven remedies zijn hier ook bruikbaar. Bij digitale schakelingen zijn dit soort storingen wel veel schadelijker. Bij analoge schakelingen is het tijdens het optreden van de storing, bijvoorbeeld schakelklokken van koelkasten en zo, wel hinderlijk maar daarna is het over. Bij digitale schakelingen uit een storing zich door de verandering van de uitgangstoestand van een poort zonder dat de ingangstoestand daartoe aanleiding gaf. Het is duidelijk dat dit de gehele gang van zaken in een digitale schakeling in de war kan schoppen en de storing nog lang kan doorwerken. Een bekend voorbeeld zijn de TTL-klokken die altijd voorlopen. Instraling kan ook een probleem zijn. Directe instraling kan het beste worden bestreden door goede afscherming, een ingreep in het frequentiegebied is bij digitale schakelingen meestal niet toegestaan. Verder moeten we voorzichtig omspringen met losse ingangen. Deze zijn bij TTL-logica wel hoog, maar zeer storingsgevoelig voor pick-up. Beter is de losse ingang met een



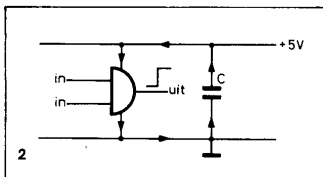
- afb. 1. Storingen werken anders in op digitale schakelingen dan op analoge schakelingen.
- afb. 2. Een poort tijdens de 0 naar 1 overgang met de daarbij optredende stromen. Let op de daarbij gevormde kring (pijltjes).
- afb. 3. Links een voorbeeld van ontkoppelen die een kring met hoge inductiviteit vormt, rechts een voorbeeld van laag-inductieve ont koppeling.

weerstand aan de voeding te leggen. Voor CMOS-logica is het door de zeer hoge weerstand niet mogelijk een ingang los te laten, de ingangstoestand is dan volledig onbepaald.

In- en uitvoerleidingen zijn bij digitale schakelingen het meest kwetsbaar. Voedingslijnen moeten het liefst niet buiten de kast komen en andere leidingen moeten goed worden afgeschermd, waarbij de mantel aan beide zijden moet worden geaard. De reden hiervoor zal in het vervolg duidelijk worden.

Overgangen van logische toestand

In punt 3 is aangegeven dat bij verandering van de logische uitgangstoestand van een poort problemen kunnen optreden. We willen daarom de gebeurtenissen bij zo'n overgang eens beter bekijken. In afb. 2 is een poort getekend met in- en uitgangen, de voedingslijn en de aardeverbinding. De voeding is ont koppeld met een con-



densator. De bedoeling daarvan is snelle belastingvariaties (transiënts), die de voeding, zoals hiervoor al is uitgelegd, niet kan volgen, op te vangen door tijdelijk als spanningsbron te fungeren. Tijdens een 0 naar 1 overgang en omgekeerd levert de condensator de daarvoor benodigde lading. De condensator moet wel geschikt zijn om in de korte schakeltijd (1,5 ns bij Schottky-TTL) de benodigde stroom te leveren. Een belangrijke parameter bij de

keuze van een condensator is daarom de door sommige fabrikanten opgegeven maximale pulsstijgtijd, meestal opgegeven in $V/\mu s$. Met de formule

$$i = C \cdot \frac{dv}{dt}$$

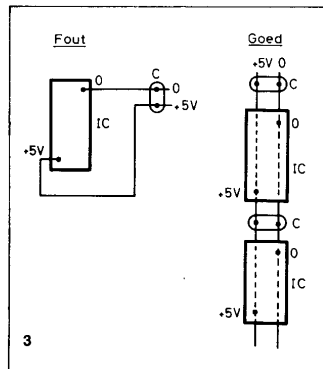
kan worden gecontroleerd of de condensator genoeg stroom kan leveren. Het model is nu als volgt. De poort ondergaat een verandering in uitgangstoestand van 0 naar 1. Daartoe moet de poortstroom in de uitgangsleding sturen, deze stroom wordt van de voedingslijn opgenomen. Als voeding fungeert de capaciteit, bij de snelle overgang is de op afstand gesitueerde voeding niet werkzaam. De condensator is zo gekozen in uitvoering en waarde dat de stroom kan worden geleverd. Toch kan het nog misgaan. De voedingsaansluitingen van de poort en de aansluitdraden van de condensator vormen een kring. Afhankelijk van de geometrie heeft deze kring een inductie, die de snelle stroomafname tegenwerkt door een tegen EMK op te wekken volgens:

$$E = -L \frac{di}{dt}$$

De grootte van de inductie L is hoofdzakelijk afhankelijk van de geometrie. De inductie is kleiner te krijgen door het oppervlak van de kring zo klein mogelijk te maken, dat betekent de voedingslijnen zo dicht mogelijk bij elkaar te leggen en de condensator zo dicht mogelijk bij het IC te plaatsen. Een voorbeeld daarvan is in afb. 3 te zien, de condensator is hier voor beide getoonde IC's werkzaam. Deze wijze van ont koppelen is een veel zwaardere eis dan de meeste halfgeleiderfabrikanten voorschrijven, namelijk één ont koppelcondensator per 5 à 10 IC's. Uit het bovenstaande is hopelijk duidelijk geworden dat dit voor snelle logica zoals Schottky-TTL niet voldoende is.

Het nabuureffect

Vele lezers zullen zich verbazen dat de door hun opgebouwde digitale schakeling met een veel minder strenge ont koppeling zonder problemen werkt. De oorzaak daarvan is het nabuureffect. Als een uitgang van toestand verandert zal plaatselijk de voedingsspanning dalen. Andere poorten in de omgeving die in de 0 uitgangstoestand zijn, gaan dan aanzienlijk minder stroom gebruiken en geven in feite wat stroom aan



de voeding terug. De schade van de plaatselijke spanningsdaling kan daarmee nog best beperkt blijven. Dit gaat natuurlijk alleen op als er poorten in de buurt in de 0 toestand zijn en de kring niet te groot is. Voor TTL gaat dit goed, voor Schottky-TTL niet. Het is duidelijk gevaarlijk op het nabuureffect te vertrouwen, beter ont koppelen is veel verstandiger.

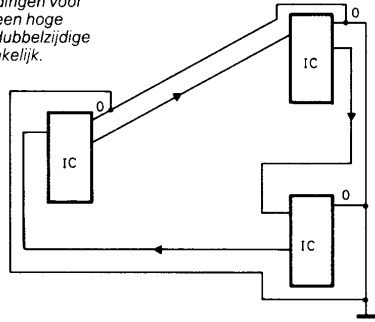
Ontstoorcondensatoren

We hadden het net over de eisen, die aan een ont koppelcondensator worden gesteld, namelijk een goede stijgtijd en een flinke daarmee samenhangende capaciteitswaarde. Hieraan voldoen keramische schijfcondensatoren van bijvoorbeeld 10 tot 100 nF, maar uitstekend zijn ook tantaal-elco's van 1 μF . In vele gevallen voldoet een gewone elco van 10 tot 25 μF ook wel, de slechtere stijgtijd wordt goed gemaakt door de grotere capaciteit.

Overspraak

Als storingsbron werd in het voorgaande, bij punt 2, genoemd de overspraak tussen twee leidingen. De oorzaak daarvan willen we in het volgende pro-

afb. 4. Voorbeeld van een print lay-out met laag-inductieve verbindingen voor weinig overspraak en een hoge schakelsnelheid. Een dubbelzijdige print is dan wel noodzakelijk.



beren duidelijk te maken. Het probleem is terug te brengen tot het op de juiste manier met elkaar verbinden van een uitgang met een ingang, terwijl deze uit- en ingang ver uit elkaar liggen. Er is dan een lange printbaan nodig, die vaak parallel loopt aan andere printbanen met dezelfde functie. Als over zo'n printbaan een uitgangstoestandverandering wordt overgedragen, wordt in de er naast gelegen printbanen een stoorsignaal opgewekt. De oorzaak daarvan is een onjuiste wijze van bedraden van de aarde-aansluitingen. Als een uitgang van toestand verandert, wordt deze verandering over de print-

baan overgebracht met een aanzienlijke snelheid. Deze plotselinge verandering veroorzaakt plaatselijk een aanzienlijke elektro-magnetische verstoring, die zich uit door het gebruiken van omliggende leidingen als terugkeerpad, ongeacht de natuurlijk aanwezige galvanische terugkeerpaden, in het algemeen de aardeleidingen. Bij een slecht printontwerp is de heenweg namelijk ver gescheiden van deze galvanische terugweg, de hierdoor gevormde kring heeft een aanzienlijke inductie. De snelle verandering in uitgangstoestand wordt hierdoor tegengewerkt en de voortplanting van de toestands-

verandering ook.

De remedie is duidelijk, er moeten zoveel mogelijk aardeverbindingen komen tussen de IC's. Elk IC dat een signaalverbinding heeft met een ander IC moet ook een rechtstreekse aardeverbinding met dat andere IC hebben. Onvermijdelijk worden hierdoor aardlussen gevormd, maar, zoals we in het begin al hebben aangetoond, is dit niet schadelijk.

Misschien is het nu ook duidelijk waarom in- en uitvoerleidingen moeten worden afgeschermd en de afscherming aan beide kanten geaard. Het doel daarvan is weer de overspraak te verminderen en door een laaginductief terugkeerpad de schakelsnelheid niet te verminderen.

Vaak wordt zogenaamd flatcable gebruikt bij printverbindingen, vele onafgeschermd verbindingenkabels naast elkaar over een grote lengte. De kans op overspraak kan dan klein worden gemaakt door tussen twee signaallijnen een aardlijn te gebruiken.

Literatuur: D. Walton
P.C.B. layout for high-speed Schottky TTL.
Wireless World Febr. 1978.