

6-cm Schmalbandtest

W. Reich

Vorgeschichte und Zielsetzung

Am 18. September 1999 wurden 6-cm Testmessungen durchgeführt, bei denen ein ZF-Schmalbandpolarimeter statt des standardmäßigen 500 MHz Breitbandpolarimeters eingesetzt wurde. Das Schmalbandpolarimeter hat 100 MHz breite Filter (auch schmalere Filter sind nutzbar) und ermöglicht durch Umsetzen der ULO-Frequenz Beobachtungen bei 4.65 GHz und 5.05 GHz. Präzise Polarisationsbeobachtungen bei nahe beieinanderliegenden Frequenzen erlauben die eindeutige Bestimmung von hohen Rotationsmaßen. Dies ist dann notwendig, wenn die "klassische" Methode, d.h. Polarisationsmessungen bei drei Standardfrequenzen, nicht durchführbar ist oder nur Beobachtungen bei zwei Frequenzen vorliegen und das so bestimmte Rotationsmaß mehrdeutig ist. Ein Beispiel dafür sind Polarisationsbeobachtungen in der galaktischen Zentrumsregion, in der sehr hohe Rotationsmaße ($> |1000| \text{ rad m}^{-2}$) gemessen werden, die wiederum starke Depolarisationseffekte und in Folge sehr geringe polarisierte Intensitäten bei längeren Wellenlängen bewirken. Auch können breitbandige Polarisationsmessungen bei hohen Rotationsmaßen durch Depolarisation bei Drehung des Polarisationswinkels innerhalb des Bandes beeinflusst werden.

Mit dem früheren 6-cm Empfänger, der ebenfalls standardmäßig 500 MHz Bandbreite hatte, wurden bereits Schmalbandpolarisationsmessungen des galaktischen Zentrums durchgeführt (Sofue et al., 1987, Pub. Astron. Soc. Japan 39, 95), wobei bei vier Frequenzen mit jeweils 50 MHz breiten Filtern beobachtet wurde. Das Problem bei diesen Beobachtungen waren die ungewöhnlich hohen instrumentellen Effekte der Schmalbandmessungen, die zudem noch in jedem Band sehr unterschiedlich in U und Q verteilt waren und ein aufwendiges "Cleanen" erforderten. Grund dafür ist in dem optimalen Abgleich des Systems für die breitbandigen Messungen zu suchen, so daß sich unterschiedliche Frequenzgänge in den beiden Zweigen des Systems stark auf schmalbandige Polarisationsmessungen auswirken können. Der hier beschriebene Test des von O. Lochner gebauten derzeitigen 6-cm Empfängers sollte zeigen, ob mit ähnlichen Effekten bei schmalbandigen Beobachtungen zu rechnen ist, oder ob das neue System neben seiner deutlich höheren Empfindlichkeit und Stabilität über den Bandpaß hinweg gleichförmige Eigenschaften aufweist. In diesem Fall sind Schmalbandbeobachtungen so einfach wie Breitbandbeobachtungen durchführ- und auswertbar.

Das Messprogramm

Von E. Fürst /J. Neidhöfer wurden zwei Set-up Files vorbereitet, die ein einfaches Umschalten zwischen den beiden Beobachtungsfrequenzen 4.65 GHz und 5.05 GHz erlauben. Die Fahrprogramme für 6-cm Beobachtungen konnten ansonsten unverändert verwendet werden. Die Datenkanalbelegung war: TP (schmal), TP (breit), U (schmal), Q (schmal). Die Daten des zweiten Horns wurden nicht aufgezeichnet. Nach Umschalten der Frequenz muß jeweils ein Phasenabgleich am Schmalbandbackend vorgenommen werden. Die Phasendifferenz war zwar mit 55° erheblich, aber über die 9 Stunden des Beobachtungszeitraumes hinweg konstant.

Ergebnisse der Eichquellenmessungen

Die abgeleiteten Daten wurden aus Kartierungen mittels zweidimensionalen elliptischen Gaussfits bestimmt. Die Unterschiede in den Halbwertsbreiten zwischen beiden Frequenzen sind wie erwartet ca. $10''$. Eine Verschmierung der höherfrequenten Daten auf die Winkelauflösung der 4.65 GHz Daten sollte mittels FCHOP (im Fourierraum) erfolgen.

Eichquellendaten für 4.65 GHz (100 MHz Bandbreite)

Quelle	Par. Winkel	I (10^3)	%-Pol.	Pol.Winkel	HP (max)	HP (min)
N7027	56	47.5	0.53	-	2.54	2.48
3C138	-39	33.8	10.9	167.3	2.52	2.47
3C138	29	33.6	10.5	165.0	2.51	2.50
3C286	-45	11.6	11.6	32.5	2.52	2.50
3C286	-47	11.6	11.6	32.3	2.52	2.51

Eichquellendaten für 5.05 GHz (100 MHz Bandbreite)

Quelle	Par. Winkel	I (10^3)	%-Pol.	Pol.Winkel	HP (max)	HP (min)
N7027	56	57.6	0.43	-	2.40	2.35
3C138	-39	37.5	10.8	167.9	2.38	2.33
3C138	31	38.0	10.5	166.8	2.40	2.38
3C286	-45	11.6	11.6	32.8	2.37	2.32
3C286	-47	11.6	11.6	32.7	2.39	2.35

Alle Messungen wurden unabhängig von der Frequenz mit der gleichen Software wie für die standardmäßigen Breitbandmessungen reduziert und auch die instrumentellen Polarisationskorrekturen wurden zunächst als gleich gesetzt. Diese Annahme ist von den Ergebnissen her nahezu optimal. Die Eichquellenmessungen zeigen eine sehr niedrige instrumentelle Polarisation von ca. 0.5% für die die Messungen nicht korrigiert wurden.

Die gemessene prozentuale Polarisation von 3C286 und 3C138 ist bei beiden Frequenzen identisch. Das Rotationsmaß der beiden Polarisationskalibratoren 3C286 und 3C138 ist nahe bei 0, d.h. die gemessenen Winkeldrehungen zwischen den beiden Bändern sind ausschließlich dem Polarimeter zuzuschreiben. Bei in etwa gleichem parallaktischen Winkel sind die Winkeldifferenzen in allen Fällen kleiner als 2° , für die stärkere Quelle 3C286 sogar kleiner als 0.4° . Die Winkeldifferenzen bei gleicher Frequenz aber stark verschiedenen parallaktischen Winkeln werden durch die relative Drehung der instrumentellen Polarisation bewirkt. Dieser Effekt konnte nur für 3C138 gemessen werden und beträgt 2.3° bzw. 1.1° und läßt sich prinzipiell korrigieren.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß sich Winkeldifferenzen zwischen den beiden 100 MHz breiten Bändern ohne besonderen Reduktionsaufwand mit einer Genauigkeit von 1° bis 2° bestimmen lassen. Genauigkeiten von unter 0.5° sind sicherlich möglich. Es muß allerdings betont werden, daß die um den Faktor 5 schmalere Bandbreite gegenüber dem Standard-system bei gleicher Empfindlichkeit eine entsprechend 5x längere Beobachtungszeit für jede der beiden separat durchzuführenden Schmalbandmessungen nötig macht.

Rotationsmaßbestimmungen

Wie bereits bemerkt, dienen Polarisationsmessungen bei nahe beieinanderliegenden Frequenzen der eindeutigen Bestimmung hoher Rotationsmaße RM:

$$\text{RM} [\text{rad} / \text{m}^2] = \Delta\psi [\text{rad}] / (\lambda_1[\text{m}]^2 - \lambda_2[\text{m}]^2)$$

$\Delta\psi$ [rad] ist der gemessene Polarisationswinkelunterschied für die beiden Wellenlängen λ_1 und λ_2 . Für den Frequenzunterschied von 400 MHz zwischen 4.65 GHz und 5.05 GHz bewirkt ein Rotationsmaß von 100 rad m^{-2} eine Drehung des Polarisationswinkels von 3.6° . Die standardmäßig erzielbare Genauigkeit liegt dann bei ca. $\pm 25 \text{ rad m}^{-2}$. Rotationsmaße bis zu dieser Größenordnung lassen sich besser durch empfindliche 11-cm/6-cm Breitbandmessungen bestimmen, da die Winkeldrehung dann bis zu 50° beträgt und sich eine höhere Genauigkeit erreichen läßt. Bei höheren Rotationsmaßen sind die Schmalbandmessungen wegen ihrer Eindeutigkeit und dem abnehmenden relativen Fehler von Vorteil.

Als Beispiel für Schmalbandpolarimetrie ausgedehnter Emission wurde ein schmaler Streifen ($1^\circ 50' \times 10'$) durch die komplexe HII-Region W5 mehrfach gemessen. Aus Breitbandmessungen war polarisierte Strahlung in der Sichtlinie bereits bekannt und es wurde ein Winkelunterschied zwischen 4.65 GHz und 5.05 GHz von ca. 16° gemessen. Dies entspricht einem Rotationsmaß von 450 rad m^{-2} , was für galaktische Quellen - vom galaktischen Zentrum und einigen Supernovaüberresten einmal abgesehen - ungewöhnlich hoch ist, doch es gibt erst wenige Messungen dieser Art.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß Schmalbandmessungen mit dem 6-cm Empfänger ohne weitere Modifikationen sehr gut zur Bestimmung hoher Rotationsmaße geeignet sind.