

high-current h_{FE} -meter

naar een idee
van C. Sanjay
(India)

Een konventionele h_{FE} -meter is niet erg geschikt voor het meten van de versterkingsfaktor van vermogenstransistoren. Gewoonlijk wordt de stroomversterking namelijk gemeten bij kollektorstromen van slechts enkele milli-ampères. Bij transistoren in wat grotere behuizingen is echter juist de versterking bij stromen van een paar ampères interessant. De hier beschreven h_{FE} -meter is in staat om met stromen tot 10 A te meten. Door gebruik te maken van pulsmetingen kon de voeding van de meter toch heel bescheiden blijven.

Bij elke elektronische schakeling waar wat grotere vermogens verwerkt moeten worden, is het belangrijk dat de eigenschappen van de gebruikte vermogenstransistoren redelijk tot goed bekend zijn. We denken hierbij in het bijzonder aan eindversterkers en voedingen waarbij meerdere vermogenstransistoren parallel zijn geschakeld. Wil men een dergelijke schakeling betrouwbaar laten functioneren, dan moeten die transistoren binnen zekere grenzen dezelfde eigenschappen bezitten. En wat is een van de belangrijkste eigenschappen hierbij? Natuurlijk, de versterkingsfaktor.

Een fabrikant van elektronische apparatuur kan bij de chip-leverancier gewoon een "batch" transistoren met gelijke versterking bestellen, maar voor de hobbyist ligt de zaak niet zo eenvoudig. Wilt u een kwalitatief goede schakeling maken, dan kan het nodig zijn om in de onderdelenzaak een stel transistoren van een bepaald type te kopen en die dan zelf door te meten. Zoals we in de inleiding al opmerkten, is bij vermogenstransistoren vooral de versterking bij grotere stromen interessant. En dat is nou juist iets dat een gewone h_{FE} -meter niet kan. De meeste apparaten houden het voor gezien bij circa 100 mA. U kunt met zo'n apparaat wel goed ge-



wone transistoren selekteren, maar het is hiermee niet mogelijk om te meten aan zwaardere typen waarbij vooral het gedrag bij enkele ampères interessant is. Juist daar daalt de stroomversterking van een power-tor meestal behoorlijk en op die versterking behoort de hele schakeling eigenlijk

gedimensioneerd te worden. Het is niet zo moeilijk om een meetopstelling te maken waarmee de (gelijkstroom)versterking van een transistor bij 5 of 10 A kan worden gemeten. Maar wie heeft een experimenteervoeding die zoveel stroom kan leveren, nog afgezien van de benodigde koeling voor de

transis-
toren
meten met
10 A

te testen transistor? Die problemen heeft het hier beschreven meetapparaat niet!

De opzet van de schakeling

De high-current h_{FE} -meter maakt gebruik van stroompulsen met een puls-pauze-verhouding van 1:100, waardoor de voeding heel klein kan blijven. Bij het meten van de kollektorstroom hebben we de meetmethode omgedraaid om te voorkomen dat er een 10-A-draaispoelmeter nodig is om de kollektorstroom te meten. In dit geval wordt de basisstroom door de schakeling zodanig ingesteld dat een bepaalde kollektorstroom door de transistor loopt waarna de grootte van de basisstroom gemeten wordt tijdens de stroompuls. In het hierbij afgedrukte kader vindt u de bij een dergelijke meting behorende formules.

Voordat we nu naar het complete schema gaan kijken, wordt eerst de werking beschreven aan de hand van een uitgekleeft schema (figuur 1). De schakeling is weliswaar geschikt voor NPN- en PNP-transistoren, maar hier beperken we ons even tot de NPN-meting. De reeds genoemde pulsen met een duty-cycle van 1:100 sturen via transistor T1, T4 en T5 de te testen transistor open (TUT, Transistor Under Test). De pulsduur bedraagt ongeveer 1,5 ms, terwijl de pauzetime circa 150 ms lang is. Door de aanwezigheid van zenerdiode Dz zal T4 alleen geleiden zolang de spanning over kollektorweerstand R_C lager is dan circa 3,3 V. Boven die waarde is de kollektorspanning van T4 lager dan zijn basis-spanning en zal hij dus gaan sperren. Hierdoor wordt de TUT via T5 zo ver open-gestuurd dat de spanning over R_C stabiel wordt gehouden op 3,3 V. De kollektorstroom door de TUT heeft dan een bekende waarde die bepaald wordt door R_C . In feite werkt de combinatie Dz/T4/T5/TUT/ R_C als een stroombron. De basisstroom die dan de TUT in loopt, kan gemeten worden

over R_b en is een maat voor de versterking die de transistor heeft bij de (met R_C ingestelde) kollektorstroom.

De grote stroom die door de TUT loopt tijdens de meetpulsen, wordt uit de voeding betrokken via een flinke buffer-elko (C_b). De nominale stroom die de voeding moet kunnen leveren, blijft daardoor beperkt.

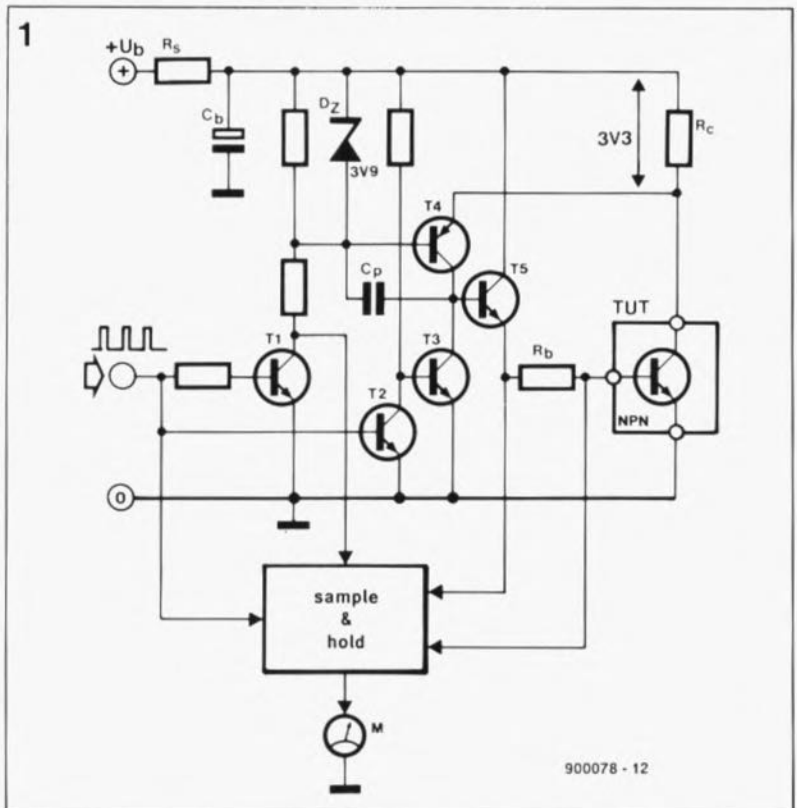
Kondensator C_p tussen basis en kollektor van T4 zorgt ervoor dat de kollektorstroom niet al te abrupt wordt ingeschakeld. Om te voorkomen dat die kondensator T5 en de TUT nog eens extra ver open stuurt als T1 weer gaat sperren (C_p wordt dan praktisch aan de voedings-spanning gehangen), zijn T2 en T3 toegevoegd. Zolang er een puls op de ingang van de schakeling staat, geleidt T2 en spert T3. De overige componenten kunnen dan gewoon hun zojuist beschreven werk doen. Met de neergaande flank van de puls gaat T2 sperren, waardoor T3 in geleiding gaat en daarmee de basis van T5 praktisch met massa verbindt. Voor het meten van PNP-transistoren is de hele in figuur 1 afgebeelde schakeling nog eens in spiegelbeeld aanwezig met komplementaire transistoren. Alleen de zenerdiode en

de kollektorweerstand(en) blijven dezelfde, om bij NPN- en PNP-metingen vergelijkbare meetresultaten te houden. Een sample&hold-schakeling meet tenslotte de spanning over basisweerstand R_b van de TUT. De sample&hold wordt ook weer gestuurd door dezelfde pulsen als bij de meet-schakeling. De gemeten waarde wordt op een draaispoelmeter zichtbaar gemaakt, waarbij de gevoeligheid van de meter afhankelijk is van de gekozen kollektorstroom en de ingestelde gevoeligheid.

De complete schakeling

In figuur 2 zien we het schema van de hele h_{FE} -meter. De puls-generator is opgebouwd rond IC1a. Deze werkt als een astabiele multivibrator, waarbij de puls-pauze-verhouding wordt verkregen door de laadtijd van kondensator C1 (via $R_5/D1$) anders te kiezen dan de ontlaadtijd (via R_6/D_2). Zenerdiode Dz uit figuur 1 bestaat in werkelijkheid uit twee in serie geschakelde LED's, D3 en D4. Over de rode LED D3 valt een spanning van circa 1,8 V en over de groene LED D4 staat een spanning van

Figuur 1. De basis-opzet van de meter is hier getekend (alleen het NPN-gedeelte). De geteste transistor maakt deel uit van een stroombron, zodat er een bepaalde kollektorstroom gaat lopen. De basisstroom wordt gemeten en is een maat voor de versterking.



ongeveer 2,1 V, samen dus zo'n 3,9 V.

Het overige gedeelte van de schakeling zoals we die in figuur 1 hebben getoond, is eenvoudig in figuur 2 terug te vinden. Voor het meten van NPN-transistoren is dat het stuk rond T1...T5, voor PNP-metingen het deel rond T6...T10. Afhankelijk van de met S2 gekozen kollektorstroom voor de TUT (middels R14...R19) staat er een spanning over een van de met S3 gekozen basis-meetweerstand R20...R25. Die spanning wordt gemeten door de sample&hold-schakeling die uit IC1b, IC3 en omringende componenten bestaat.

Gedurende de 1,5 ms lange puls worden de elektronische schakelaars IC3c en IC3d gesloten en IC3a en IC3b geopend. De spanning over de basis-meetweerstand komt dan ook over kondensator C3 te staan. Na die 1,5 ms openen IC3c en IC3d, terwijl IC3a en IC3b sluiten. C3 is dan aan een kant met massa verbonden en de lading in deze kondensator wordt via R30 gedeeltelijk overgedragen naar C4. Deze RC-kombinatie zorgt voor een zekere uitmiddeling van de gemeten waarden. IC1b fungeert als hoogohmige buffer en zijn uitgangsspanning gaat via R26 en P1 naar de draaispoelmeter. Instelpotmeter P1 dient ervoor om de meter zodanig in te stellen dat deze bij een spanningsval van 2,5 V over de meetweerstand precies volle uitslag geeft. We willen er hier vast op wijzen dat de meter-uitslag omgekeerd evenredig is met de h_{FE} -waarde. De nulstand komt dus overeen met een oneindige versterkingsfaktor (geen basisstroom) en de volleschaal-uitslag geeft een versterking van één (maal de ingestelde gevoeligheidsfaktor). Het omschakelen van NPN-naar PNP-stand geschiedt met behulp van acht wisselschakelaars die tezamen druktoets S4 vormen.

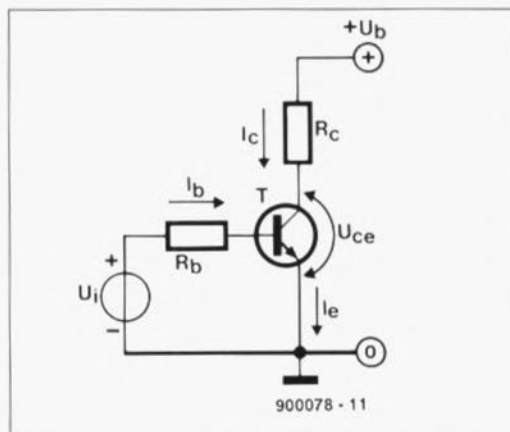
De voeding van de meter wordt verzorgd door een 10-V-stabilisator (IC2). De ongestabiliseerde ingangsspanning mag tussen 15 en 20 V liggen. De

De versterking van een transistor

De gelijkstroom-versterkingsfaktor van een bipolaire transistor in een gemeenschappelijke-emitterschakeling is gedefinieerd als de verhouding tussen de kollektor-gelijkstroom en de basis-gelijkstroom:

$$h_{FE} = \frac{I_c}{I_b}$$

Hierbij wordt er van uitgegaan dat I_{ce0} , de kollektorstroom die loopt bij een open basis-aansluiting, veel kleiner is dan I_c .



Bij de h_{FE} -meter is de kollektorstroom:

$$I_c = \frac{3,3 \text{ V}}{R_c}$$

en de basisstroom:

$$I_b = \frac{U_{Rb}}{R_b}$$

Daaruit volgt de versterking:

$$h_{FE} = \frac{I_c \times R_b}{U_{Rb}}$$

De waarden van R_c zijn zo gekozen dat de kollektorstroom 1, 2, 3, 4, 6 of 10 A bedraagt.

Voorbeeld:

1. Als $I_c = 1 \text{ A}$, $R_b = 24,9 \Omega$ en $U_{Rb} = 1,25 \text{ V}$, dan is de versterking:

$$h_{FE} = \frac{1 \times 24,9}{1,25} = 20$$

hiervoor gebruikte netspanningsadapter moet een stroom van 200 mA kunnen leveren, dat is ruim voldoende. Voor de leverantie van de grote piekkollektorstromen zorgt C1, die via een 6,8- Ω -weerstand op de gestabiliseerde 10-V-spanning is aangesloten.

De opbouw

In figuur 3 is de print afgebeeld voor de h_{FE} -meter. Zoals u ziet, zijn de afmetingen zeer bescheiden gehouden. Het ge-

heel kan worden ondergebracht in een kastje van het type dat we ook al voor andere meetapparaten hebben gebruikt, namelijk een LC850 van Telet.

We beginnen met het monteren van de zes basis-meetweerstand R20...R25. Dit zijn allemaal 1%-ers met E96-waarden. Die weerstanden komen niet op de print, maar worden direkt aan de kontakten van schakelaar S3 gesoldeerd (R20 aan pen 1 van de schakelaar, R21 aan pen 2, etc.).

Figuur 2. Het complete schema bevat wat meer onderdelen, omdat een gedeelte dubbel moet worden uitgevoerd om NPN- en PNP-transistoren te kunnen testen.

Onderdelenlijst

Weerstanden:

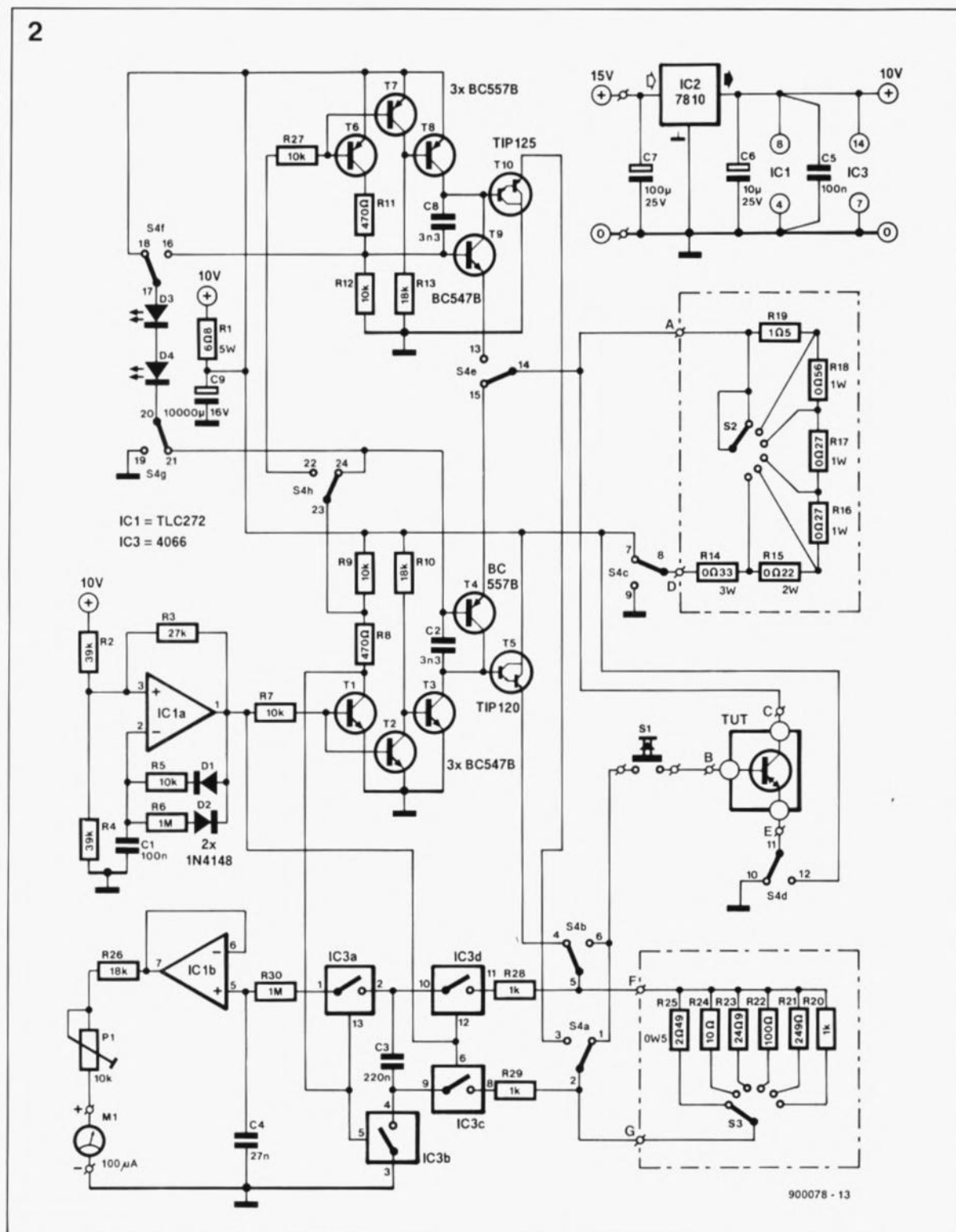
R1 = 608/5 W
R2, R4 = 39 k
R3 = 27 k
R5, R7, R9, R12, R27 = 10 k
R6, R30 = 1 M
R8, R11 = 470 Ω
R10, R13, R26 = 18 k
R14 = 0 Ω 33/3 W
R15 = 0 Ω 22/2 W
R16, R17 = 0 Ω 27/1 W
R18 = 0 Ω 56/1 W
R19 = 1 Ω 5
R20 = 1 k, 1%
R21 = 249 Ω , 1%
R22 = 100 Ω , 1%
R23 = 24 Ω 9, 1%
R24 = 10 Ω , 1%
R25 = 2 Ω 49, 1%
R28, R29 = 1 k
P1 = 10-k-instelpotmeter

Kondensatoren:

C1, C5 = 100 n
C2, C8 = 3 n3
C3 = 220 n
C4 = 27 n
C6 = 10 μ /25 V
radiaal
C7 = 100 μ /25 V
radiaal
C9 = 10.000 μ /16 V
radiaal

Halfgeleiders:

D1, D2 = 1N4148
D3 = LED groen, 3 mm
D4 = LED rood, 3 mm, high efficiency
T1, T2, T3, T9 = BC547B
T4, T6, T7, T8 = BC557B
T5 = TIP120
T10 = TIP125
IC1 = TLC272
IC2 = 7810
IC3 = 4066



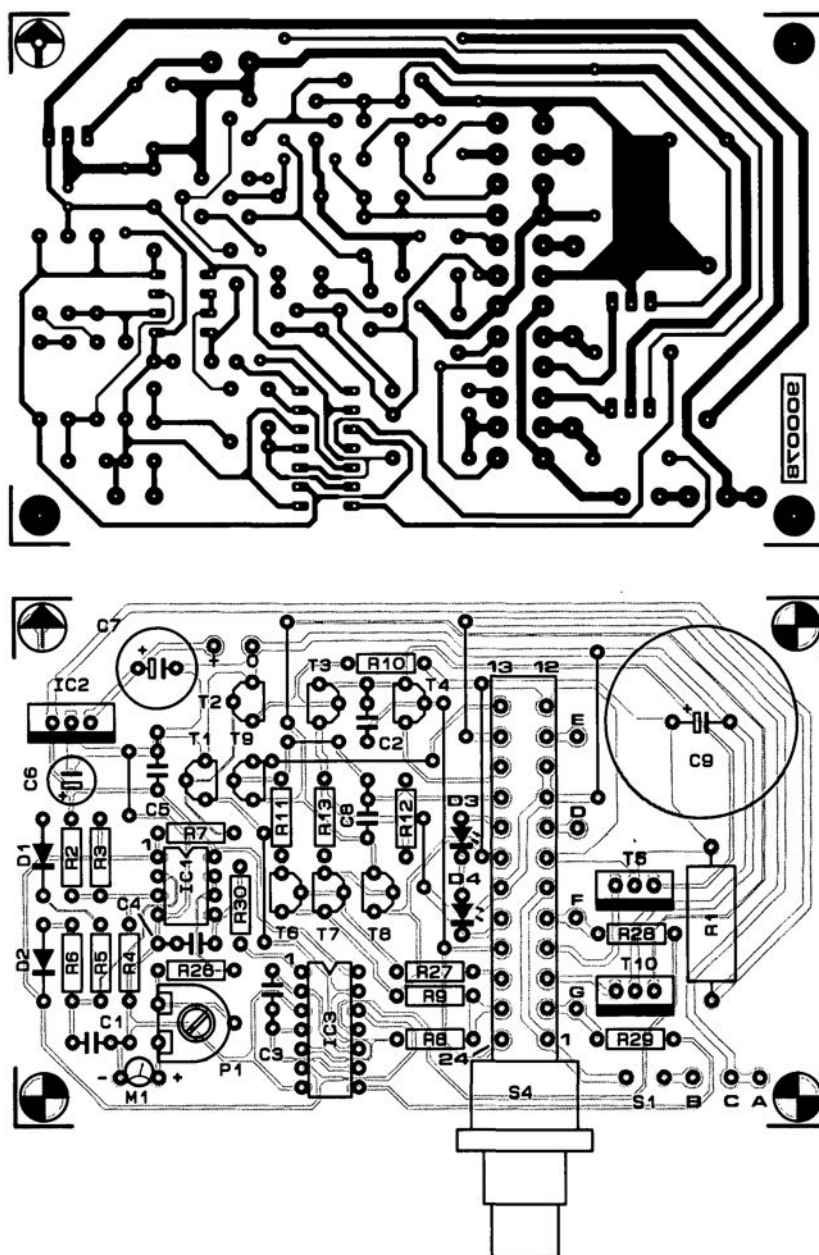
Met een stukje blanke draad worden de uiteinden van de weerstanden allemaal met elkaar verbonden. Via twee stukjes geïsoleerde kabel van circa 10 cm worden het moedercontact en de gemeenschappelijke aansluiting van de weerstanden straks met de aansluitingen F en G op de print verbonden. Bij stroomschakelaar S2 worden de weerstanden R14...R19 ook direct aan de aansluitingen gesoldeerd. R19 komt tussen aansluiting 1 en 2 van de schakelaar, R18 tussen 2 en 3, enzo-

voorts. De overgebleven aansluiting van R4 en het moedercontact gaan via twee (5 cm lange) stukjes kabel naar de punten A en D op de print. Nu kunnen we de print verder opbouwen. Eerst worden de tien draadbruggen gelegd, daarna kunnen alle onderdelen volgen. Voor IC1 en IC3 verdient het aanbeveling een voetje te gebruiken. S4 kan direct op de print worden geplaatst. LED D3 wordt niet rechtstreeks op de print gesoldeerd, maar via twee flexibele draden van

10 cm. De LED komt straks in het desbetreffende gat op de frontplaat, zodat er tevens een test-indicator aanwezig is (ze flitst op in het ritme van de pulsen als stroom door de TUT loopt). Voor de vermogenstransistoren (T5 en T10) en de spanningsstabilisator (IC2) is geen extra koeling vereist, ze kunnen gewoon recht op de print worden gemonteerd. Figuur 5 laat zien hoe de opgebouwde print en schakelaars er uit zien. In verband met de beschikbare

3

(print-layout in spiegelbeeld afgedrukt)



Diversen:
 S1 = druktoets met
 maakkontakt
 S2, S3 =
 draaischakelaar, 1
 moederkontakt, 6
 standen
 S4 = drukschakelaar 8
 x wissel
 M1 = draaispoelmeter
 100 μ A (bijv.
 Monacor type PM-2)
 3 banaansteker-bussen
 miniatuur-
 tuimelschakelaar, met
 losse 3-mm-LED en
 1-k-weerstand
 netadapter-aansluiting
 kastje, bijv. Telet type
 LC850
 print EPS 900078 (zie
 pag. 6)
 frontplaat-folie EPS
 900078-F (zie pag. 6)

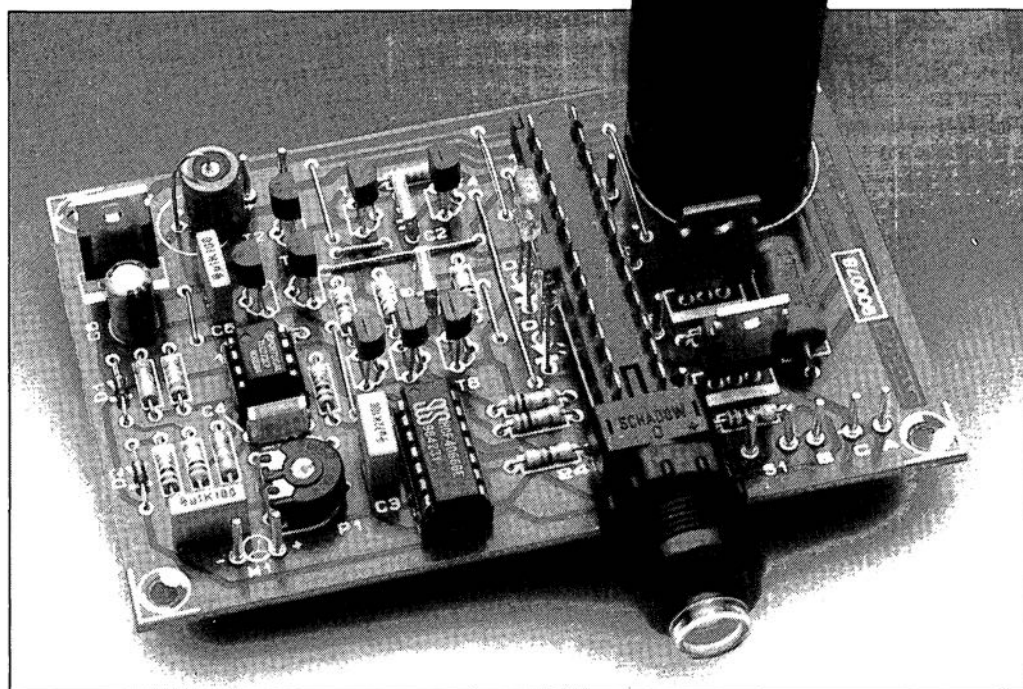
Figuur 3. De print voor de hFE-meter is vrij klein, aangezien de weerstanden R14...R25 direct aan de schakelaars S2 en S3 worden gesoldeerd.

ruimte achter de draaispoelmeter is het raadzaam om geen soldeerpenen voor de meter-aansluitingen te gebruiken, maar de meter-kabeltjes direct in de bijbehorende printgaten te steken en vast te solderen.

Eerst afregelen

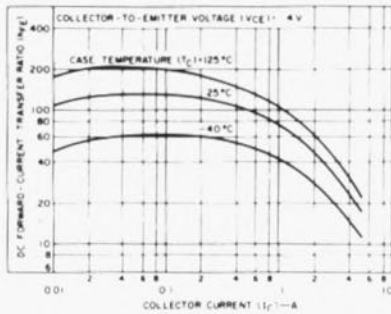
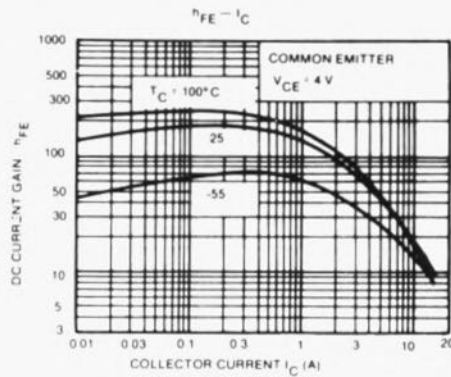
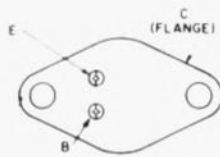
Voordat het hele zaakje in het kastje wordt gebouwd, moeten we eerst alles testen en afregelen. Sluit daartoe provisorisch de draaispoelmeter, de drie schakelaars en de voeding op de print aan.

Verwijder nu tijdelijk de aansluiting van R30 die met IC3a verbonden is en sluit hierop een gelijkspanning van 2,5 V aan. Die kunt u afleiden van de

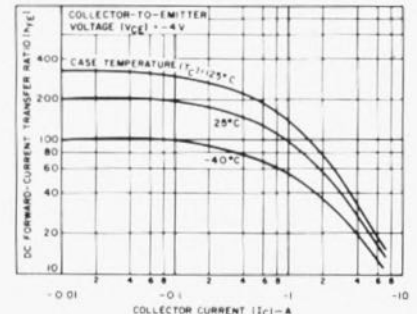
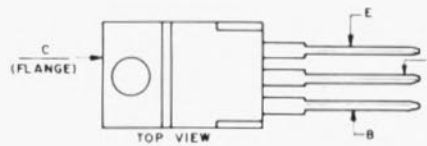


4

2N3055



← TIP 31 NPN
TIP 32 PNP →



Figuur 4. Hier zijn als voorbeeld de hre-kurves gegeven van drie bekende vermogenstransistoren.

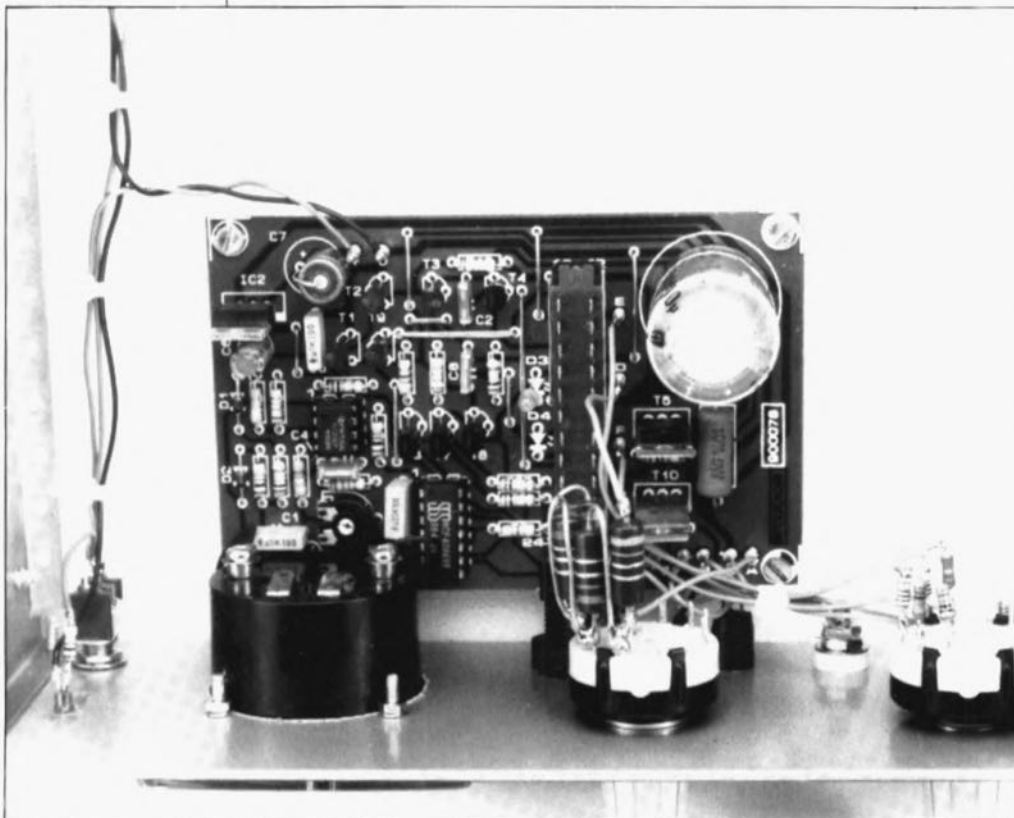
gestabiliseerde 10-V-voedingspanning via een spanningsdeler van een 1-k-weerstand en een 500-instelpotmeter. Sluit de spanningsdeler aan op de losgesoldeerde aansluiting van R30, schakel de voedingsspanning in en stel de potmeter zo in dat er precies 2,5 V op dat knooppunt staat. Vervolgens kan P1 zo worden afgeregeld dat de draaispoelmeter juist

volle uitslag geeft. De spanningsdeler kan dan (na het uitschakelen van de voedingspanning) weer worden verwijderd en de loshangende poot van R30 mag weer terug op zijn plaats. In principe is de afregeling daarmee voltooid. Er zijn nog enkele punten in de schakeling die kunnen worden gecontroleerd als u in het bezit bent van een oscillo-

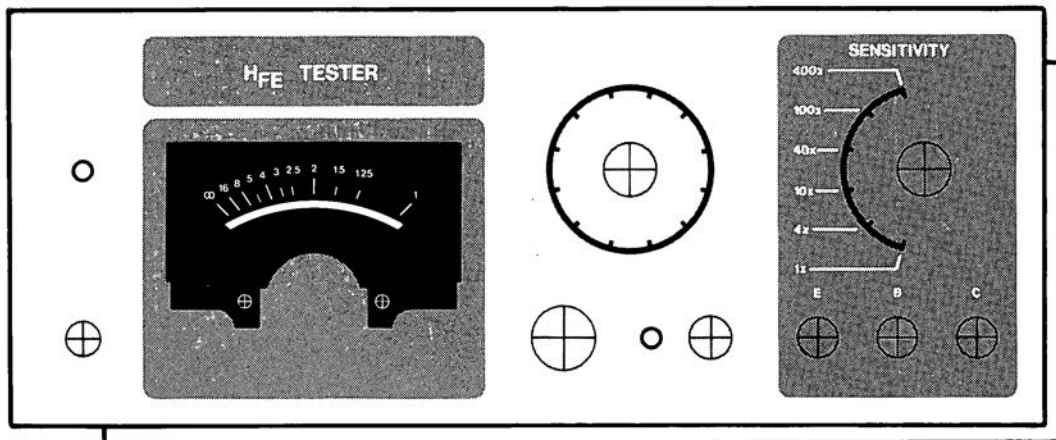
skoop. Zo moet op pen 6 en 12 van IC3 een positieve puls staan met een duty-cycle van 1:100. Op pen 5 en 13 van IC3 staat hetzelfde signaal, maar dan geïnverteerd (en met een andere gelijkspanning). Door dat de pulsen zeer smal zijn, kan het nodig zijn de scoopinstellingen aan te passen om een goed beeld te krijgen. Ook over de "zenerdiode" D3+D4 moeten de pulsen zichtbaar zijn, maar daarvoor moet wel eerst een TUT worden aangesloten. De spanning over D3 en D4 dient 3,9 V te bedragen $\pm 10\%$. Als deze waarde te veel afwijkt, kunt u eens enkele andere typen LED's proberen.

Het inbouwen

Als u gebruik maakt van de via de EPS leverbare frontplaatfolie (figuur 5), dan zal de afwerking van het kastje in elk geval geen probleem vormen. De schaal voor het metertje kan uit de folie worden geknipt en op het instrumentje worden geplakt (na het verwijderen van de originele schaalverdeling). Boor daarna de gaten op de juiste plaatsen in de frontplaat. Hierbij kunt u de folie als boormal gebruiken. Af en toe eens passen met alle frontplaatonderdelen is wel aan te raden.



5



Figuur 5. De (verkleind afgebeelde) frontplaat voor de meter. Deze is als folie via de EPS leverbaar.

Als u er zeker van bent dat alles goed is afgewerkt, kan de folie op de frontplaat worden geplakt. Daarna kunt u met een scherp mes de benodigde gaten in de folie aanbrengen. Snij daartoe een kruisje in de folie en druk de rand naar binnen. Met een ronde vijl kunt u de overtollige folie prima uit de gaten vijlen.

De plaats van de print in de kast wordt bepaald door S4. Wij hebben voor deze schakelaar een type gebruikt waarbij de knop ongeveer 2 cm voor het schakelgedeelte uit steekt. Dat is nodig om voldoende ruimte te houden voor de meter. Schroef S4 vast op de frontplaat, zodanig dat de print zo ver mogelijk naar achteren zit. Plaats de frontplaat in het kastje (maar schroef ze nog niet vast) en teken dan pas de bevestigingsgaten af voor de print.

Nu kunnen alle frontplaat-onderdelen worden bevestigd (de print blijft wel hangen aan S4). Er zitten twee 3-mm-LED's op de frontplaat, waarvan er slechts eentje (D3) in het schema is terug te vinden. De andere LED dient slechts als voeding-indikator. Beide LED's worden met een drupje lijm op hun plaats vastgezet achter de rode venstertjes in de frontplaat-folie. Voor de transistor-aansluitingen kunnen bijvoorbeeld (mini) banaanstekerbussen worden genomen. Nadat de assen van de schakelaars op de juiste lengte zijn afgezaagd, kunnen de knoppen erop worden gemonteerd. Bij de stroom-keuzeschakelaar is een knop nodig met twee strepen

of pijlen die precies tegenover elkaar zitten. U kunt hiervoor het beste een knop met een pijl of streep nemen en de tweede pijl of streep er zelf bij maken met behulp van afwrijfsymbolen of een watervaste viltstift. De meter, de aansluitbussen en schakelaars kunnen nu allemaal met de print worden verbonden. De voedingsaansluitingen op de print lopen via een miniatuur-tuimelschakelaar op de frontplaat naar een voedingsaansluiting (voor de netadapter) die op de achterwand van het kastje wordt gemonteerd. De LED boven de schakelaar wordt via een 1-kweerstandje met de voeding (na de schakelaar) verbonden. Als dit allemaal gebeurd is, kan de frontplaat in het kastje worden vastgeschroefd en de print met korte afstandsbusen worden vastgezet. Let er op dat de print op de goede hoogte zit (eventueel een paar onderleggingen gebruiken), anders komt er te veel mechanische spanning te staan op de verbindingen tussen S4 en de print.

Hoe gebruikt u de meter?

Een korte gebruiksaanwijzing lijkt ons aan het einde van dit artikel toch wel handig. Het apparaat kan worden in- en uitgeschakeld met de power-schakelaar. De te testen transistor kunt u rustig aansluiten als de meter aan staat, want er loopt alleen stroom door de transistor als de test-knop is ingedrukt. Let wel op dat de TUT korrekt wordt aangesloten, anders

kan dat nadelige gevolgen voor de transistor hebben. Kies met S4 het juiste type (NPN of PNP). Begin altijd met de kleinste meetstroom (1 A) en zet de gevoeligheidsschakelaar op 1 x. Dan kan de testknop worden ingedrukt. Draai de gevoeligheidsschakelaar omhoog totdat een duidelijke meter-uitslag wordt verkregen en bereken dan de schaalvermenigvuldigingsfactor. Daartoe moet u het getal dat de sensitivity-schakelaar aanwijst vermenigvuldigen met het getal dat de tweede pijl van de I_c-schakelaar aanwijst. In de 1-A-stand is dat bijvoorbeeld 40 x 1. Daarmee vermenigvuldigt u de waarde die de meter aangeeft en dat is de gelijkstroom-versterkingsfactor bij 1 A. In formule-vorm: $h_{FE} = \text{meterwaarde} \times I_c\text{-factor} \times \text{sensitivity-factor}$

Vervolgens kan een grotere kollektorstroom worden gekozen en de testknop opnieuw worden ingedrukt. Pas wel op dat de maximaal toegestane kollektorstroom van de aangesloten transistor niet overschreden wordt.

Met de h_{FE} -meter kunt u niet alleen transistoren controleren, maar ook (komplementaire) paartjes uitzoeken. Uitgaande van de 1-A-stand wordt de versterking gemeten tot de maximaal toegestane kollektorstroom, waarna deze gegevens met de hand in een karakteristiek kunnen worden gezet. Als u op deze wijze transistoren uitzoekt die dezelfde curves leveren, dan hebt u een heel aardig transistorpaar gevonden! (900078)