

THE VANDERVEEN MC-10

De Vanderveen MC-10 is de high end step-up transformator voor moving coil pickupelementen. Hij transformeert de lage MC-spanning 10 keer omhoog voor rechtstreekse aansluiting op de MM-ingang van de voorversterker. Het frequentiebereik is extreem groot, nauwkeurige aanpassing op ieder MC-element, hoogwaardig kernmateriaal met onhoorbare granulatievorming (Barkhausen-ruis), lineaire fase en differentiële fase, kritische demping van het MC-element, grote magnetische uitstuurbaarheid waardoor laagfrequent vervorming onhoorbaar wordt, gemakkelijke montage voor zowel asymmetrische (RCA) als gebalanceerde (XLR-3) aansluiting. Door middel van drie externe componenten kan ieder MC-element op de MC-10 aangepast worden, enz...

Inleiding

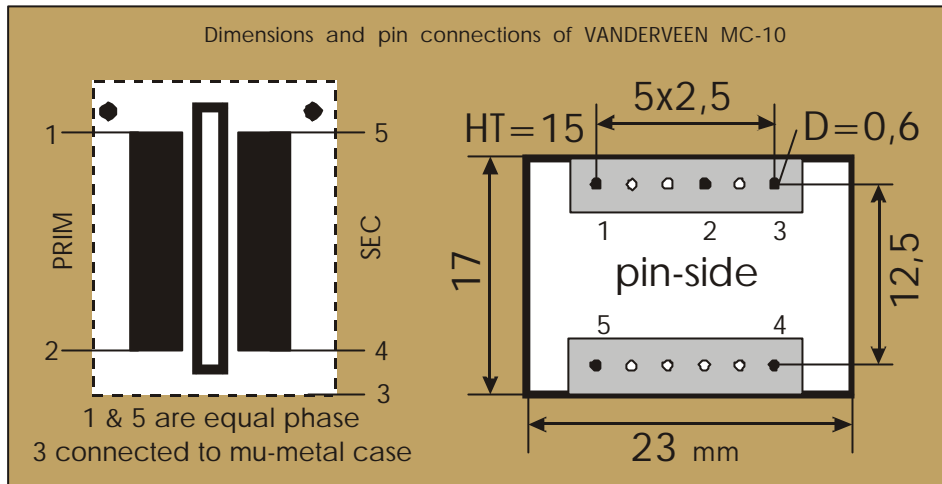
De grammofoonplaten zijn nog lang niet weg. Puristen horen nog steeds hoe goed de kwaliteit van de plaat is. Ze geven kapitalen uit aan prachtige draaitafels, schitterende armen en hoogwaardige elementen. Mijn nieuwe Vanderveen MC-10 step-up transformator is speciaal ontworpen voor de mensen die willen genieten van het goede dat de plaat in zich draagt. Het gaat om pure kwaliteit, diepe beleving en emotie. En de nostalgie, wat is daar mis mee?

Jarenlang heb ik me druk gemaakt over audiokwaliteit en mijn antwoord was de ontwikkeling van hoogwaardige ringkern uitgangstransformatoren voor buizenversterkers. Hiermee kon ik een fundamentele verbetering aanbrengen die de buizenversterker van een warm klinkend apparaat transformeerde tot een bloedschone zeer breedbandige gedetailleerde versterker. Hiermee ben ik al twintig jaar bezig en dit werk is nog lang niet afgerond. De nieuwe MC-10 transformator komt voort uit deze ervaring. Ik ben nu aan de andere kant van de kostbare high end keten gaan kijken; niet bij de luidsprekers maar bij de signaalbronnen. Daarvan heb ik de meest gevoelige gekozen: het moving coil pickupelement. De MC-10 is bedoeld voor de kleinste signalen die we in onze geluidsinstallatie tegenkomen. Het gaat nu niet over Watten, maar over microVolten!

Moving Coil (MC) pickupelementen hebben, zoals hun naam zegt, een bewegende spoel in een magnetisch veld. Bij moving magnet (MM) elementen beweegt de magneet. De grote voordelen van MC ten opzichte van MM zijn dat de bewegende massa kleiner is en de geringere resonantie bij 20 kHz en daarboven. Het grote nadeel van MC is dat deze elementen zo weinig signaalspanning afgeven. Ze genereren ongeveer 0,1 tot 0,5 mV bij 1kHz en 2,5 cm/s snijsnelheid. Deze spanning is te klein om rechtstreeks aan te sluiten op de standaard MM-voorversterker met ingebouwde RIAA-correctie. De ingangsgoedheid daarvan is gestandaardiseerd op 4,7mV en zoveel geeft het MC-element niet af. Hiervoor zijn er twee oplossingen: a) voeg een pré-pré voorversterker toe (met buizen of IC's of losse transistoren) die ongeveer 10 x versterkt, of b) plaats een step-up transformator tussen het MC-element en de MM-ingang van de voorversterker. Door mijn jarenlange ervaring met transformatoren en omdat ik met passieve componenten (trafo) gehoorsmatig betere ervaring heb dan met actieve schakelingen, heb ik besloten om oplossing b) te realiseren. De nieuwe Vanderveen MC-10 step-up transformator vergroot de lage signaalspanningen van het MC-element met een factor 10 en zorgt tevens voor een optimale aanpassing en belasting van het gevoelige MC-element.

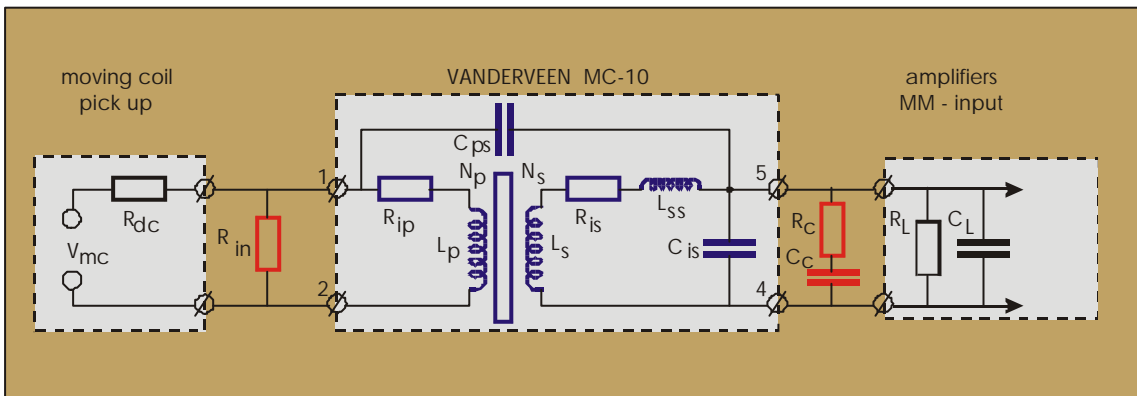
Verkenning in vogelvlucht

In figuur 1 staan de afmetingen en pinaansluitingen van de MC-10 getekend. Het gaat om een kleine mu-metaal afgeschermd transformator van 23 bij 17 mm grondvlak en een hoogte van 15 mm. De aansluitdraden kunnen rechtstreeks aan de pinnen gesoldeerd worden of de trafo kan op een print worden geplaatst. Er zitten twee wikkelingen in: de primaire (tussen de pinnen 1 en 2) is voor aansluiting op het MC-element, terwijl de secundaire wikkeling (tussen de pinnen 4 en 5) naar de MM-voorversterker gaat. Pin 3 is een aarde verbinding met het metalen huis van de transformator.



figuur 1: pinaansluitingen en afmetingen van de MC-10

In figuur 2 wordt gekeken naar wat er inwendig in de transformator en het MC-element en de MM-voorversterker gebeurt. Het element (links) wordt weergegeven als een spanningsbron plus de draadweerstand R_{DC} van de moving coil spoel. Van de MM-voorversterker (rechts) is vooral de ingangsimpedantie van belang en die wordt gesymboliseerd door de ingangswaerstand R_L (meestal 47 kOhm) en de ingangscapaciteit C_L (in de buurt van 100 pF inclusief interlinkkabel). In het midden staat de MC-10 met zijn wikkelingen N_p en N_s , plus de wikkel-draadweerstand R_{ip} en R_{is} en de bijbehorende interne inducties L_p en L_s . De lekinductie L_{ss} en inwendige capaciteiten C_{is} en C_{ps} bepalen het hoogfrequente gedrag van de transformator. Ook staan er drie extra componenten getekend: R_{in} , R_C en C_C . Deze worden extern aangebracht en zorgen voor een uiterst nauwkeurige aanpassing op het MC-element.



figuur 2: equivalent schema van de MC-keten

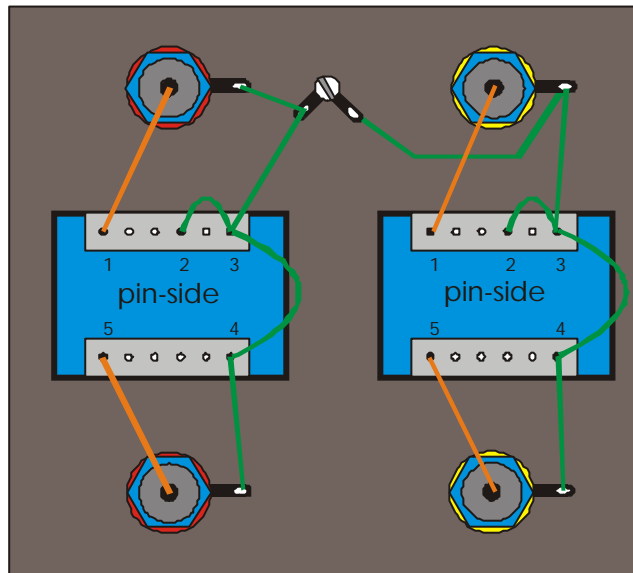
In de nu volgende hoofdstukjes wordt heel precies gekeken naar: 1) hoe sluit je de MC-10 aan, 2) hoe geef je het MC-element zijn optimale belasting, 3) hoe stem je de MC-10 uiterst nauwkeurig af, 4) specificaties van de MC-10 plus aanvullende achtergrond informatie.

Aansluiten van de MC-10

De MC-10 kan onder in de voet van de platenspeler geplaatst worden, of in een apart metalen doosje, of in de MM-voorversterker (als daar ruimte is). De methode van aansluiting is per geval gelijk. Daarom wordt nu als voorbeeld gekozen voor twee MC-10 transformatoren (voor linker en rechter kanaal) in een metalen doos die tussen platenspeler en MM-voorversterker wordt geplaatst. Er zijn twee methodes van aansluiten: ongebalanceerd (asymmetrisch met RCA-cinch stekers) of gebalanceerd (met XLR-3 stekers). De ongebalanceerde wordt als eerste besproken omdat die het meeste voorkomt.

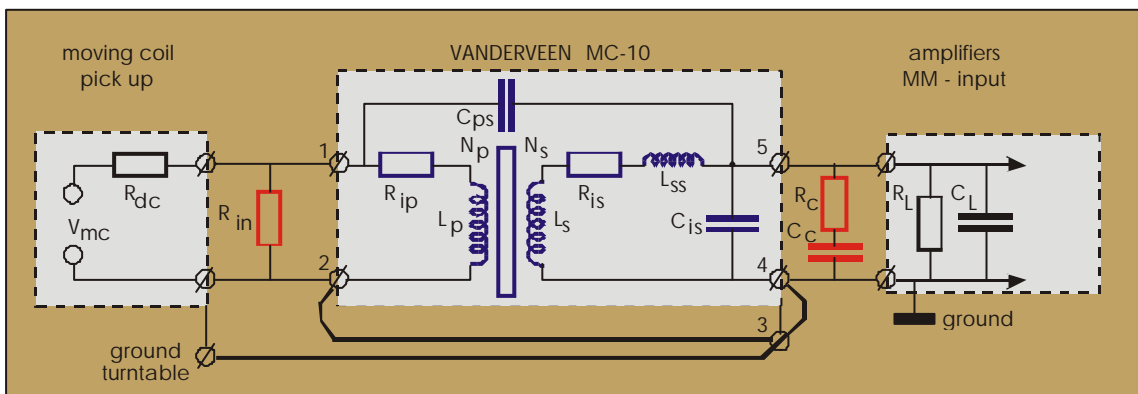
Aansluiting Ongebalanceerd

In figuur 3 is de opengeklapte metalen doos getekend met 4 RCA-chassisdelen (hoge kwaliteit loont hier) en een schroefaansluiting om de aardendraad van de draaitafel mee te verbinden. De transformatoren worden met siliconenlijm (kan later weer gemakkelijk losgehaald worden) op de bodem vastgelijmd. Met behulp van hoogwaardig montage draad (zilver verdient hier echt de voorkeur) worden de getekende verbindingen gemaakt (solderen met zilversoldeer heeft opnieuw de voorkeur). De weerstanden R_n plus R_c en condensator C_c zijn nog niet getekend. Deze worden later besproken.



figuur 3: ongebalanceerde aansluiting

Figuur 4 laat het bijbehorende schema zien. Daar blijkt dat de pinnen 2 en 3 en 4 onderling verbonden zijn en aangesloten op het aardecontact van de metalen kast. De platenspeler-ingang komt terecht op pin 1 terwijl de uitgang naar de MM-voorversterker pin 5 is.

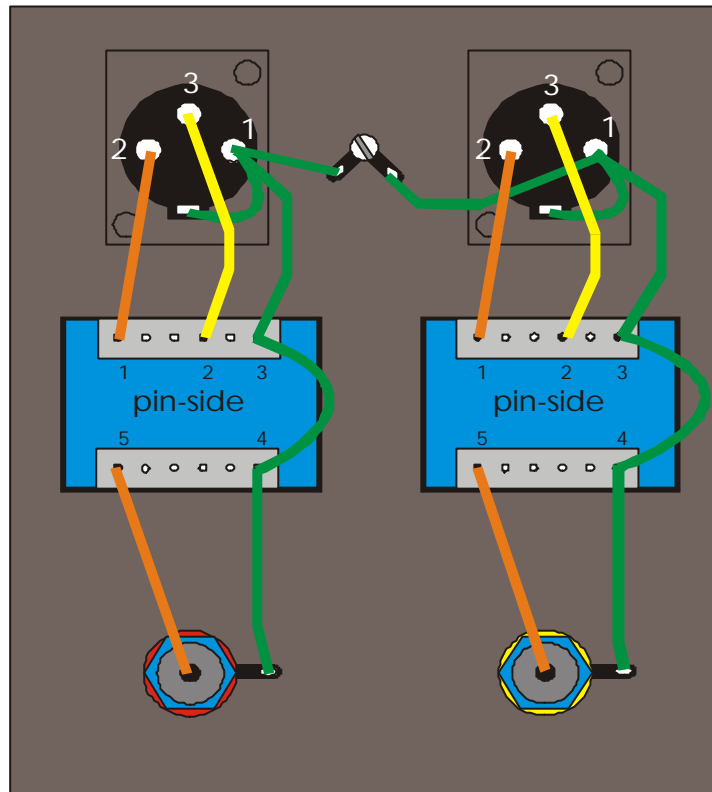


figuur 4: aansluitschema ongebalanceerd

Aansluiting Gebalanceerd

Ik begin hier met een **waarschuwing**: alle signaaldraden plus elementarm plus platenspeler zelf moet honderd procent elektrisch afgeschermd zijn (alle metalen delen verbonden aan elkaar, nergens zijn open signaaldraden zichtbaar) en via afgeschermd dubbeladerige gebalanceerde kabels per kanaal verbonden met de overeenkomstige XLR-3-M plug. Is dat niet het geval, dan zal vervelende niet weg te werken brom optreden en moet echt de ongebalanceerde aansluitingsmethode gebruikt worden.

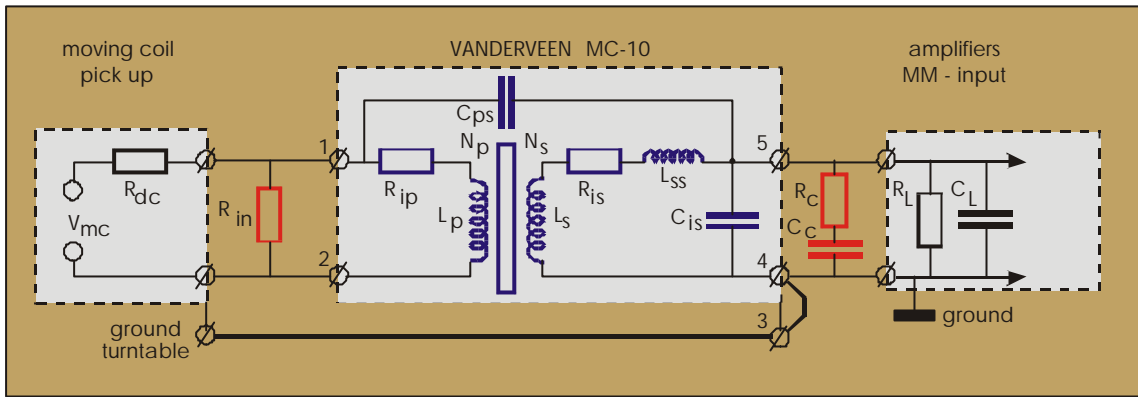
Figuur 5 laat opnieuw het metalen kastje zien, maar nu zitten er bij deingangskant twee XLR-3-F chassisdelen en bij de uitgang twee RCA/cinch chassisdelen (als de MM-voorversterker ongebalanceerd is).



figuur 5: gebalanceerde aansluiting

Het element is op de bijbehorende XLR-3 plug aangesloten met de volgende conventie: pin-1 van plug is afscherming, pin-2 van plug is elementsignaal in fase, pin-3 van plug is elementsignaal in tegenfase (deze nummers staan duidelijk op de pluggen en chassisdelen aangegeven, tenminste als ze van goede kwaliteit zijn; Neutrix Gold uitvoering is daar een voorbeeld van).

Hoe de interne bedrading nu gelegd moet worden, staat in figuur 5 aangegeven. Opnieuw zijn de afstemcomponenten weggelaten, dat volgt later. Figuur 6 geeft het bijbehorende aansluit-schema. Daar is duidelijk zichtbaar dat trafopin-1 verbonden is met het in-fase elementsignaal, terwijl trafopin-2 verbonden is met het tegenfase elementsignaal. Het element zit nu dus rechtstreeks op de primaire aangesloten en aardeverbindingen of afschermmantels worden niet als signaalgeleiders gebruikt (hetgeen onder andere verklaart waarom bij professionele toepassingen altijd gebalanceerde verbindingen worden gebruikt).



figuur 6: aansluitschema gebalanceerd

Stel tot slot dat uw MM-voorversterker een gebalanceerde ingang heeft. Dan trafopin-4 naar chassisdeel XLR-3M-pin-3, trafopin-5 naar XLR-3M-pin-2 en trafopin-3 naar aarding metalen kastje en naar XLR-3M-pin-1.

Optimale Belasting MC-element

Om te voorkomen dat een MC-element hoogfrequent gaat resoneren (opslingeren) is een elektrische belasting van het element nodig. Dit resoneren is begrijpelijk als men zich realiseert dat een bewegende massa via een rubberdemping (veerwerking) opgehangen is. In de natuurkunde handboeken wordt dan gesproken over een "massa-veer-systeem" met bijbehorende resonanties en Q-factoren en dergelijke.

Om zulke resonanties te voorkomen, geeft de fabrikant bij de specificaties van het element de zogenaamde "optimale afsluitimpedantie" op (optimal load impedance). Bij de MC-10 kan die afsluitimpedantie (vanaf nu heet deze Z_L) ingesteld worden met een extra weerstand R_{in} , die tussen de pinnen 1 en 2 van de transformator gesoldeerd moet worden.

Samen met de MM-voorversterker ingangsimpedantie, heeft de transformator al een zekere afsluitimpedantie. Deze bedraagt $Z_L = 344 \text{ Ohm}$. Maar stel nu dat de fabrikant zegt dat Z_L een andere waarde moet hebben, bijvoorbeeld kleiner (groter kan niet, dan is de MC-10 niet geschikt).

Als voorbeeld neem ik hier een element met aanbevolen $Z_L = 150 \text{ Ohm}$. Dan wordt de extra te plaatsen weerstand R_{in} als volgt berekend: $R_{in} = (344 * 150) / (344 - 150) = 267 \text{ Ohm}$ (neem de standaardwaarde 270 Ohm). Nog een voorbeeld: stel Z_L moet 67 Ohm zijn: $R_{in} = (344 * 67) / (344 - 67) = 83 \text{ Ohm}$ (neem de standaardwaarde 82 Ohm).

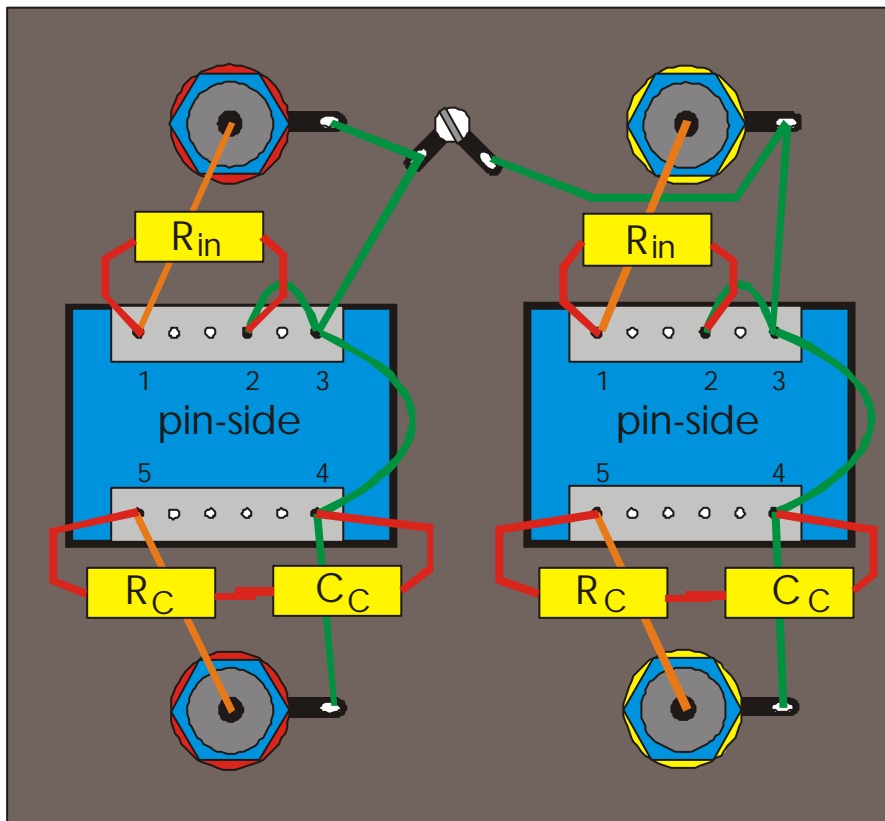
Omdat ieder element zijn eigen optimale Z_L heeft, is het onmogelijk om alle mogelijke waarden van R_{in} bij de trafo te leveren. Koop na berekening de dichtbijliggende waarde uit de E12 reeks. Metaalfilmweerstand van 1/4 W zijn uitstekend; precisie draadgewonden weerstanden (mits inductiearm gewikkeld) zijn nog beter. In tabel 7 staan nog wat meer voorbeelden die duidelijke richtwaardes voor R_{in} geven.

Vat ik het bovenstaande nu samen: met behulp van een externe weerstand R_{in} kan, overeenkomstig met de specificaties van de elementfabrikant, het MC-element uiterst nauwkeurig gedempt worden, waardoor hoogfrequente (boven 20kHz) resonanties worden opgeheven.

Z_L	R_{in}	R_{in} volgens E12-reeks
344	oneindig	geen weerstand plaatsen
300	2345	2k2
250	915	1k2 en 3k9 parallel = 918
200	478	470
150	267	270
100	141	220 en 390 parallel = 141
50	58,5	56 + 2,7 in serie
30	32,9	33
20	21,2	22
10	10,3	15 en 33 parallel = 10,3
[Ohm]	[Ohm]	[Ohm]

Tabel 7: voorbeelden van R_{in} berekeningen en benaderingen

Aansluiting van R_{in} : altijd rechtstreeks tussen de pinnen 1 en 2 van de MC-10 transformator en zo dicht mogelijk tegen de transformator aan. Zie onderstaande figuur 8.



figuur 8: montage van R_{in} , R_C en C_C

Afstemming MC-10

In de MC-10 zelf zitten inducties en capaciteiten en weerstanden. In de taal van de natuurkunde betekent dit opnieuw: er kunnen resonanties optreden. Nu is de MC-10 zo ontwikkeld dat dit bij de meeste elementen niet zal gebeuren. Als echter de draadweerstand R_{DC} van het element kleiner of gelijk dan 20 Ohm is, dan is er externe correctie nodig. Dus nu wordt de draadweerstand van het elementspoeltje de bepalende factor.

Het is heel belangrijk om de resonantie in de transformator zelf op te heffen. Doe je dat niet, dan gaat het geluidsbeeld hoogfrequent in amplitude oplopen en langer naklinken. Dit verschijnsel wordt in de literatuur aangeduid met "ringing". In de praktijk hoor je het doordat het geluidsbeeld te fris/hoog/ijl wordt en zelfs luistermoeheid kan opwekken. Een extra effect is dat de elektrische fase afwijkingen gaat vertonen. Nog erger is de dan optredende differentiële fasevervorming. Deze beschrijft hoe in klanken lage en hoge tonen in de tijd uit elkaar getrokken worden zodat de omhullende van de oorspronkelijke golfvorm danig wordt aangetast. Ons oor reageert niet alleen op toonhoogtes en amplitudes, maar ook op de signaalomhullende. Dus we kunnen die omhullende maar beter onaangepast houden en dat vereist lage differentiële fasevervorming.

Om al deze narigheid op te lossen, moeten de externe correctiecomponenten R_C en C_C toegevoegd worden. De weerstand R_C en de condensator C_C worden in serie geplaatst en rechtstreeks tussen de pinnen 4 en 5 van de transformator gesoldeerd, zo dicht mogelijk bij de transformator. Voor de uitvoering van R_C geldt: metaalfilm 1/4 W is uitstekend. Voor C_C geldt: werkspanning kan iedere waarde zijn, Styroflex is goed, Mica is beter.

Onderstaande tabel 9 geeft voor de belangrijke gevallen ($R_{DC} < 20$ Ohm) aan hoe groot R_C en C_C moeten zijn, uitgaande van de door de elementfabrikant verstrekte gegevens van de draadweerstand R_{DC} van het spoeltje in het element. Merk op dat er onderscheid gemaakt wordt tussen ongebalanceerde en gebalanceerde aansluiting van de MC-10. De reden hiervoor is dat de koppelcapaciteit C_{ps} (zie figuur 4) in beide situaties verschillende invloed uitoefent. In de tabellen wordt dit meegenomen.

R_{DC}	R_C unbal.	C_C unbal.	$f_{.3H}$ unbal.	R_C bal.	C_C bal.	$f_{.3H}$ bal.
3	15k	150	70	3k8	330	90
5	18k	120	70	4k7	270	90
10	18k	100	70	6k8	180	100
15	47k	47	60	15k	100	>100
20	none	none	50	22k	56	>100
21	none	none	50	none	none	100
[Ohm]	[Ohm]	[pF]	[kHz]	[Ohm]	[pF]	[kHz]

Tabel 9: hoogfrequent MC-10 correctie met R_C en C_C voor $R_{DC} < 20$ Ohm

Specificaties van de MC-10

Tijdens de fabricage van de MC-10 treden altijd kleine deviaties op. In onderstaande tabel 10 wordt de maximale toegestane deviatie in procenten uitgedrukt. Figuur 2 geeft aan wat met elke grootheid wordt bedoeld.

MC-10	value	deviation	unit
N_s / N_p	12,0	+/- 1 %	[-]
R_{ip}	11,0	+/- 5 %	[Ohm]
L_p	1,0	+/- 4 %	[H]
R_{is}	1k62	+/- 1 %	[Ohm]
C_{is}	202	+/- 7 %	[pF]
C_{ps-eff}	427	+/- 9 %	[pF]
L_{ss}	5.9	+/- 15 %	[mH]
$V_{p,max}$	100	20Hz @ 1% THD	[mVrms]
R_C & C_C	table 9	table 9	table 9
R_L & C_L	47k//100p	Standard MM-input	[Ohm] & [F]

Tabel 10: MC-10 specificaties

De rekenaars onder ons weten vast hun weg wel te vinden met deze specificaties. Ik geef verderop nog wat hints.

Opvallend is dat bij L_{ss} en C_{is} en C_{ps} redelijk grote deviaties optreden. Hun waarden worden bepaald door meting van resonantie frequenties. Dit betekent rekentechnisch dat deze gemeten frequentiewaarden van elkaar afgetrokken moeten worden, waardoor spreiding in elke frequentiemeting vergroot door gaat werken. Toch handhaaf ik deze meetmethode, omdat de resultaten ervan bijzonder goed met de gemeten overdrachtfuncties overeenstemmen.

De waarde van L_p is bepaald bij 80 mV_{pp} @ 1kHz. Tot 8V_{pp} blijft L_p nagenoeg constant, daarboven moet men met mogelijke kernverzadiging rekening houden. Zie daartoe de specificatie van $V_{p,max}$ die aangeeft hoe extreem groot de magnetische uitstuurbaarheid van deze transformator is, voordat er ook maar sprake is van enig hoorbare kernverzadiging.

De primaire naar secundaire koppelingscapaciteit C_{ps} werkt niet geheel door op het frequentiebereik. Het deel ervan dat dit wel doet is aangeduid als C_{ps-eff} . In de gebalanceerde aansluiting (zie hiervoor) is alleen C_{is} actief. Bij de ongebalanceerde aansluiting zijn C_{is} en C_{ps-eff} actief, waarbij C_{ps-eff} parallel aan C_{is} gedacht moet worden. Dit verklaart ook waarom het frequentiebereik verschilt in ongebalanceerde en gebalanceerde aansluiting. Zie daartoe tabel 11.

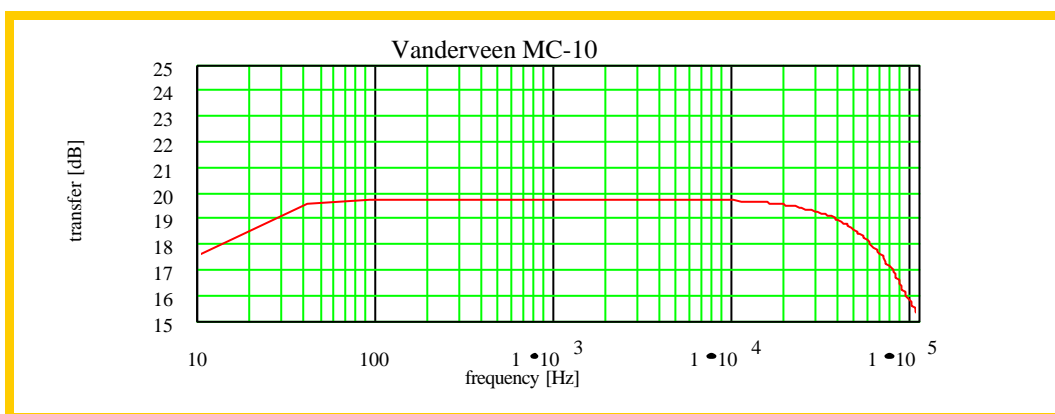
R_{DC}	f_{-3L}	f_{-3H} unbal.	f_{-3H} bal.
10	3	70	100
20	4	50	>100
30	5	40	90
40	7	38	90
50	8	32	80
60	9	27	70
70	10	25	60
80	11	20	50
90	12	19	50
[Ohm]	[Hz]	[kHz]	[kHz]

Tabel 11: -3dB frequentiebereik van de MC-10 als functie van R_{DC}

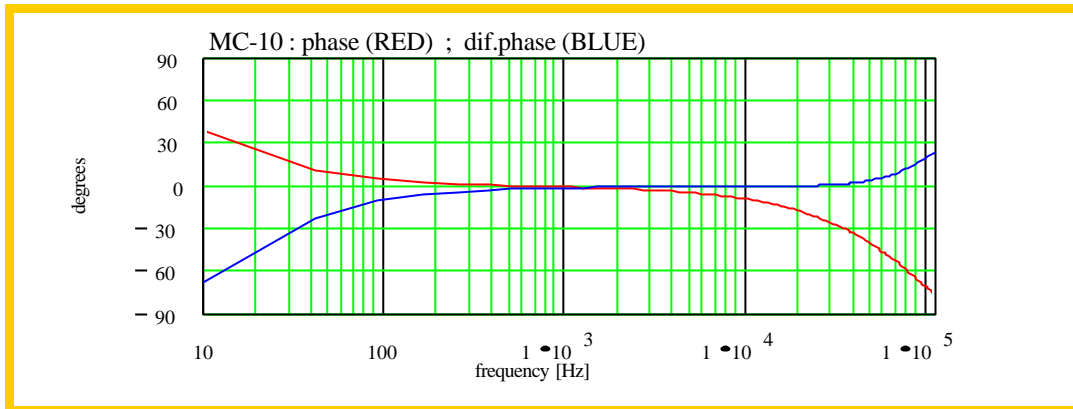
Het is niet zo moeilijk om de overdrachtsfunctie van deze transformator vast te stellen als men de volgende methode gebruikt: splits de overdrachtsfunctie in een laagfrequent deel (alleen de weerstanden en L_p en transformeer alle secundaire weerstanden met 12^{-2} naar de primaire kant), in een middenfrequent deel (alleen de weerstanden en $N_s/N_p = 12$) en een hoogfrequent deel (alle weerstanden plus alle capaciteiten en L_{ss} , de trafo is weer ideaal met $N_s/N_p = 12$).

Als voorbeeld geeft figuur 12 de berekende en gemeten overdrachtsfunctie in het frequentiedomein weer voor het geval $R_{DC} = 50$ Ohm.

Figuur 13 geeft de fase en de differentiële fasevervorming. Opmerkelijk daarin is dat de differentiële fasevervorming onder 1 graad blijft tot 30 kHz, hetgeen een prachtig resultaat is.



figuur 12: overdrachtskarakteristiek van de MC-10, $R_{DC} = 50$ Ohm, gebalanceerde aansluiting



figuur 13: fasekarakteristiek van de MC-10 voor $R_{DC} = 50 \text{ Ohm}$, gebalanceerde aansluiting

Slotopmerkingen

Het moge de lezer en de potentiële koper van de MC-10 verbazen dat over zo'n kleine transformator zoveel tekst en uitleg gegeven wordt. Het antwoord is: natuurkunde en elektronica kun je niet ombuigen en je moet dat ook niet willen. Bij sommige producten worden helemaal geen specificaties verstrekt en dan hoop je maar dat wat beloofd wordt (met vaak onduidelijke en slecht gekozen woorden) in de praktijk ook waar zal zijn. Ik volg een heel andere koers. Ik geef zoveel mogelijk informatie zodat men weet waar men aan toe is, het eventueel zelf kan narekenen en nameten. Ik heb dit bij mijn ringkern transformatoren ook gedaan en het heeft er altijd toe geleid dat de klant wist waar hij/zij aan toe was. Hetzelfde geldt hier.

Maar het betekent ook dat als ik een waarschuwing formuleer, daar niet overheen gelezen moet worden. Dus als ik zeg dat de gebalanceerde aansluiting alleen mag als alle draden van element tot aan de trafo zorgvuldig elektrische afgeschermd zijn, dan moet dit ook het geval zijn, want anders krijgt men brom. De 50Hz of 60Hz netspanning en triacstoring kan anders rechtstreeks gaan instralen in het microvoltgebied waar deze trafo werkzaam is.

Er kan nog een oorzaak van brom zijn: aardlussen in de omgeving van een magnetisch lekkende (niet ringkern) voedingstransformator, maar behandeling van dit verschijnsel valt buiten het huidige kader van deze MC-10 bespreking. Echter mijn website is geduldig, dus wie weet kom ik aan een bespreking toe (ook uiterst belangrijk voor gitaarversterkers).

Dan nu subjectief: voorafgaande aan deze productintroductie heb ik een nulserie de wereld rondgestuurd en mijn collega's en vrienden gevraagd om deze transformator eens stevig te testen (elektrisch) en te beluisteren (het horen). Ik heb aardig wat opmerkingen moeten verwerken, maar wat mij bij alle subjectieve commentaren trof, is het volgende: de detaillering van de trafo is extreem groot (terug te vinden in keuze kernmateriaal en zorgvuldige hoogfrequente afstemming). De trafo heeft echt een inspeelperiode nodig om alle eventuele restanten van meetsignalen weg te werken (zowel AC als DC, ze worden stuk voor stuk op hun specs doorgemeten). Na enige uren bloeit de MC-10 open omdat dan deze magnetisatieresten volledig uit de kern zijn verdwenen (de muzieksignalen brengen de kern al swingend naar zijn rustpunt toe) en dan toont dit kleine dingetje zijn volle kracht. Waarin ligt die kracht: in magie? Nee, de kracht ligt in grondig onderzoek, gekoppeld aan heel veel uren luisteren naar vele opties en daar de beste uit kiezen.

Nederland, Zwolle,
4-maart-2004
ir. Menno van der Veen
ir. bureau Vanderveen